



corso di

CULTURA TECNOLOGICA DELLA PROGETTAZIONE

Prof.ssa Consuelo Nava

Collab: Arch.tti G.Mangano, A.Leuzzo, D.Lucanto

Dipartimento Architettura e Territorio

Corso di Laurea magistrale a c.u. in Architettura (Classe LM-4 c.u.)

a.a.2021-22 _ I sem.

Approfondimenti bibliografici

UT1 - La cultura tecnologica della progettazione ambientale: la disciplina, i temi e il programma

- Campioli A, Lavagna M, «Tecniche e Architettura», CittàStudi edizioni, 2013, Novara
- Tortorici G, «Architettura tecnica per gli allievi ingegneri junior», Alinea editrice, 2005, Firenze



ANDREA CAMPIOLI MONICA LAVAGNA

TECNICHE E ARCHITETTURA

CittòStudi
EDIZIONI

L'edificio come sistema

Il progetto tra vincoli e possibilità

Il progetto è esito di un processo dialettico tra i vincoli che la realtà impone e le possibilità che la creatività traguarda.

Il progetto di un edificio deve confrontarsi con vincoli fisici, materici, normativi poiché la realizzazione di un'idea progettuale deve fare i conti con le caratteristiche fisiche dei materiali, con le azioni e reazioni del contesto fisico e climatico in cui l'edificio si colloca, con le regole che la normativa impone per garantire il benessere e la sicurezza degli abitanti, con le risorse a disposizione.

Nello stesso tempo il progetto è un atto creativo, in cui si esprime la capacità del progettista di mettere a sistema il quadro dei vincoli con gli obiettivi specifici del progetto. Il progetto deve essere concepito come risposta a un bisogno espresso, in modo più o meno esplicito, dai destinatari del progetto, siano essi singoli soggetti oppure l'intera collettività, e in tal senso occorre sottolineare come la qualità dell'opera finale dipenda dalla capacità del progettista di dare risposta non solo ai bisogni espliciti formulati dal committente, ma anche ai bisogni inespressi. Pertanto, nella fase preliminare di progetto, si rendono necessarie la definizione delle esigenze che attendono di essere corrisposte e la declinazione di queste esigenze in un quadro chiaro e dettagliato di requisiti, così da qualificare e quantificare i bisogni da soddisfare in relazione alle attività previste e alle condizioni del contesto in cui l'edificio si colloca.

I requisiti orientano le decisioni progettuali che riguardano sia le scelte di conformazione spaziale, sia le scelte dei materiali e delle tecniche costruttive: spazi e tecniche dovranno quindi fornire prestazioni coerenti con le esigenze e i requisiti che sono stati espressi. Il rapporto tra esigenze, requisiti e

prestazioni consente di dare motivazione del percorso ideativo e decisionale che porta alla definizione delle caratteristiche dei materiali, delle tecniche esecutive e del sistema edificio nel suo complesso.

L'equilibrio tra vincoli e possibilità che deve essere ricercato con il progetto è un equilibrio delicato. Da un lato vi è il rischio di lasciarsi irretire dai vincoli, irrigidendo il progetto e omologandolo in prassi costruttiva; dall'altro, quello di far predominare la creatività trascurando i vincoli e compromettendo la realizzabilità e la qualità dell'esito in termini di risposta alle esigenze degli abitanti.

Il progetto deve innanzitutto confrontarsi con i vincoli normativi (nazionali e locali) che riguardano numerosi aspetti:

- paesaggistici (es. piani paesistici, vincoli architettonici, archeologici o paesaggistici per i Beni Culturali);
- urbanistici (es. piano di governo del territorio, norme tecniche di attuazione);
- edilizi (es. codice civile, codice della strada, regolamento edilizio);
- igienico-sanitari (es. regolamento di igiene);
- di prevenzione sismica (es. D.M. 14/01/2008 *Norme tecniche per le costruzioni*);
- acustici (es. D.P.C.M. 5/12/1997 *Determinazione dei requisiti acustici*);
- comfort e risparmio energetico (es. D.Lgs. 192/2005, D.Lgs. 311/2006, D.P.R. 59/09).

Le norme fissano i requisiti obbligatori da rispettare nella progettazione, a garanzia del rispetto dei livelli minimi di sicurezza e di benessere degli abitanti e di salvaguardia dell'ambiente.

La normativa, tuttavia, non esaurisce il quadro dei requisiti che il progetto dovrebbe considerare. Molti requisiti derivano dagli obiettivi specifici del singolo progetto, in relazione alla sua destina-

zione funzionale, ai modi d'uso, al tipo di utenti. Inoltre dipendono dagli obiettivi di qualità che si intendono raggiungere: molti progetti oggi hanno come obiettivo prioritario il contenimento dei costi di costruzione e dunque i progettisti si trovano a dover ridurre i requisiti al soddisfacimento dei limiti normativi. In altri casi gli obiettivi di qualità consentono di definire requisiti volti all'ottenimento di alte prestazioni (acustiche, termiche ecc.), andando oltre ai limiti imposti dalla normativa e soddisfacendo requisiti anche in ambiti non normati (comfort termico, comfort luminoso, flessibilità degli spazi interni ecc.).

Oltre ai vincoli normativi, il progetto è chiamato a confrontarsi con vincoli di tipo culturale, ossia con i caratteri del contesto, legati alla cultura materiale locale. La cultura materiale è l'insieme di opere dell'uomo, che si manifestano ripetutamente in determinati luoghi; è l'insieme di edifici che caratterizzano l'architettura diffusa, espressione della collettività di un certo luogo¹. In genere la cultura materiale dipende dal consolidamento di una consuetudine tecnica, legata all'uso di materiali reperibili a livello locale. Inoltre spesso anche le forme degli edifici sono fortemente connotate in relazione al contesto climatico. Insediarsi in un contesto significa saper cogliere le molteplici relazioni che l'edificio instaura con il suo intorno, rispettando le preesistenze e cogliendo lo "spirito del luogo"².

Il progetto è inoltre condizionato dalla disponibilità di risorse (naturali, intellettuali, economiche) necessarie a renderne praticabile l'attuazione in un determinato momento e luogo³.

Una prima categoria di risorse sono le risorse naturali, ossia le materie prime e i materiali alla base della costruzione dell'edificio, che possono essere disponibili localmente o importate, con costi variabili sia in termini economici sia in termini di impatto ambientale. Un tempo la reperibilità di materiali a livello locale era un vincolo. Con lo sviluppo dei mezzi di trasporto il mercato di riferimento è diventato un mercato globale, con grande disponibilità di materiali anche non autoctoni. Però l'attenzione all'ambiente sta portando per esempio a definire come requisito di partenza la reperibilità locale dei materiali, onde ridurre drasticamente l'impatto ambientale correlato ai trasporti.

Una seconda categoria di risorse sono le risorse intellettuali, ossia le conoscenze relative alle tecniche esecutive in relazione all'impiego di determinati materiali e alle prestazioni alla scala dell'edificio ottenibili dalla scelta di determinate tecniche e materiali. Tali conoscenze sono possedute, con diversi livelli di competenza, dai progettisti, dai produttori di materiali e componenti e dagli esecutori della messa in opera in cantiere. Quanto maggiore è il ventaglio di conoscenze e competenze disponibili nel progetto, tanto maggiore è il ventaglio di possibilità che il progetto ha a disposizione. Per questo è fondamentale una forte interazione tra gli operatori del processo (progettisti, produttori, costruttori), poiché progetti innovativi spesso scaturiscono dalla messa a sistema delle diverse competenze e conoscenze. Inoltre l'attuale complessità di competenze (strutturali, fisico-ambientali, impiantistiche) necessarie allo sviluppo del progetto contemporaneo, richiedono una interazione tra i diversi specialisti fin dalle prime fasi di progetto. Queste interazioni possono essere stimolanti e consentire l'individuazione di risposte progettuali originali e innovative. Se invece i contributi specialistici subentrano in successione nel progetto, per la verifica e aggiustamento di un progetto già finito, si rischia di creare compromessi che snaturano il progetto e soprattutto di individuare soluzioni di ripiego e poco integrate col progetto complessivo. Le istanze provenienti dai diversi ambiti specialistici devono invece essere messe sul tavolo come requisiti di progetto fin dall'inizio.

Il progettista, in qualità di regista dei diversi operatori e dei diversi specialismi, deve essere in grado di governare le diverse istanze all'interno del progetto. Il progetto si caratterizza per una logica anticipatoria. Come tale deve essere anche capace di prefigurare e prevedere il comportamento dell'edificio nel tempo. Per questo oggi sono importanti gli strumenti di supporto al progetto che consentono di calcolare o simulare le prestazioni dell'edificio in fase d'uso e orientare il progettista nelle scelte. Gli strumenti di simulazione e di supporto alle decisioni sono comunque un "supporto" alle decisioni e non possono sostituirsi alla capacità di sintesi che il progettista deve avere per compiere una decisione di progetto.



¹ Marisa Bertoldini, Monica Zapelli, *Atti tecnici e cultura materiale*, Cittàstudi, Milano, 1992.

² Christian Norberg-Schulz, *Genius loci: paesaggio, ambiente, architettura*, Electa, Milano, 1979.

³ Claudio Molinari, *Elementi di cultura tecnica: progettazione di elementi costruttivi; materiali*, Sistemi editoriali, Napoli, 2006.

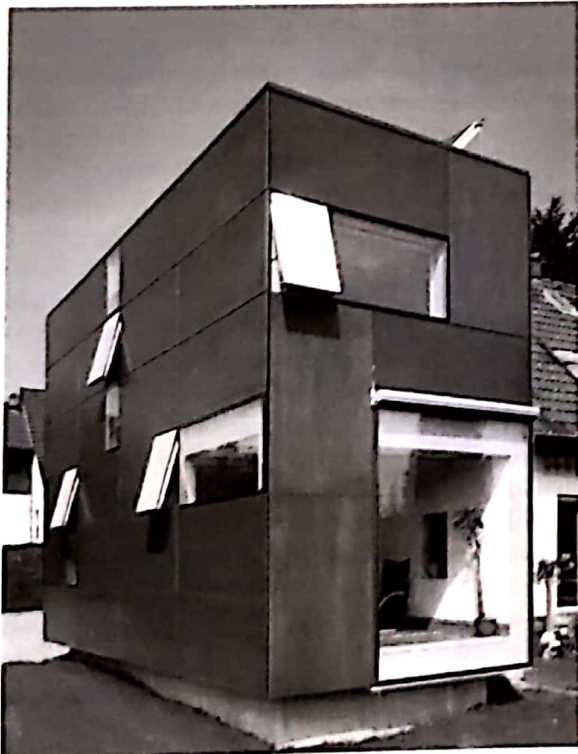
La sintesi progettuale si manifesta anche nel comporre il rapporto tra forma degli spazi e materiali e tecniche utilizzate per costruirli. Il progetto infatti è esito dello stretto rapporto tra il sistema degli spazi (sistema ambientale) e le scelte tecnico-costruttive (sistema tecnologico). Il processo di progettazione è un'attività ricorsiva, che procede nelle scelte con circolarità alle diverse scale di approfondimento. Una scelta costruttiva di dettaglio può portare a modifiche nella forma o nella distribuzione degli spazi, richiedendo un aggiustamento dell'intero progetto. Non è pensabile un progetto che definisca prima la forma e gli spazi e poi definisca i materiali e le soluzioni costruttive, senza una interazione tra i due aspetti.

Lo stesso soddisfacimento dei requisiti di progetto deriva dalla stretta interrelazione tra le prestazioni garantite dai singoli componenti dell'edificio e i rapporti tra le prestazioni delle parti assemblate. Molte prestazioni sono infatti garantite solo dal funzionamento dell'intero complesso. Per esempio il benessere termico è garantito dalla prestazione di isolamento termico delle pareti, delle superfici

trasparenti, delle coperture, ma anche dalle prestazioni degli impianti in termini di erogazione e distribuzione del calore, dalla forma complessiva dell'edificio (se è compatta riduce le superficie disperdente), dall'orientamento ed esposizione delle superfici trasparenti ecc.

Un edificio può quindi essere considerato un sistema, costituito da diverse parti ed elementi costituenti che, nel loro insieme, ciascuno con ruolo e un contributo specifico, danno risposta ai requisiti posti alla base del progetto. L'edificio è composto da parti correlate tra loro da relazioni che ne assicurano l'unitarietà di funzionamento: pur svolgendo ciascuna parte un compito preciso, è dal comportamento coerente delle parti che è possibile corrispondere adeguatamente ai requisiti e garantire il funzionamento efficiente dell'edificio.

Per comprendere la complessità del sistema edificio è utile procedere a una sua scomposizione e a una classificazione delle parti che lo compongono: soltanto così è possibile evidenziare la logica di funzionamento di ciascuna di esse e, al contempo, riconoscerne il ruolo rispetto all'intero sistema.



1.1

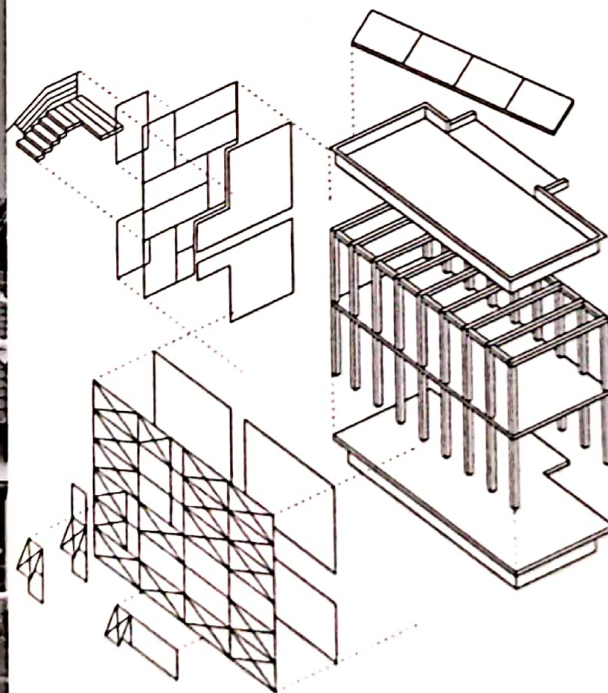


Fig. 1.1 Jürgen Reichardt, Edificio residenziale, Essen, 2001. Esempio di scomposizione dell'edificio in parti funzionali.

1.1 Esigenze, requisiti, prestazioni

L'individuazione delle esigenze avviene attraverso l'analisi dei bisogni da soddisfare, tenendo conto dei vincoli normativi, culturali, ambientali, economici del contesto in cui il progetto si colloca.

La norma UNI 10838:1999 *Edilizia. Terminologia riferita all'utenza, alle prestazioni, al processo edilizio e alla qualità edilizia* (che sostituisce la UNI 7867:1978) contiene le definizioni di esigenza, requisito e prestazione:

- *esigenza*, ciò che di necessità si richiede per il corretto svolgimento di un'attività dell'utente o di una funzione tecnologica;
- *requisito*, traduzione di un'esigenza in fattori (caratteristiche funzionali) atti a individuare le condizioni di soddisfacimento da parte di un organismo edilizio o di sue parti spaziali o tecniche, in determinate condizioni d'uso e di sollecitazione;
- *prestazione edilizia*, servizio reso e comportamento reale dell'organismo edilizio e delle sue parti nelle effettive condizioni d'uso e di sollecitazione.

L'esigenza è il bisogno dell'utente. L'esigenza dell'utente può essere una richiesta esplicita, se l'utente è anche committente. Spesso però il progettista progetta luoghi senza poter raccogliere le richieste degli utenti (nel caso di edifici pubblici oppure nel caso in cui il committente non coincida con l'utente finale): il progettista dunque deve costruirsi un quadro delle esigenze che sappia prefigurare i futuri bisogni di chi andrà ad abitare lo spazio progettato. Su questo versante si gioca la capacità dell'architetto di saper cogliere e prevenire esigenze sociali ancora da esprimere, trasferendole nel progetto come elementi di qualità "aggiuntiva" rispetto a quella strettamente formulata dal committente. Il progettista deve tener conto che, oltre a soddisfare le esigenze soggettive formulate dal committente o dall'utente, dovrà anche garantire che il progetto dia risposta a una serie di esigenze implicite oggettive, imposte dalla legge (come la sicurezza o il benessere).

La classificazione delle esigenze degli utenti del sistema edificio è contenuta nella norma UNI 8289:1981 *Edilizia - Esigenze dell'utenza finale* -

Classificazione. Le classi di esigenze sono:

- la *sicurezza* (insieme delle condizioni relative all'incolumità degli utenti, nonché alla difesa e prevenzione di danni in dipendenza da fattori accidentali, nell'esercizio del sistema edilizio);
- il *benessere* (insieme delle condizioni relative a stati del sistema edilizio adeguati alla vita, alla salute e allo svolgimento delle attività degli utenti);
- la *fruibilità* (insieme delle condizioni relative all'attitudine del sistema edilizio a essere adeguatamente usato dagli utenti nello svolgimento delle attività);
- l'*aspetto* (insieme delle condizioni relative alla fruizione percettiva del sistema edilizio da parte degli utenti);
- la *gestione* (insieme delle condizioni relative all'economia di esercizio del sistema edilizio);
- l'*integrabilità* (insieme delle condizioni relative all'attitudine delle unità e degli elementi del sistema edilizio a connettersi funzionalmente tra di loro);
- la *salvaguardia ambientale* (insieme delle condizioni relative al mantenimento e miglioramento degli stati dei sovrastemi di cui il sistema edilizio fa parte).

La sicurezza è un'esigenza fondamentale e riguarda sia la sicurezza rispetto a eventi accidentali causati dall'ambiente esterno (es. terremoto, folgorazioni), sia la sicurezza rispetto a eventi accidentali causati da parti dell'edificio (es. incendio o scoppio per fuga di gas).

Il benessere, o comfort, è un'altra esigenza essenziale, in quanto riguarda la qualità della vita all'interno dell'edificio. Il benessere si articola in benessere termoigrometrico, acustico, visivo ecc. Occorre sottolineare come la classificazione delle esigenze delineata dalla norma nel 1981 sia valida ancora oggi. Colpisce in particolare la presenza dell'ultima classe di esigenze, quella della salvaguardia ambientale, che ci sembra un tema nuovo, ma che in realtà già all'epoca era sentito. L'esigenza della salvaguardia ambientale dimostra l'attenzione non solo nei confronti dell'edificio come oggetto isolato, ma anche delle ripercussioni che l'edificio genera sull'intorno, sia a scala locale sia a scala globale.

La definizione delle esigenze ha un ruolo chiave rispetto alla qualità dell'opera finale. Infatti la qualità dell'opera finale dipende dalla rispondenza delle prestazioni ai requisiti che ne hanno motivato la realizzazione. Quindi la qualità è un valore relativo, riferito ai requisiti e agli obiettivi definiti preliminarmente. Non è possibile porsi l'obiettivo progettuale di soddisfare pienamente "tutte" le esigenze e "tutti" i requisiti. Occorre sempre selezionare le priorità, confrontandosi anche con la disponibilità di risorse economiche del progetto.

Proprio la differenziazione delle esigenze e dei requisiti in relazione al singolo progetto, porta alla realizzazione di edifici sempre differenti, in cui l'opera viene finalizzata a soddisfare il più adeguatamente possibile le esigenze del committente e dei futuri utenti.

Essendo in genere il committente colui che definisce quali esigenze privilegiare, la qualità dell'opera dipende da ciò che il committente è disposto ad accettare come qualità. Laddove il committente pone come prioritaria l'esigenza dell'economicità dei costi di realizzazione dell'opera (purtroppo molto frequentemente), questo chiaramente va a incidere sulla maggior parte delle scelte progettuali e sull'esito finale dell'opera.

Una volta definito preliminarmente il quadro delle esigenze che il progetto è chiamato a soddisfare, le esigenze vengono tradotte dal progettista in requisiti del progetto, andando a individuare le caratteristiche che devono avere le diverse parti dell'edificio per consentire all'edificio di soddisfare le esigenze. Di conseguenza le funzioni complessivamente assegnate all'edificio vengono poi "scomposte" in compiti assegnati alle singole parti. Tali compiti vengono espressi in una serie di requisiti ai quali gli elementi costruttivi devono rispondere. Per esempio l'esigenza di benessere termico, viene poi tradotta dal progettista in una serie di requisiti come il controllo dell'inerzia termica e il controllo della dispersione di calore per trasmissione tramite l'involucro. Alcune norme impongono anche dei valori di riferimento come requisiti di progetto: per esempio la normativa sul rendimento energetico degli edifici impone valori di trasmittanza termica limite per il controllo della dispersione di calore tramite l'involucro.

I requisiti sono la trasposizione tecnica delle esigenze. La loro individuazione deriva dall'analisi delle esigenze confrontate con i fattori ambientali ed economici relativi al singolo progetto. Sono formulate come richiesta (ai materiali, ai componenti tecnici, allo spazio, all'edificio nel suo insieme) di possedere determinate caratteristiche. Tali caratteristiche sono di tipo "funzionale", indipendenti dunque dal materiale; è il progettista che deve poi individuare quale materiale o quale componente è in grado di garantire quelle caratteristiche.

La norma UNI 8290-2:1983 *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti* illustra un elenco (ovviamente non completo) di possibili requisiti. Per esempio, rispetto alla classe di esigenze della gestione, i possibili requisiti che riguardano l'intero edificio e le sue parti sono: l'affidabilità nel tempo, la manutenibilità, la pulibilità, la riparabilità, la sostituibilità, la stabilità chimica, la stabilità morfologica ecc.

Per soddisfare i requisiti devono essere fatte determinate scelte di progetto che riguardano sia le caratteristiche dei materiali, sia le caratteristiche degli elementi costruttivi, sia le relazioni tra le diverse parti d'opera (infatti le funzioni svolte dall'edificio nel suo insieme sono più della semplice somma delle funzioni svolte dalle singole parti).

I materiali, gli elementi costruttivi, le parti dell'edificio e l'edificio nel suo insieme soddisfano o meno i requisiti in relazione alle prestazioni che sono in grado di garantire. La prestazione è il risultato conseguito in relazione al comportamento effettivo dei materiali e dei componenti scelti o delle soluzioni spaziali o relazionali individuate. Chiaramente tale verifica di rispondenza deve essere fatta a priori rispetto alla realizzazione, durante il progetto. Per esempio il progettista deve verificare di aver scelto una soluzione di parete in grado di garantire il rispetto dei limiti di trasmittanza termica previsti dalla normativa (requisito di controllo della dispersione termica). Lo può fare conoscendo le caratteristiche dei materiali che compongono la parete e le modalità di interazione tra le parti, a seconda del modo con cui ha pensato di assemblarle, e avvalendosi di strumenti di calcolo e simulazione del comportamento in opera.

1.2 Sistema ambientale e sistema tecnologico

Esiste una continuità logica e metodologica nei nessi cognitivi e ideativi che si stabiliscono, entro il processo di progettazione, tra i materiali per la costruzione, i componenti edilizi e l'organismo architettonico. L'approccio sistemico alla progettazione consiste nell'individuare le parti e nello studiare le relazioni.

Attraverso processi di trasformazione e produzione i materiali divengono componenti edilizi e attraverso processi di assemblaggio i componenti edilizi diventano l'edificio. Chiaramente i rapporti dimensionali che si instaurano tra le diverse parti dell'edificio ne determinano la forma e l'organizzazione degli spazi interni.

Le caratteristiche dei materiali e degli elementi tecnici utilizzati per la realizzazione dell'edificio ne connotano la configurazione, sia dal punto di vista funzionale sia dal punto di vista spaziale.

L'edificio non è una semplice sommatoria di spazi, elementi tecnici, materiali e impianti, ma è un sistema in cui ogni elemento si relaziona all'altro in modo complesso per soddisfare i bisogni dell'utenza.

L'organismo edilizio è l'insieme strutturato di elementi spaziali e di elementi tecnici, interni ed esterni, pertinenti all'edificio, caratterizzati dalle loro funzioni e dalle loro relazioni reciproche.

Il sistema ambientale è l'insieme delle unità ambientali e degli elementi spaziali, definiti nelle loro prestazioni e nelle loro relazioni.

L'unità ambientale è il raggruppamento di attività dell'utente, derivanti da una determinata destinazione d'uso dell'organismo edilizio, compatibili spazialmente e temporalmente fra loro. Esempi di unità ambientali sono: spazi di vita, spazi di servizio, spazi di circolazione.

L'elemento o unità spaziale è la porzione di spazio fruibile destinata allo svolgimento delle attività di un'unità ambientale. Esempi di unità spaziali sono: l'ufficio, il soggiorno, il bagno, il ripostiglio, il corridoio, la scala.

Il sistema ambientale riguarda quindi l'insieme degli spazi interni dell'edificio, nei quali si svolgono attività principali e secondarie degli utenti e

dove vi sono spazi di collegamento e di servizio. In fase meta-progettuale si possono individuare delle unità ambientali, che si identificano con un raggruppamento di attività compatibili spazialmente e temporalmente, definite in relazione a determinati modi d'uso dell'utenza. Vi sono poi elementi spaziali, che in fase progettuale si identificano con porzioni di spazio fruibile destinate ad accogliere, interamente o parzialmente, una o più unità ambientali.

Il sistema ambientale è caratterizzato dalla dimensione, dalla geometria e dalla posizione reciproca (degli spazi tra loro e dell'edificio rispetto al contesto), indipendentemente dalle caratteristiche dei materiali che delimitano gli spazi. Il sistema ambientale ha stretta relazione con la forma e l'aspetto dell'edificio. La sua forma e dimensione dipendono dai requisiti ambientali legati alle attività che vi si andranno a svolgere.

Nello stesso tempo non possiamo pensare a una forma senza caratterizzarla anche fisicamente, in relazione a come è costruita, di che materiale è fatta, di che colore è ecc. Infatti l'organismo edilizio è composto da spazi delimitati al perimetro da elementi fisici.

Il sistema tecnologico è l'insieme strutturato delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici, definiti nelle loro prestazioni e nelle loro relazioni. L'elemento tecnico è il prodotto edilizio più o meno complesso capace di svolgere completamente o parzialmente funzioni proprie di una o più unità tecnologiche e che si configura come componente caratterizzante di un subsistema tecnologico.

Una volta definiti i requisiti degli elementi tecnici, per progettare bisogna conoscere i modelli funzionali. I modelli funzionali definiscono le parti o strati funzionali caratterizzanti gli elementi tecnici, in rapporto ai requisiti che connotano gli elementi stessi. Si tratta di strati e di elementi ancora non dimensionati, finalizzati semplicemente a illustrare la successione di funzioni e i rapporti di funzionamento tra le parti.

I modelli funzionali sono nella fase progettuale il primo strumento concettuale per procedere successivamente a definire in modo corretto le soluzioni tecniche definitive. Inoltre, consentono di classificare le tipologie di soluzioni disponibili in

rapporto alle possibilità offerte dal mercato e dalla tecnologia. Infine, facilitano la ricerca dei motivi funzionali che portano a scegliere una soluzione piuttosto che un'altra.

Così come l'edificio si articola in sistema ambientale e sistema tecnologico, così anche i requisiti e le prestazioni del sistema edilizio si articolano in requisiti e prestazioni ambientali e requisiti e prestazioni tecnologiche.

Per esempio, il requisito della sicurezza strutturale va declinato in requisiti ambientali, legati all'efficienza morfologica dell'organismo edilizio in relazione alle azioni statiche e dinamiche, e in requisiti tecnologici, legati alla resistenza meccanica dei singoli elementi garantita sia dalla forma dell'elemento sia dalle proprietà del materiale da cui è costituito.

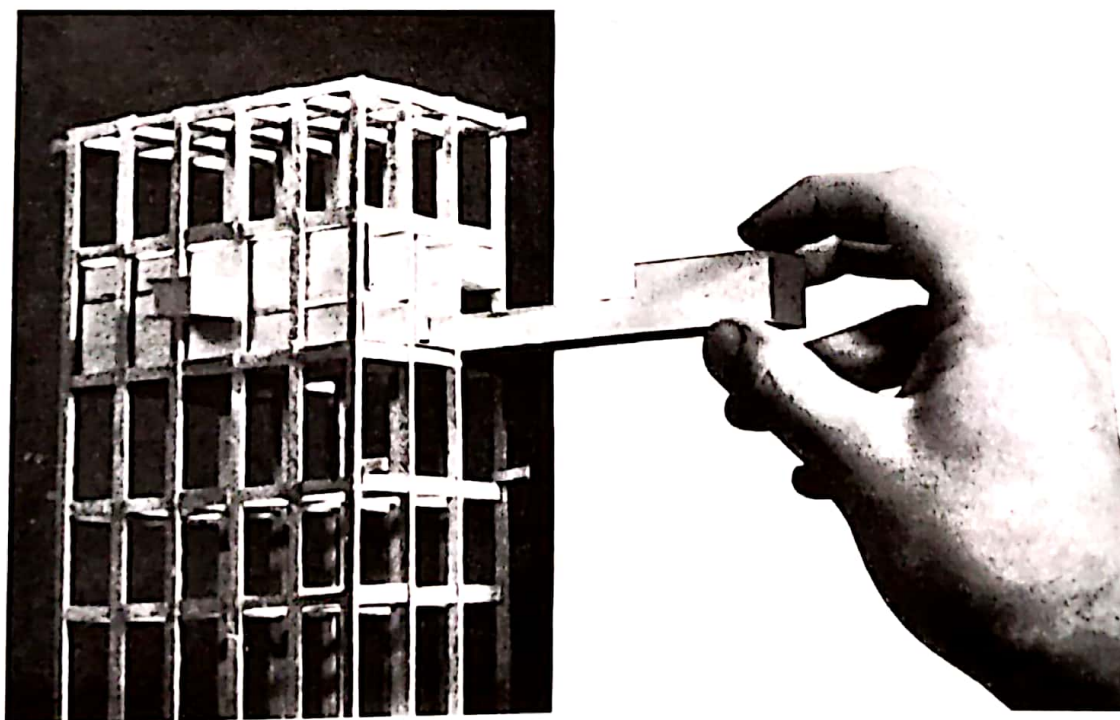
E ancora, per esempio, la sicurezza in caso di incendio viene garantita da requisiti ambientali, legati al progetto delle vie di fuga, e da requisiti tecnologici, legati alla resistenza al fuoco e tenuta al fumo (REI) delle partizioni tagliafuoco che racchiudono le vie di fuga stesse.

La progettazione si è da sempre confrontata con la necessità di conciliare aspetti legati alle scelte spaziali e aspetti legati alle scelte tecnico-costruttive; gli esempi più interessanti di architettura sono quelli in cui tale rapporto si è risolto in una effettiva integrazione di questi due ambiti, dove spazio e costruzione coincidono, dove le necessità dimensionali degli spazi vengono correlate alle necessità dimensionali degli elementi costruttivi.

Nel suo saggio *Modulo-misura e modulo-oggetto*¹, Giulio Carlo Argan illustra come la progettazione abbia sempre effettuato un controllo delle proporzioni dimensionali tramite la definizione di una modularità, tradizionalmente identificata in una misura astratta (sezione aurea) o correlata a misure umane (si pensi al Modulor di Le Corbusier). Oggi però il modulo tende a coincidere con le dimensioni degli oggetti della costruzione, soprattutto nei processi a elevata prefabbricazione.

Occorre però sottolineare che gli stessi oggetti fisici alla base del modulo-oggetto spesso partono dallo studio delle dimensioni umane (si pensi ai tatami della cultura giapponese).

¹ Giulio Carlo Argan, *Modulo-misura e modulo-oggetto*, in *Progetto e Destino*, Il Saggiatore, Milano, 1965.



1.2

Fig. 1.2 Le Corbusier, modellino di studio dell'Unité d'habitation di Marsiglia, 1947. Nel modellino è evidenziato il rapporto tra il sistema degli spazi (cellula di un appartamento duplex che viene infilata nella struttura) e il sistema degli elementi costruttivi (intelaiatura della struttura portante dell'edificio).

1.3 La scomposizione dell'edificio in subsistemi

Ogni parte dell'edificio svolge un compito preciso, in relazione alla sua funzione e alla sua posizione. L'edificio può essere scomposto in subsistemi (unità tecnologiche) ed elementi costruttivi (elementi tecnici).

La norma UNI 8290-1:1981 *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia* illustra l'articolazione delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici in cui è scomposto il sistema tecnologico.

Per unità tecnologica si intende un'unità che si identifica con un raggruppamento di funzioni, compatibili tecnologicamente, necessarie per l'ottenimento di prestazioni ambientali.

Per elemento tecnico si intende un elemento che si identifica con un prodotto edilizio, più o meno complesso, capace di svolgere completamente o parzialmente funzioni proprie di una o più unità tecnologiche. La norma UNI non elenca gli elementi tecnici, che sarebbero troppo articolati, ma si limita a elencare le classi di elementi tecnici.

La classificazione adottata dalla norma, e che coincide con l'impostazione della manualistica tecnica, assume come riferimento prevalente il criterio funzionale, ragionando cioè sulla funzione (prestazione) svolta da ciascuna parte rispetto ai requisiti del progetto.

Si sarebbero potute assumere altre modalità di classificazione, per esempio la classificazione merceologica, in base ai comparti produttivi e alla commercializzazione dei prodotti offerti dal mercato, oppure la classificazione per parti d'opera e lavorazioni in relazione alle modalità esecutive e alla sequenza di messa in opera (tipica per esempio dei prezziari). Queste due classificazioni sono però suscettibili di modificazioni nel tempo, sono molto condizionate e irrigidite dalla struttura economico-produttiva, spesso cambiano in relazione ai contesti, ma soprattutto sono poco legate al progetto e alla sua concezione sistemica e all'approccio esigenziale-prestazionale che lo caratterizza.

La classificazione basata sulla funzione dominante attribuita alla parte di edificio, scelta dalla norma, non esclude difficoltà di classificazione. Per esem-

pio, la parte strutturale del solaio dovrebbe essere classificata entro le strutture, nelle strutture in elevazione, ma nella norma i solai, con i loro elementi di completamento (pavimentazioni e controsoffitti), vengono classificati all'interno delle partizioni interne orizzontali.

Dal momento che questo libro utilizza la scomposizione illustrata dalla norma UNI come riferimento per la trattazione delle diverse parti d'opera, si è in questo caso scelto di trattare la parte strutturale dei solai nel capitolo sulle strutture portanti e di trattare solo gli strati di completamento (pavimentazioni e controsoffitti) nel capitolo sulle partizioni interne. Questa scelta deriva dalle funzioni svolte da queste diverse parti dell'edificio e dai rispettivi requisiti connotanti: i requisiti di resistenza meccanica sono attribuiti alle strutture, mentre le partizioni interne devono soddisfare requisiti di isolamento termico e acustico che sono assolti dalle prestazioni dei pacchetti di completamento, più che dalla parte strutturale del solaio.

Stesso discorso vale anche per le scale, che la norma UNI classifica all'interno delle partizioni interne inclinate, ma che in questo libro verranno trattate nel capitolo sulle strutture, in quanto si è ritenuto che la funzione prioritaria sia quella strutturale.

Questo discorso serve a dimostrare che le classificazioni sono utili per cercare di "scomporre" problemi complessi, ma non sempre è facile classificare tutto in maniera univoca, e dunque alcune parti sono suscettibili di interpretazione e diversa allocazione.

Va anche sottolineato che la norma è datata e per esempio contiene alcune lacune rispetto all'evoluzione dei sistemi impiantistici oggi integrati negli edifici, come gli impianti per la produzione di energia (es. fotovoltaico), che invece verranno affrontati in questo libro.

Proprio per enfatizzare l'importanza dei requisiti e delle funzioni al fine di una corretta classificazione e trattazione delle diverse parti d'opera, ogni capitolo di questo libro si apre proprio con l'illustrazione dei requisiti che connotano la classe di unità tecnologica, illustrando poi i diversi subsistemi (unità tecnologiche) in cui si articola ed esempi di elementi tecnici.

Classi di unità tecnologiche	Unità tecnologiche	Classi di elementi tecnici
Struttura portante insieme delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici appartenenti al sistema edilizio aventi funzione di sostenere i carichi del sistema edilizio stesso e di collegare staticamente le sue parti	Struttura di fondazione	Strutture di fondazione dirette
		Strutture di fondazione indirette
	Struttura di elevazione	Strutture di elevazione verticali
		Strutture di elevazione orizzontali
		Strutture di elevazione inclinate
		Strutture di elevazione spaziali
Struttura di contenimento	Strutture di contenimento verticali	
	Strutture di contenimento orizzontali	
Chiusura insieme delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici appartenenti al sistema edilizio aventi funzione di separare e conformare gli spazi interni del sistema edilizio stesso rispetto all'esterno	Chiusura verticale	Pareti perimetrali verticali
		Infissi esterni verticali
	Chiusura orizzontale inferiore	Solai a terra
		Infissi orizzontali
	Chiusura orizzontale su spazi esterni	Solai su spazi aperti
Chiusura superiore	Coperture	
	Infissi esterni orizzontali	
Partizione interna insieme delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici appartenenti al sistema edilizio aventi funzione di dividere e conformare gli spazi interni del sistema edilizio stesso	Partizione interna verticale	Pareti interne verticali
		Infissi interni verticali
		Elementi di protezione
	Partizione interna orizzontale	Solai
		Soppalchi
		Infissi interni orizzontali
Partizione interna inclinata	Scale interne	
	Rampe interne	
Impianto di fornitura servizi insieme delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici appartenenti al sistema edilizio aventi funzione di consentire l'utilizzazione di flussi energetici, informativi e materiali richiesti dagli utenti e di consentire il conseguente allontanamento degli eventuali prodotti di scarto	Impianto di climatizzazione	Alimentazione
		Gruppi termici
		Centrali di trattamento fluidi
		Reti di distribuzione e terminali
		Canne di esalazione
	Impianto idrosanitario	Allacciamenti
		Reti di distribuzione
	Impianto di smaltimento liquidi	Reti di scarico acque fecali
		Reti di scarico acque meteoriche
	Impianto di smaltimento aeriformi	Macchine
Reti di canalizzazione		
Impianto elettrico	Allacciamenti	
	Reti di distribuzione e terminali	
Impianto fisso di trasporto	Macchine	
	Parti mobili	

Fig. 1.3 Quadro delle principali classi di unità tecnologiche e di elementi tecnici elencate nella norma UNI 8290-1. L'elenco non è completo: altre classi di unità tecnologiche elencate sono le partizioni esterne (elementi di protezione, balconi e logge, scale esterne), l'impianto di sicurezza (antincendio, messa a terra, parafulmine, antifurto), l'attrezzatura interna (arredo domestico, blocco servizi), l'attrezzatura esterna (recinzioni, pavimentazioni esterne). Anche l'elenco delle unità tecnologiche e delle classi di elementi tecnici dell'impianto di fornitura servizi è stato semplificato rispetto a quanto contenuto nella norma

Fig. 1.4 Materie prime (minerali di ferro) alla base della produzione dell'acciaio.

Fig. 1.5 L'acciaio è un materiale che non esiste in natura, ma deve essere "prodotto" tramite lavorazione delle materie prime: i minerali vengono tritati e scaldati fino alla fusione e poi, tramite colata continua, trasformati in semilavorati (bramme, blumi, billette).

Fig. 1.6 Le billette sono uno dei semilavorati della produzione dell'acciaio.

1.4 Tecniche e ciclo di vita

L'ambito di studio della tecnologia dell'architettura comprende i processi di trasformazione che coinvolgono i materiali e l'edificio e che richiedono la definizione di tecniche di produzione, tecniche di costruzione e assemblaggio, tecniche di dissmissione e riprocessamento.

Gli edifici sono costituiti da materiali che subiscono un processo di trasformazione (produzione o lavorazione) per diventare prodotti edilizi, i quali, a loro volta, tramite un processo di costruzione (o assemblaggio), vanno a comporre l'edificio. Una volta terminata la vita utile dell'edificio, a causa o di degrado fisico del manufatto o di obsolescenza funzionale o decadimento dell'uso per cui era stato costruito, l'edificio subisce un processo di dissmissione (tecniche di demolizione o di disassemblaggio) e le sue parti componenti possono essere smaltite in discarica o riutilizzate oppure riciclate, tramite un nuovo processo di trasformazione dei materiali (tecniche di riprocessamento). Tutte queste attività sono gestite da diversi operatori e costituiscono nel loro insieme le fasi del ciclo di vita edilizio (dell'edificio e dei suoi componenti).

Chiaramente ciascuna di queste attività determina degli impatti sull'ambiente, che dipendono dal tipo di processo. Possono essere utilizzate delle procedure di calcolo per conoscere gli impatti ambientali determinati dai prodotti edilizi e dagli edifici nell'intero ciclo di vita. In particolare il *Life Cycle Assessment* (valutazione ambientale del ciclo di vita) è un metodo che consiste nel quantificare il consumo di risorse (materiche, energetiche, idriche) e il rilascio di emissioni inquinanti (solide, liquide,

gassose) in ciascuna delle attività lungo l'intero ciclo di vita degli edifici, partendo dall'estrazione delle materie prime fino alla dissmissione (conferimento in discarica o riciclaggio o riuso) dei singoli componenti edilizi e materiali. La consapevolezza degli impatti associati ai prodotti edilizi, alle soluzioni costruttive, alle scelte progettuali relative all'edificio nel suo insieme, consente al progettista di orientare le sue decisioni nella direzione della sostenibilità ambientale, quantificando qual è il beneficio ambientale di una certa scelta rispetto a un'altra.

La prima fase del ciclo di vita è quella dell'approvvigionamento delle materie prime. Le materie prime provengono da risorse naturali, prevalentemente di tipo minerale, che richiedono un processo di estrazione (cave di pietra, sabbia, ghiaia, calcare per il calcestruzzo, argilla per il laterizio e la ceramica, miniere per i metalli, silicati per i vetri, giacimenti petroliferi per le materie plastiche di sintesi chimica ecc.). L'attività estrattiva ha un notevole impatto sull'ambiente, sia in termini di deturpazione paesaggistica, sia in termini di quantitativi di materiale movimentato e rifiuti prodotti (scarti e terre rimosse). Inoltre i minerali sono risorse non rinnovabili, che una volta consumate non sono più disponibili e che possono potenzialmente esaurirsi, dati anche gli elevati quantitativi prelevati. Risorse di tipo rinnovabile sono invece quelle vegetali (il legno in particolare), che oltretutto non richiedono un processo di estrazione ma semplicemente una attività di prelievo. Anche in questo caso però possono esserci rischi di impatto ambientale nel momento in cui il prelievo è consistente e determina fenomeni massicci di disboscamento.



1.4



1.5



1.6

10

L'edificio come sistema



Un ulteriore aspetto rilevante dal punto di vista ambientale è l'impatto generato dal trasporto delle materie prime fino allo stabilimento produttivo. Molte materie prime da noi utilizzate vengono importate da altri continenti.

Le materie prime così ottenute sono entità dotate di una propria consistenza fisica, di peso e massa, capaci di adeguarsi a una forma e utili come base alle lavorazioni industriali¹.

Ci sono casi particolari in cui le materie prime vengono portate direttamente in cantiere senza subire lavorazioni intermedie. È il caso per esempio della ghiaia che viene utilizzata come materiale di riempimento nel piano di fondazione oppure come aggregato per il confezionamento in cantiere del calcestruzzo gettato in opera (in cantiere arrivano i sacchi di cemento, la sabbia e la ghiaia che vengono impastati sul posto e gettati nelle casseforme). Nel caso della pietra e del legno massello, le materie prime coincidono già con il materiale: dopo l'estrazione, esse subiscono pochi processi di lavorazione (es. taglio, levigatura) per essere già disponibili come componente edilizio da assemblare in cantiere.

La maggior parte dei materiali edilizi invece non esiste in natura e deve essere prodotta, spesso tramite complessi cicli di trasformazione di tipo industriale (si pensi al cemento, alle materie plastiche, ai metalli). Chiaramente i processi di produzione industriale determinano notevoli impatti sull'ambiente e richiedono elevati consumi di energia. Tali impatti variano in relazione al tipo di processo produttivo e dunque al tipo di materiale prodotto e alla quantità di lavorazioni che il materiale deve subire prima di essere trasportato al cantiere.

In alcuni casi le materie prime subiscono un primo processo di trasformazione, che consiste nella produzione del materiale, in una forma tale però da non essere già disponibile come componente della costruzione, ma tale da richiedere ancora successive lavorazioni: questo tipo di prodotto viene definito "semilavorato", poiché non ha una dimensione e una forma già adeguata alla costruzione dell'edificio, ma si trova in uno stadio intermedio. Esempi di semilavorati sono l'acciaio in "lingotti" (es. blumi) e il cemento in "polvere".

I semilavorati devono dunque subire un ulteriore processo di lavorazione, che consiste nella formatura del prodotto in elemento costruttivo alla base della realizzazione dell'edificio. Questa ulteriore lavorazione non avviene nello stesso stabilimento produttivo, per cui il semilavorato viene commercializzato e trasformato da un operatore differente. Altri materiali (come il vetro e il laterizio) si caratterizzano invece per processi produttivi industriali in cui la lavorazione delle materie prime contempla già il processo di formatura dell'elemento costruttivo finale.

Particolare è il caso del legno, che oggi raramente viene usato come legno massello, ma il più delle volte è utilizzato come legno ingegnerizzato, ossia legno ricomposto (lamellare, compensato, truciolare ecc.) con l'obiettivo di migliorarne le prestazioni (resistenza meccanica, durabilità, resistenza al fuoco ecc.). Il legno lamellare viene prodotto in stabilimenti industriali, da cui escono componenti già dimensionati pronti per il cantiere.

Alcuni semilavorati, come i metalli, subiscono il processo di formatura (laminazione o estrusione o piegatura) in stabilimenti industriali appositi.

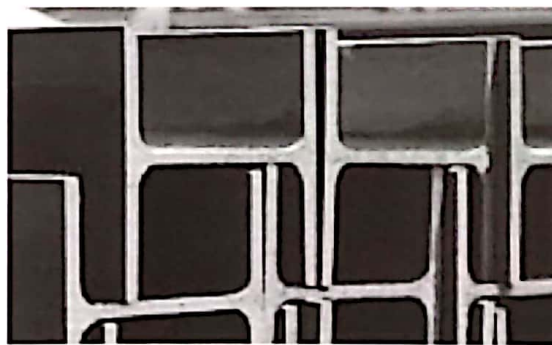
Fig. 1.7 I semilavorati dell'acciaio (blumi, billette, bramme) devono subire un ulteriore processo di lavorazione (formatura) per dare vita agli elementi costruttivi alla base della costruzione dell'edificio. In questo caso il processo è di laminazione tramite cilindri.

Fig. 1.8 Profili di acciaio laminati a caldo HE.

Fig. 1.9 Pedro Rogado e Caterina Almada, Casa unifamiliare, Pamela, Portogallo, 2006. Struttura portante realizzata con profili HE.



1.7



1.8



1.9

¹ Giacomo Devoto, Gian Carlo Oli, *Il dizionario della lingua italiana*, Le Monnier, Firenze, 1971.

Fig. 1.10 Cava di calcare, una delle materie alla base della produzione del cemento.

Fig. 1.11 Stabilimento di produzione del cemento: le materie prime, una volta macinate, vengono cotte in forno, ottenendo un prodotto cotto, in forma di granuli, denominato clinker, che viene depositato in silos e successivamente frantumato per ottenere la polvere di cemento.

Fig. 1.12 Sacchi di cemento Portland. Il cemento è un semilavorato: dopo la produzione nello stabilimento industriale, viene confezionato in sacchi e trasportato in cantiere (oppure in un altro stabilimento produttivo nel caso della produzione di componenti prefabbricati), dove avverrà il processo di formatura in elemento costruttivo.

Altri semilavorati, come il cemento, vengono direttamente portati in cantiere e qui lavorati in opera (impasto con acqua e aggregati per la realizzazione di calcestruzzo e colatura dell'impasto in casseforme per la formatura in opera).

Ormai rimangono pochi i semilavorati che vengono "formati" in cantiere (il principale è il cemento, da cui derivano calcestruzzo, malte e intonaci). La maggior parte degli elementi costruttivi base oggi vengono preformati negli stabilimenti industriali e portati in cantiere come pezzi costituiti da oggetti con una forma e una dimensione precisa (es. mattoni e blocchi in laterizio, profilati in acciaio, lastre di vetro, pannelli isolanti, tegole o coppi in laterizio).

Alcuni elementi costruttivi più complessi, formati da più pezzi (per esempio le finestre), vengono normalmente preassemblati in stabilimenti che si occupano solo dell'assemblaggio di elementi preformati provenienti da altri stabilimenti produttivi (es. il serramentista assembla i profilati estrusi in alluminio, le guarnizioni in neoprene e le lastre di vetro acquisite dai rispettivi stabilimenti di produzione).

Tutti gli elementi costruttivi sia preformati sia preassemblati vengono definiti "componenti edilizi", in quanto la loro forma non subisce modificazioni in cantiere e le operazioni che vengono effettuate in cantiere con questi elementi sono solo quelle di assemblaggio (es. i mattoni vengono "incollati" uno sull'altro con apposite malte per formare un muro).

In cantiere possono avvenire due tipi di operazioni esecutive: la costruzione in loco di parti d'opera oppure l'assemblaggio di componenti edilizi

costruiti in un altro luogo (stabilimento industriale). Per esempio la predisposizione di casseforme e armature e il getto del calcestruzzo per la realizzazione di setti strutturali o pilastri e travi è una tipica attività di costruzione in cantiere. La messa in opera di una finestra, che è stata prodotta industrialmente e arriva già pronta, è un esempio di operazione di assemblaggio.

I componenti edilizi che arrivano in cantiere già pronti e devono essere solo assemblati si definiscono "prefabbricati" (fabbricato prima del cantiere). Mentre la costruzione di parti in opera consente aggiustamenti dimensionali e quindi non impegna il progettista a un attento controllo dei rapporti dimensionali (tolleranze nell'ordine dei centimetri tra il progettato e il realizzato), le procedure di assemblaggio e l'uso di componenti prefabbricati richiede al progettista la corretta definizione delle dimensioni e dei rapporti tra le parti. In questi casi le tolleranze tra progettato e costruito sono nell'ordine del millimetro.

Spesso le dimensioni dei componenti prefabbricati dipendono dall'offerta produttiva; nello stesso tempo, l'attuale flessibilità dei processi di produzione consente anche produzioni speciali in relazione al singolo progetto e alle richieste del progettista, senza incrementi irragionevoli dei costi. Alcuni progetti dunque calibrano l'intero dimensionamento delle parti d'opera in relazione al modulo dei componenti. Si tratta però di pochi casi, legati all'uso di componenti altamente industrializzati.

Nel caso di murature in laterizio spesso c'è poco controllo progettuale rispetto alla modularità dei componenti e si procede in cantiere alla spaccatura dei blocchi in relazione alle esigenze di lunghezza



1.10



1.11



1.12

e altezza del muro nel progetto. Quello che rimane prestabilito è solo lo spessore. Lo stesso discorso vale anche per altri componenti: per esempio, nel caso dei pannelli di materiale isolante si procede in cantiere al taglio della lastra in relazione alla superficie di involucro. Questa prassi genera però notevoli sprechi di materiale (sfridi di cantiere) che inoltre devono essere smaltiti come rifiuti.

Nella maggior parte dei cantieri contemporanei le due modalità esecutive (costruzione e assemblaggio) coesistono in relazione a diverse parti d'opera: tipicamente le strutture portanti (soprattutto le fondazioni) sono gettate in opera e i serramenti sono elementi prefabbricati assemblati alla muratura.

È l'industrializzazione ad aver comportato modifiche nella sequenza di produzione e costruzione degli edifici, spostando molte lavorazioni tipiche del cantiere all'interno degli stabilimenti industriali. Oggi molte parti d'opera che prima venivano realizzate in cantiere tramite procedimenti "artigianali", vengono a volte realizzate in stabilimento e trasportate in cantiere come parti già pronte da assemblare. Per esempio la struttura portante in calcestruzzo armato può essere realizzata in opera oppure essere di tipo prefabbricato.

Esistono casi estremi in cui l'intero edificio è prefabbricato, ossia in cui tutte le parti che lo compongono sono state realizzate in stabilimento e semplicemente assemblate in cantiere.

Privilegiare la costruzione in cantiere o l'assemblaggio di componenti prefabbricati dipende dalle scelte di progetto, in relazione anche alla complessità dell'intervento (in genere per edifici di grandi dimensioni si privilegia l'assemblaggio di componenti prefabbricati).

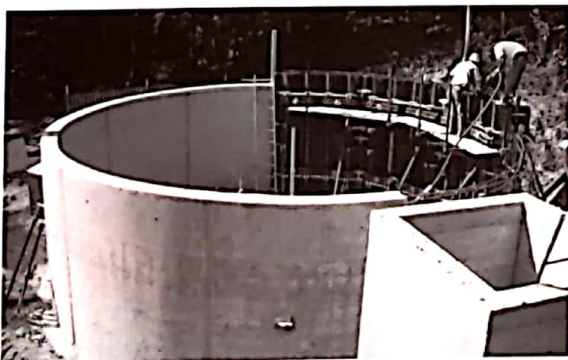
Occorre però sottolineare come sempre più prodotti edilizi siano di tipo prefabbricato e come si stia assistendo a una sempre maggiore prefabbricazione di intere parti d'opera (pareti, solai) e alla industrializzazione del cantiere stesso. Le motivazioni sono da ricercare in una serie di vantaggi: la velocizzazione dei tempi di cantiere (con una notevole contrazione dei costi e con la possibilità di una programmazione dei tempi certa), la maggiore qualità esecutiva delle parti d'opera prefabbricate rispetto a quelle realizzate in opera (grazie ai controlli tipicamente operati negli stabilimenti industriali), la ridotta necessità di manodopera specializzata in cantiere (grazie alla facilità delle operazioni di assemblaggio).

Dal punto di vista ambientale, il cantiere non è una delle fasi a maggiore impatto, ma sicuramente la prefabbricazione riduce drasticamente gli impatti di cantiere. Anche se il rischio è quello di spostare gli impatti su altre fasi (quella di formatura e assemblaggio in stabilimento, quella di trasporto). Rispetto all'assemblaggio in cantiere di componenti prefabbricati occorre operare una ulteriore distinzione in base al tipo di connessioni tra i componenti prefabbricati: se le giunzioni sono eseguite tramite materiali umidi (malte, colle, getti integrativi di calcestruzzo) si parla di "assemblaggio a umido" (es. muri in mattoni o blocchi in laterizio), mentre se le giunzioni sono eseguite con connessioni meccaniche (viti, bulloni, incastri) di tipo reversibile si parla di "assemblaggio a secco" (es. facciate continue, pareti interne leggere).

La scelta della modalità di assemblaggio è determinante rispetto agli scenari di fine vita dell'edificio e dei suoi materiali. Modalità di assemblaggio a

Fig. 1.13 Predisposizione della casseforme e getto in opera del calcestruzzo. In cantiere vengono impastati cemento, ghiaia, sabbia e acqua per ottenere il calcestruzzo. Vengono quindi predisposte delle casseforme (stampi) in relazione alla forma che l'elemento costruttivo dovrà assumere (nell'immagine setto verticale con forma curvilinea). Si aspetta dunque la presa dell'impasto e si procede alla rimozione della cassetta (nell'immagine sono visibili alcune porzioni di setto verticale già scassate).

Fig. 1.14-15 Angelo Mangiarotti, sistema costruttivo Facep Busso-lengo, 1976. Fasi di produzione in officina e di assemblaggio in cantiere di componenti prefabbricati in calcestruzzo armato per la realizzazione della struttura portante. In questo caso i componenti in calcestruzzo armato vengono realizzati in officina e trasportati in cantiere già pronti, dove devono semplicemente essere assemblati tra di loro. Nel caso illustrato la sagomatura dei componenti permette di assemblarli a secco per semplice incastro.



1.13



1.14



1.15

umido renderanno necessaria una demolizione collettiva, con notevoli difficoltà di recupero e riciclaggio di materiali e componenti. Modalità di assemblaggio a secco, in quanto reversibili, consentono a fine vita lo smontaggio delle varie parti, favorendo il riuso dei componenti e il riciclaggio dei materiali.

Gli operatori che si sono susseguiti nelle fasi descritte finora sono quelli dell'industria estrattiva, quelli dell'industria manifatturiera (produttori di materiali e componenti edilizi) e quelli dell'industria delle costruzioni (imprese di costruzione). Con la costruzione o assemblaggio delle parti d'opera e il completamento dell'edificio comincia la vita utile dell'edificio stesso e dunque il suo uso. Durante la fase di gestione dell'edificio i materiali e i componenti dovrebbero garantire le prestazioni attese per il corretto funzionamento dell'edificio e soddisfare le esigenze di sicurezza e benessere degli abitanti.

In particolare oggi vi è una elevata attenzione nei confronti delle prestazioni di isolamento termico al fine di contenere i consumi energetici per la climatizzazione invernale degli edifici. L'energia richiesta dagli edifici esistenti per la climatizzazione invernale è oggetto di preoccupazione (a livello non solo nazionale ma anche internazionale) sia in relazione alla capacità da parte del sistema energetico di soddisfare tale richiesta, sia in relazione all'inquinamento prodotto durante la produzione di calore (combustione di combustibili fossili).

Recenti normative stanno imponendo requisiti sempre più severi per orientare alla progettazione di edifici a bassissimo consumo di energia, onde cercare di contenere sia i consumi di energia, sia

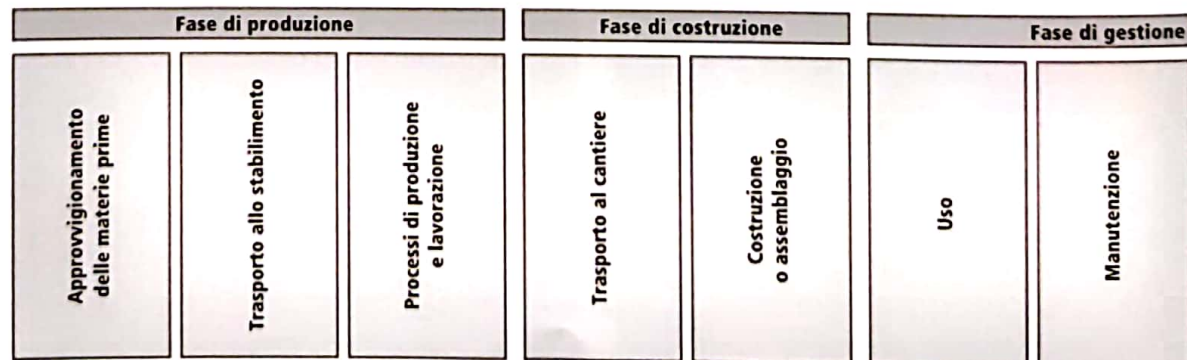
le emissioni di gas a effetto serra associate a questi consumi di energia.

Il ruolo della progettazione nella definizione di edifici energeticamente efficienti è centrale. La fase di gestione infatti è la fase attualmente più impattante, proprio per la scarsa attenzione progettuale nei confronti del risparmio di risorse sia energetiche sia idriche. Progettare in una prospettiva di sostenibilità ambientale significa farsi carico anche della previsione del comportamento dell'edificio durante il suo uso cercando di garantire il benessere degli abitanti, ottimizzando l'uso di risorse.

Nello stesso tempo le prestazioni previste in fase di progetto non sempre coincidono con il reale funzionamento in uso. In particolare, con il passare del tempo i materiali e gli elementi tecnici possono subire un degrado fisico e un conseguente decadimento prestazionale (perdita di efficienza). Inoltre possono essere oggetto di fenomeni di obsolescenza funzionale (legata ai cambiamenti d'uso o degli stili di vita sociali o degli standard normativi) o tecnologica (legata all'introduzione di prodotti più innovativi che garantiscono maggiori prestazioni). Sia nel primo caso (il prodotto non funziona più), sia nel secondo caso (il prodotto non è più adatto), si rende necessario intervenire sull'edificio con attività di manutenzione (riparazione, sostituzione, adeguamento).

Gli interventi di manutenzione comportano la riattivazione di tutta la filiera di estrazione-produzione-costruzione e di conseguenza hanno una significativa incidenza sugli impatti ambientali complessivi. Nello stesso tempo, le attività di manutenzione e adeguamento sono essenziali per prolungare la vita utile dell'edificio e cercare di

Fig. 1.16 Fasi del ciclo di vita dell'edificio e dei suoi componenti secondo la norma ISO 21931-1:2010 *Sustainability in building construction. Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works.*



1.16

14

L'edificio come sistema

evitare la dismissione dell'edificio, che comporta notevoli costi ambientali per lo smaltimento e riprocessamento dei materiali e per l'attivazione di un nuovo ciclo di produzione di un nuovo edificio.

Ancora una volta è il progetto a essere il luogo deputato ad assumere scelte consapevoli, orientate a selezionare materiali a elevata durabilità, capaci di garantire prestazioni il più possibile stabili nel tempo, resistenti al degrado fisico, e alla scelta di soluzioni tecniche in grado di garantire l'accessibilità e sostituibilità delle parti d'opera, al fine di favorire gli interventi di manutenzione senza demolizioni invasive (es. reversibilità costruttiva garantita dalle tecnologie di assemblaggio a secco).

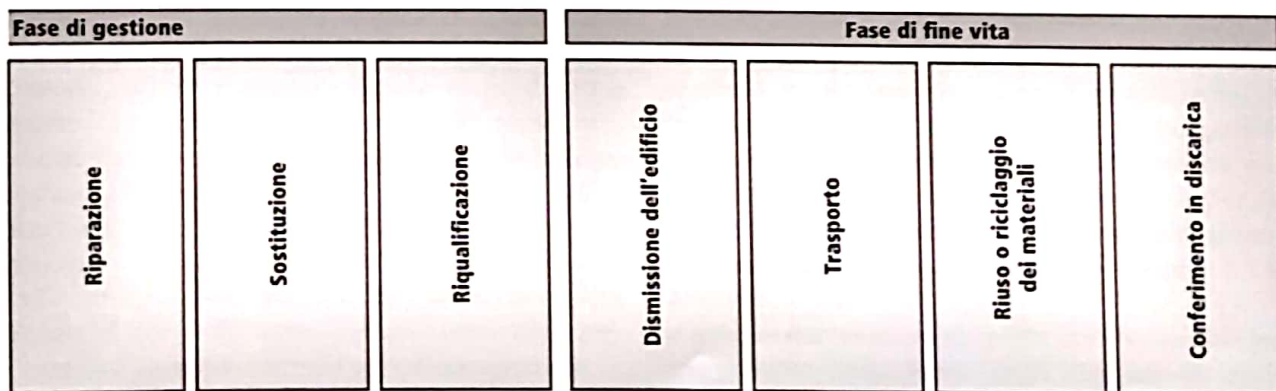
Un ulteriore aspetto non trascurabile riguardante la fase di gestione dell'edificio e il benessere degli abitanti riguarda le condizioni di igienicità degli ambienti interni, condizionate dal tipo di materiali scelti per i rivestimenti interni (che possono rilasciare sostanze nocive), dal sistema impiantistico (tramite i sistemi ad aria possono essere trasportati batteri), dalle condizioni di umidità negli ambienti interni (che possono sviluppare muffe). In una prospettiva di sostenibilità ambientale il progettista dovrebbe farsi carico dell'adozione di soluzioni appropriate e durante la gestione dovrebbero essere operate attività manutentive in grado di evitare la formazione di sostanze inquinanti indoor.

Quando l'edificio termina il suo ciclo di vita utile, o per degrado fisico o per obsolescenza funzionale che coinvolgono l'intero edificio, si intraprende l'attività di dismissione, che può consistere nella demolizione oppure nel disassemblaggio a seconda delle tecniche costruttive utilizzate per la rea-

lizzazione dell'edificio. Nel caso di demolizione collettiva, l'edificio viene distrutto e le macerie divengono rifiuti che devono essere conferiti in apposite discariche. Le macerie sono costituite prevalentemente da materiali inerti, potenzialmente innocui per l'ambiente. In realtà nelle macerie confluiscono anche materiali plastici e altre sostanze potenzialmente inquinanti che richiedono un trattamento specifico. Inoltre le discariche comportano impatti ambientali legati all'occupazione di suolo. Per questo le politiche europee stanno spingendo verso il riutilizzo e il riciclaggio dei materiali da demolizione. Questo però è possibile se viene operata una demolizione selettiva, cercando di smontare le parti assemblate a secco (finestre, tegole, strati isolanti) prima di procedere alla demolizione collettiva (delle parti costruite a umido).

La situazione ottimale però è quella di un cantiere in cui le parti siano totalmente disassemblabili, permettendo la separazione tra i diversi componenti e tra i diversi materiali. Questo tipo di procedura è possibile solo se l'edificio è stato costruito con tecnologie costruttive a secco e se il progettista ha pensato anche alle modalità di dismissione dell'edificio.

Nel caso di disassemblaggio a secco, se alcune parti d'opera sono ancora integre e in buone condizioni prestazionali, vi è la possibilità di un loro riuso in una nuova costruzione. Altrimenti, lo scenario di fine vita dei prodotti edilizi alternativo alla discarica è quello del riciclaggio: i materiali (soprattutto metalli, vetro, plastiche) possono essere riprocessati, diventando materie prime seconde ed evitando così il prelievo di nuove materie prime e i relativi impatti sull'ambiente.



ARCHITETTURA TECNICA

per gli allievi ingegneri iunior

a cura di GIOVANNI TORTORICI

presentazione di Giuseppe Turchini



UN APPROCCIO METODOLOGICO PER OSSERVARE E COMPRENDERE
IL RUOLO DELLA TECNOLOGIA NEL PROCESSO EDILIZIO

ALINEA
EDITRICE

1. QUALITA' E CONTROLLO DEL PROCESSO EDILIZIO

Paolo Pastore

1.1 La complessità del processo edilizio

L'evoluzione tecnologica ha indotto nell'edilizia, anche se con notevoli ritardi rispetto ad altri settori, una serie di problematiche nuove e più complesse che hanno trasformato i tradizionali modi di costruire e che impongono ruoli professionali sempre più articolati e specializzati.

L'utilizzo di nuovi materiali, nuove tecnologie e nuovi processi produttivi determinano oggi una maggiore necessità di razionalizzare e coordinare la sequenza di operazioni che, partendo dalla definizione degli obiettivi generali a cui finalizzare la progettazione, porta alla realizzazione e gestione dell'oggetto edilizio.

L'analisi delle risorse disponibili, la scelta di soluzioni tipologiche coerenti con le richieste essenziali, l'individuazione delle specifiche caratteristiche ambientali e tecnologiche degli spazi progettati, l'utilizzo di tecniche produttive evolute, l'organizzazione del cantiere, il controllo della qualità del prodotto finito, la manutenzione nel tempo, sono differenti momenti operativi, dotati di una loro specificità, che devono essere coordinati in un unico processo che comprende più fasi e più operatori.

In epoca pre-industriale l'integrazione esistente ai vari livelli in cui si articolava il processo artigianale non richiedeva una particolare organizzazione e normazione per la stretta connessione esistente tra il momento progettuale e le modalità di realizzazione ed esecuzione dell'opera. Il progettista operava in funzione di regole tipologiche e costruttive più o meno codificate rispetto alle quali in genere non introduceva innovazioni sostanziali; il costruttore realizzava utilizzando un'approfondita esperienza manuale sulla stessa base comune di regole e tipi; le esigenze dell'utenza infine erano limitate e facilmente classificabili e tipizzabili.

I bisogni della collettività ai quali è necessario dare una risposta in termini edilizi sono oggi notevolmente più complessi. La sola intuizione non consente, come avveniva in passato, di

acquisire la conoscenza di tutti gli aspetti della problematica e di elaborare sinteticamente una soluzione adeguata. Né è possibile operare correzioni in corso d'opera per ovviare a errori di impostazione o di realizzazione; tutte le fasi progettuali e costruttive devono essere organizzate e controllate preventivamente e tutti i protagonisti del processo devono essere coordinati fra loro.

L'articolazione in più fasi specializzate e la necessità di aumentare e qualificare i vari ruoli professionali del processo produttivo (progettisti dell'architettonico, progettisti delle strutture, progettisti degli impianti, consulenti, geologi, analisti dei costi, direttore dei lavori, direttore del cantiere, responsabile della integrazione di prestazioni specialistiche, responsabile e coordinatore della sicurezza, collaudatori, manutentori, ecc.) richiede oggi una efficienza organizzativa e una conoscenza dei compiti specifici di ciascun ruolo operativo, nonché del quadro programmatico e normativo rispetto al quale collocare ciascun momento operativo. Si impone, da una parte, il riferimento ad un comune codice tecnico-normativo e, dall'altra, di verificare, in funzione degli obiettivi, la qualità nella fase progettuale, nella fase produttiva, nella fase di cantierizzazione, collaudo e gestione dell'edificio.

1.2 Le fasi del processo edilizio

Per ciascuna fase del processo edilizio si possono individuare uno o più operatori con compiti specializzati, legati fra loro da comuni obiettivi, da sistemi normativi di riferimento e unificazione, da trasmissione di informazioni e codici operativi, da metodi comuni di verifica e controllo della qualità, applicati sia a ciascuna fase sia all'intera filiera produttiva.

Le fasi del processo edilizio possono essere così individuate:

1° fase: la programmazione degli interventi:

si attua attraverso la pianificazione dell'organizzazione urbanistica del sistema insediativo, attraverso la programmazione delle risorse economiche e la definizione degli obiettivi sociali (esempio: *la pianificazione e la programmazione nazionale nel settore dell'edilizia residenziale pubblica*).

2° fase: individuazione della committenza:

la committenza può essere pubblica (Ente Pubblico) o privata (imprese, società finanziarie, singolo utente, associazioni di utenti, ecc.); essa rende disponibili le risorse economiche, definisce gli obiettivi generali, indica l'organizzazione e cronoprogramma dell'intervento, incarica i vari professionisti ed esecutori. Spesso il ruolo della esecuzione e committente può coincidere nel caso di imprese di costruzioni che eseguono lavori privati.

3° fase: analisi della domanda dell'utenza:

si individuano i bisogni da soddisfare attraverso la realizzazione di spazi organizzati per accogliere le attività richieste (esempio: attraverso la definizione del numero di utenti e delle loro specifiche necessità abitative) e si prefigura un modello funzionale di organizzazione delle attività.

4° fase: progettazione preliminare, definitiva, esecutiva:

i professionisti incaricati possono essere diversi per tre livelli di approfondimento progettuale. Le regole di trasmissione e la qualità delle informazioni che vengono travasate dal preliminare, al definitivo ed all'esecutivo sono definite da codici di pratica ma, soprattutto, da normative nazionali di riferimento e da eventuali prescrizioni specifiche.

Oltre che per ciascuna fase, i professionisti possono differenziarsi in più ruoli specialistici in relazione alla importanza e complessità dell'opera; potremo così avere vari responsabili tecnici che devono fra loro coordinarsi quali:

- progettista della soluzione urbanistica;
- progettista architettonico;
- progettista delle strutture;
- progettista degli impianti elettrici;
- progettista degli impianti a fluido;
- responsabile dell'integrazione delle prestazioni specialistiche;
- coordinatore della sicurezza in fase di progetto.

Essi si avvalgono anche di eventuali consulenze di settore (geologi, sociologi, economisti, rilevatori, ecc.).

I progettisti operano comunque nel rispetto delle indicazioni ricevute dal committente, delle richieste dell'utenza, del quadro normativo, verificando la compatibilità urbanistica e ambientale di quanto progettato.

5° fase: approvazione e validazione del progetto:

il progetto di opere pubbliche viene approvato dall'Amministrazione committente e viene validato dal tecnico dell'Amministrazione (responsabile del procedimento) che ne verifica la congruità, l'esattezza, la rispondenza alle norme vigenti, alle condizioni e obiettivi dell'Ente. Nel caso di lavori privati viene approvato dal committente ed accettato, previa verifica tecnica ed amministrativa, dall'impresa costruttrice.

Tutte le opere prima di essere appaltate devono ricevere le autorizzazioni previste per legge (permesso di costruire, parere dei VV.FF. etc.).

6° fase: appalto e cantierizzazione del progetto:

la realizzazione prevede l'individuazione della impresa esecutrice mediante eventuale gara pubblica o (per lavori privati) mediante affidamento fiduciario. La fase esecutiva prevede la consegna dell'area, l'impianto del cantiere e tutte le fasi esecutive per realizzare l'intervento in conformità del progetto e secondo le indicazioni del direttore/i dei lavori.

Per i lavori pubblici si fa riferimento a quanto previsto dalla normativa vigente ed in particolare dalla L. 109/94 e successive integrazioni e modificazioni.

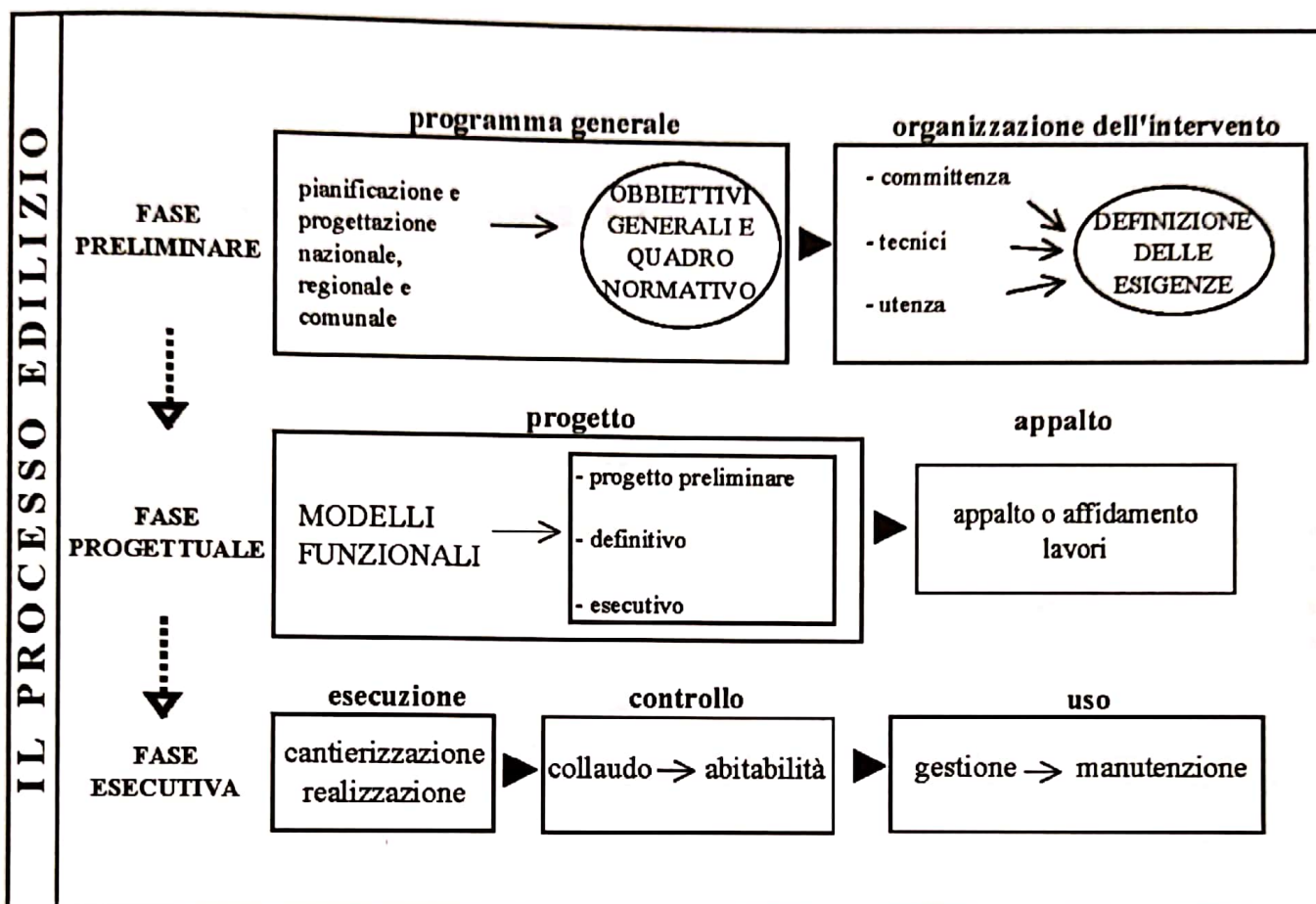
Anche in fase esecutiva i professionisti possono differenziarsi per ruoli operativi:

- direttore dei lavori;
- direttore del cantiere;
- responsabile della sicurezza in fase di esecuzione.

In questa fase intervengono, oltre che l'impresa responsabile del cantiere e del contratto d'appalto, anche altre ditte produttrici di componenti (in qualità di fornitori) o altre imprese in subappalto esecutrici di opere specialistiche (quali ad esempio impianti elettrici, a fluido, ecc.).

7° fase: collaudo dell'opera:

sia durante i lavori ma soprattutto a completa-



Tav.1.1 - Schema di articolazione del processo edilizio: dalla programmazione alla gestione

mento dell'opera si effettuano tutte le verifiche amministrative, finanziarie e tecniche per accertare la rispondenza dell'opera al progetto e, quindi, agli obiettivi e richieste dell'utenza; ma anche la rispondenza a tutte le norme vigenti nel settore urbanistico-edilizio, sanitario, di sicurezza. A conclusione delle verifiche necessarie viene rilasciato dalla Amministrazione Pubblica un certificato di abitabilità e agibilità dell'opera.

8° fase: uso e gestione:

è doveroso (obbligatorio per i lavori pubblici) fornire da parte del progettista indicazioni anche sul modo di utilizzo e riparazione delle parti impiantistiche e sulla programmazione degli interventi di manutenzione dell'edificio nel suo complesso per assicurarne una lunga durata, ma anche per garantire la riduzione degli inquinamenti, la sicurezza e la economicità degli interventi di riparazione.

1.3 Il sistema edilizio

L'organismo edilizio è costituito da un insieme di elementi tecnici differenti fra di loro per dimensioni, consistenza e caratteristiche fisico-chimiche. L'organismo edilizio è composto di più elementi o parti che devono concorrere ad un funzionamento complessivo ottimale: un **sistema** cioè di elementi fra loro non omogenei, ma relazionati ed integrati organicamente.

Il sistema si suddivide in più sottosistemi, integrati fra loro, individuati in funzione del ruolo che svolgono; chiudere internamente ed esternamente, con sviluppo verticale o orizzontale, servire e collegare con impianti o attrezzature. I sottosistemi si compongono a loro volta di elementi tecnici aggregabili fra loro.

Ciascun elemento componente ha un proprio comportamento, definibile come prestazione, relativamente alla resistenza, alle sollecitazioni meccaniche, al fuoco e alle condizioni ambien-

tali. Ha anche diverse caratteristiche rispetto alle differenti condizioni di aggregazione e integrazione, alla possibilità di manutenzione e gestione e alla capacità di offrire differenti comportamenti rispetto alle condizioni di resistenza meccanica, acustiche e igrotermiche.

Tutti i vari elementi tecnici componenti il sistema edilizio sono inoltre estremamente diversificati anche per le dimensioni e caratteristiche geometriche; esse sono fissate in sede di produzione in relazione non solo al loro utilizzo, ma in funzione di criteri, anche esterni al cantiere, di economicità, di facilità di trasporto, di consistenza, peso e caratteristiche fisico-chimiche del materiale.

Per ciascun elemento tecnico, in sede di produzione e di controllo sono individuate e verificate le **specifiche di prestazione**, che definiscono le caratteristiche tecnologiche di ciascun ele-

mento costituente l'organismo edilizio in determinate condizioni ambientali e di sollecitazione. Di esse si dovrà tener conto in fase di progettazione.

1.4 Esigenze, requisiti e prestazioni

Gli spazi da realizzare devono essere finalizzati a determinati obiettivi, indipendentemente dal materiale o dalla tecnica costruttiva impiegata. Questi obiettivi sono rappresentati dal pieno soddisfacimento delle **esigenze** individuali e collettive, funzionali, fisiche e psicologiche. Le esigenze si possono trasferire in termini di **richieste di comportamento (requisiti)** per le diverse parti edilizie che formano uno spazio; i requisiti si traducono in termini di **comportamento specifico dell'elemento o dell'insieme in determinate condizioni d'uso e di sollecitazione (prestazioni)** e definiscono in termini qualitativi gli elementi o l'insieme di elementi di cui si compone il sistema edilizio.

Al variare delle esigenze del contesto ambientale variano evidentemente i requisiti e le conseguenti caratteristiche prestazionali. Ciascun organismo si può definire qualitativamente efficiente se si rispettano *i rapporti esistenti fra esigenze, requisiti e prestazioni del sistema tecnologico*.

1.5 Requisiti ambientali

Gli spazi da realizzare devono essere finalizzati a determinati obiettivi, indipendentemente dal materiale o dalla tecnica costruttiva impiegata. Questi obiettivi sono rappresentati dal pieno soddisfacimento delle esigenze individuate in fase progettuale. Perché tali attività possano svolgersi correttamente è necessario individuare quali di esse, essendo compatibili fra loro, possono dare origine ad unità ambientali, cioè a spazi dotati di caratteristiche tali da garantire le condizioni ottimali di funzionamento e vivibilità. Ciascuno spazio viene quindi definito attraverso più requisiti ambientali che in fase di progettazione e di realizzazione devono essere rispettati perché soddisfino le esigenze dell'utenza cui è destinato lo stesso spazio.

I requisiti ambientali, sia interni degli involucri edilizi, che in rapporto al sistema ambientale esterno, sono relativi alla:

ESIGENZA	Ciò che di necessità si richiede per il corretto svolgimento di un'attività dell'utente o di una funzione tecnologica
REQUISITO	Traduzione di un'esigenza in fattori atti a individuarne le condizioni di soddisfacimento da parte di un organismo edilizio o di sue parti spaziali o tecniche, in determinate condizioni d'uso e/o di sollecitazione
PRESTAZIONE	Comportamento reale dell'organismo edilizio e/o delle sue parti nelle effettive condizioni d'uso e di sollecitazione
ORGANISMO EDILIZIO	Insieme strutturato di elementi spaziali e di elementi tecnici, interni ed esterni, pertinenti all'edificio, caratterizzati dalle loro funzioni e dalle loro relazioni reciproche.
SPECIFICA DI PRESTAZIONE	Valore di variabili o di attributi, univocamente individuati, che definisce e delimita la risposta progettuale a una o più specificazioni
QUALITA'	Insieme delle proprietà e delle caratteristiche dell'organismo edilizio o di sue parti che conferiscono ad essi la capacità di soddisfare, attraverso prestazioni, esigenze espresse o implicite

Tav.1.2 - Definizioni relative alla progettazione e realizzazione dell'organismo edilizio (UNI 10838:1999)

<ul style="list-style-type: none"> • <i>fruibilità</i>: intesa come possibilità di utilizzo delle varie parti in relazione alle differenti esigenze insediative in termini di funzionalità, utilizzo e accessibilità dello spazio da destinare alle varie attività 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>sicurezza</i>: intesa come sicurezza d'uso e stabilità degli elementi di fabbrica nel tempo, anche in presenza di eventi calamitosi e di resistenza al fuoco, oltre che come sicurezza passiva nei confronti di tentativi di effrazione o di intrusione dall'esterno
<ul style="list-style-type: none"> • <i>aggregabilità ed integrazione</i>: in relazione, cioè alla necessità di relazionare le unità ambientali che compongono l'organismo edilizio aventi differenti caratteristiche, connesse da legami funzionali e, nello stesso tempo, per poterne assicurare la crescita nel tempo mediante operazioni di addizione di ulteriori unità spaziali 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>economicità d'uso e manutenzione</i>: evitando situazioni di possibile degrado nel tempo di parti componenti gli elementi di fabbrica a causa di fenomeni atmosferici o prevedibili condizioni di utilizzo, o rendendone semplice ed economico l'uso e il ripristino; è il caso questo degli strati di protezione dalle acque meteoriche (intonaci, pitturazioni, tetti)
<ul style="list-style-type: none"> • <i>flessibilità</i>: intesa come capacità dell'organismo edilizio di potersi adattare contemporaneamente a più utilizzi o ad usi diversificati nel tempo 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>aspetto</i>: relativamente alla configurazione e finitura delle superfici e dei volumi, alle caratteristiche legate alla percezione degli organismi spaziali e al loro rapporto morfologico e paesaggistico con l'intorno ambientale
<ul style="list-style-type: none"> • <i>benessere ambientale</i>: relativamente alla qualità dell'intorno luminoso, termico, acustico, tattile, respiratorio e psicologico, ottenuto assicurando all'organismo edilizio la massima tenuta alle acque meteoriche, favorendo l'eliminazione o lo smaltimento dell'umidità di risalita, assicurando l'illuminazione, la ventilazione interna, l'isolamento termico e il riscaldamento degli ambienti 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>salvaguardia dell'ambiente</i>: controllo degli impatti ambientali sugli ecosistemi determinati dalla realizzazione di manufatti, sia nella fase di cantierizzazione che nella fase di gestione, con particolare attenzione per l'uso di risorse ambientali non rinnovabili o a disponibilità limitata o facenti parte di diversi ecosistemi; valutazione della sostenibilità dei materiali da costruzione, delle loro modalità di produzione e di impiego, possibilità di riciclaggio, verificando anche eventuale produzione di elementi inquinanti o di disturbo ambientale.

1.6 Prestazioni del sistema tecnologico

I requisiti ambientali richiesti ai singoli spazi e al loro insieme relazionato si traducono in un sistema tecnologico che costituisce l'organizzazione fisica dell'organismo edilizio e che offre determinati livelli qualitativi di prestazioni.

Singoli materiali o parti prodotte dall'industria, ciascuna dotata di propri comportamenti tecnici (individuati attraverso le specifiche di prestazione fornite dal produttore) vengono aggregati e relazionati per costituire un sistema tecnologico dotato di prestazioni complessive

rispondenti ai requisiti richiesti.

In fase di progettazione vengono organizzati e prefigurati i comportamenti tecnologici complessivi sulla base delle prestazioni offerte dai singoli elementi; in fase di realizzazione è necessario controllare la correttezza di tutte le modalità esecutive; in fase di ultimazione dei lavori è necessario controllare e collaudare la rispondenza delle prestazioni ottenute rispetto a quelle programmate; in fase di utilizzo dell'edificio è necessario controllare e programmare la permanenza di un sufficiente livello di qualità prestazionale attraverso la manutenzione.

ESIGENZE	REQUISITI DEL SISTEMA AMBIENTALE	PRESTAZIONI DEL SISTEMA TECNOLOGICO
SICUREZZA	<ul style="list-style-type: none"> ● stabilità ● sicurezza al fuoco ● sicurezza di utenza ● di tenuta ● di protezione chimica e fisica 	<ul style="list-style-type: none"> ● resistenza meccanica ● resistenza al fuoco ● assenza emissioni nocive ● impermeabilità ● resistenza agli agenti aggressivi
BENESSERE	<ul style="list-style-type: none"> ● termico ● igrometrico ● acustico ● visivo ● olfattivo ● tattile ● ergonomico 	<ul style="list-style-type: none"> ● isolamento termico ● controllo umidità e condensa ● isolamento acustico ● controllo flusso luminoso ● assenza di odori ● controllo della scabrosità ● dimensioni funzionali per l'utenza
FRUIBILITA'	<ul style="list-style-type: none"> ● funzionalità d'uso degli spazi ● attrezzature e impianti tecnici 	<ul style="list-style-type: none"> ● dimensionamento, organizzazione ottimale, attrezzamento degli spazi ● dotazione di impianti tecnici
ASPETTO	<ul style="list-style-type: none"> ● percezione degli spazi 	<ul style="list-style-type: none"> ● morfologia degli elementi del sistema edilizio
GESTIONE	<ul style="list-style-type: none"> ● economia d'uso ● manutenibilità ● funzionamento 	<ul style="list-style-type: none"> ● rendimento ● durabilità, sostituibilità, riparabilità ● efficienza
INTEGRABILITA'	<ul style="list-style-type: none"> ● integrabilità elementi tecnici 	<ul style="list-style-type: none"> ● possibilità di collegamento degli elementi e sub-sistemi
SALVAGUARDIA DELL'AMBIENTE	<ul style="list-style-type: none"> ● controllo inquinamento ● sostenibilità 	<ul style="list-style-type: none"> ● limitazione inquinamento ambientale ● limitazioni danni alle risorse ambientali

Tav. 1.3 - Sintesi dei requisiti ambientali e delle relative prestazioni tecnologiche del sistema edilizio.

Se correttamente progettato ed eseguito, il sistema tecnologico offrirà le condizioni ottimali richieste in fase di definizione dei requisiti ambientali di ciascuna unità spaziale garantendo la qualità complessiva dell'organismo edilizio.

1.7 La qualità in edilizia

La qualità complessiva degli organismi edilizi può essere valutata sia in relazione ai livelli di efficienza funzionale (qualità ambientale, qualità tecnologica, ecc.), sia nei confronti delle trasformazioni indotte negli ecosistemi ambientali di riferimento (fauna, flora, geomorfologia, idrogeologia ecc.).

Nel primo caso si valuterà la qualità ambientale interna o **qualità abitativa** in rapporto alle varie esigenze umane ed in particolare a quelle di fruibilità, benessere e sicurezza.

La qualità ambientale interna viene assicurata

attraverso l'impiego di materiali e di elementi di fabbrica che compongono l'apparecchiatura costruttiva e che concorrono con le loro prestazioni a garantire le condizioni ottimali di abitabilità e gestione dell'organismo edilizio (**qualità tecnologica**). La qualità complessiva è valutabile anche in relazione all'efficienza dell'intero processo produttivo: dalla definizione delle esigenze della committenza attraverso la prefigurazione dei modelli tipologici, alla cantierizzazione e controllo dell'attività costruttiva (**qualità del processo produttivo**).

In rapporto alle trasformazioni indotte sull'ambiente esterno sarà invece valutata la compatibilità, l'inquinamento o la distruzione di risorse non rinnovabili indotte da tutte le attività legate al processo di edificazione (in fase di produzione, cantierizzazione e gestione) che ne caratterizzano il grado di **sostenibilità**.

Una ulteriore definizione di qualità è infine legata agli aspetti percettivi dello spazio interno

e dell'organizzazione architettonica dell'insieme costruito, oltre che al rapporto fra il paesaggio, naturale o antropizzato, e il manufatto (qualità architettonica).

Qualità abitativa

Le prestazioni degli spazi destinati ad ospitare le attività dell'utenza, espressa in termini di benessere, fruibilità, aspetto, sicurezza, integrabilità e salvaguardia dell'ambiente, costituiscono la risposta ai requisiti che l'organismo deve possedere per soddisfare le esigenze abitative, in relazione anche ai fattori ambientali, culturali e socio-economici.

Qualità tecnologica

Il sistema edilizio è caratterizzato dalla estrema varietà dei materiali ed elementi tecnici, con prestazioni molto diversificate fra loro, che vanno organizzati in funzione degli obiettivi da raggiungere, utilizzando in modo razionale ed efficiente le risorse disponibili.

Gli obiettivi della qualità tecnologica sono la realizzazione di organismi edilizi resistenti, dotati di un sufficiente comfort abitativo, ottenuti nella massima economia delle risorse ambientali, utilizzando in maniera organizzata ed efficiente i materiali, le tecnologie, i proces-

si produttivi e le risorse disponibili.

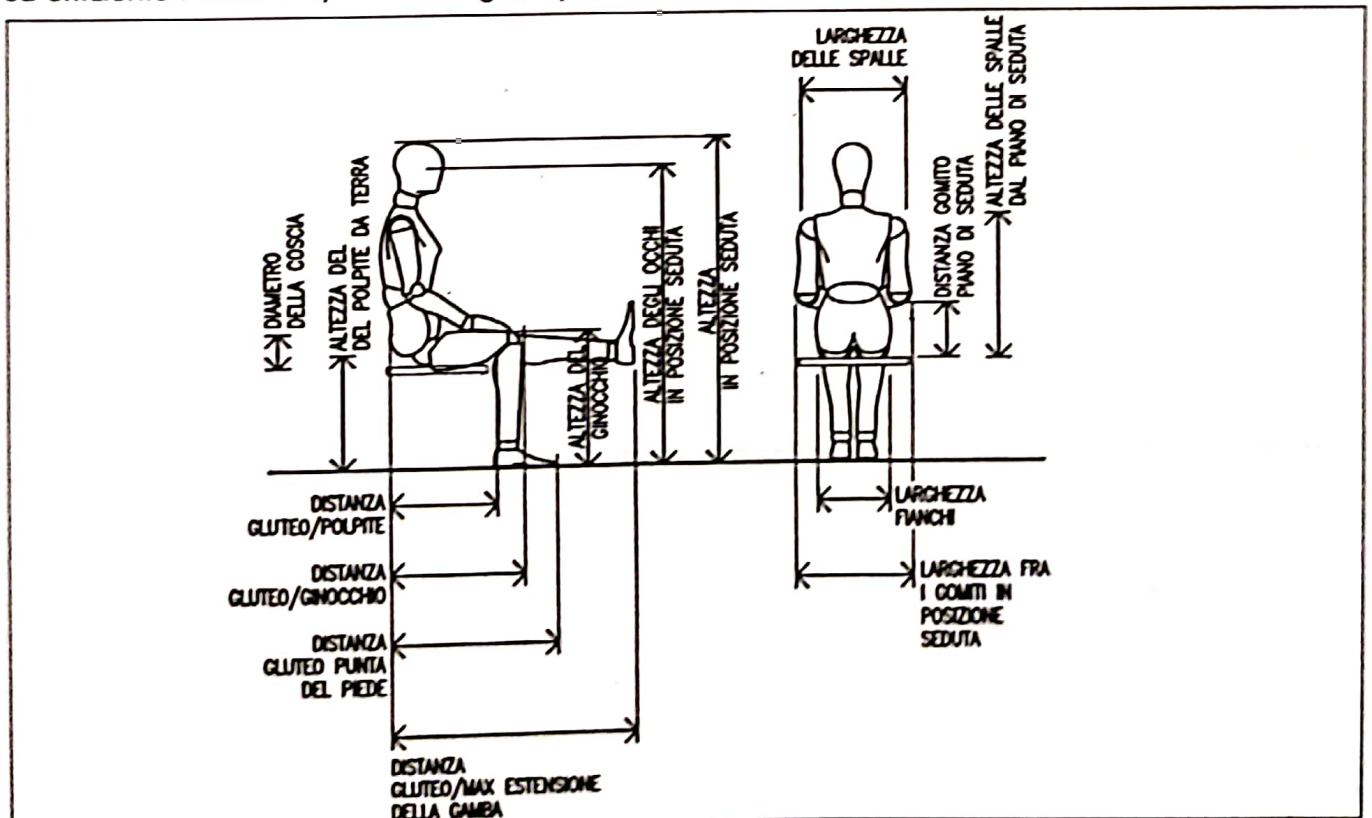
Qualità del processo edilizio

La qualità complessiva dell'organismo edilizio non è solo valutabile in termini di qualità tecnologica ed ambientale, ma anche in relazione all'efficienza dei processi produttivi che determinano l'organismo edilizio.

Di tali processi fanno parte: la valutazione dei bisogni dell'utenza, la scelta dei materiali e delle tecniche più appropriate in relazione alle risorse ambientali e alle finalità dell'attività costruttive, l'organizzazione tipologica e il dimensionamento degli spazi, l'organizzazione ed il controllo delle attività esecutive, la definizione dei programmi manutentivi e gestionali. Nella fase di esecuzione dell'opera i vari protagonisti del processo (committente, progettisti, direttore dei lavori, esecutori e maestranze) operano sulla base di un linguaggio comune consolidatosi in normative, convenzioni e prescrizioni; ciò garantisce la corretta comprensione nella trasmissione delle informazioni relative all'organizzazione del processo produttivo ad un livello standard di qualità del sistema tecnologico.

Ecocompatibilità e sostenibilità ambientale

La possibilità di realizzare e conservare nel



Tav. 1.4 - Analisi antropometriche per il dimensionamento e attrezzamento degli spazi abitativi al fine di garantire il requisito della fruibilità.

tempo manufatti edilizi senza produrre danni irreversibili agli ecosistemi (aria, fauna, vegetazione, geomorfologia, idrogeologia, ecc) misura il grado di compatibilità dell'organismo edilizio con il sistema ambientale circostante.

La **sostenibilità** ambientale è pertanto in funzione della capacità di utilizzo di materiali, di processi produttivi e manutentivi tali da non comportare situazioni di inquinamento, o di evitare la distruzione di risorse non rinnovabili o disponibili in quantità limitata.

1.8 Il controllo della qualità

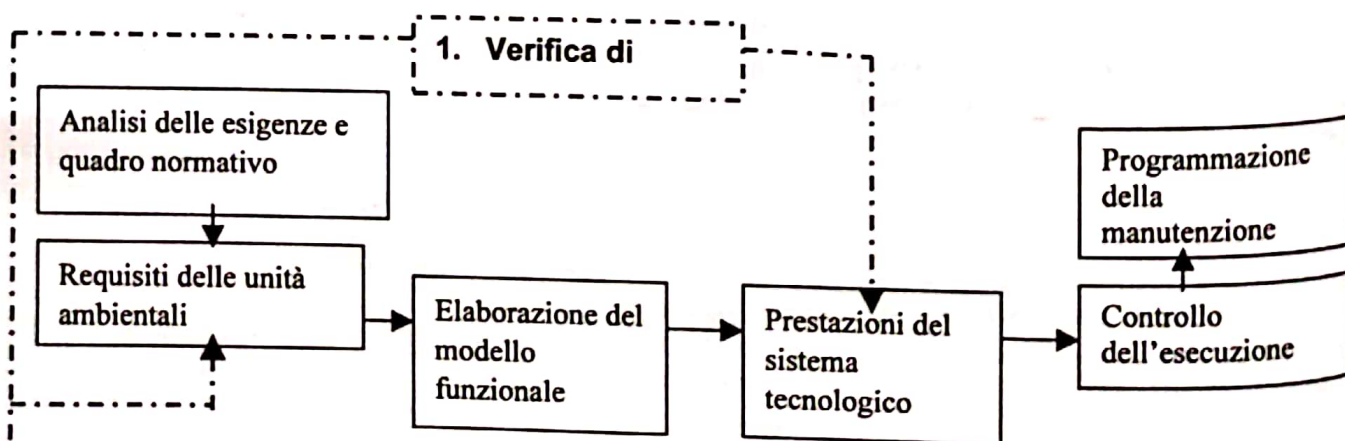
Le operazioni di controllo hanno il compito di verificare se nei vari momenti di cui si compone il processo produttivo (programmazione, definizione tecniche, scelte produttive, soluzioni tipologiche, ecc.) siano stati raggiunti gli obiettivi prefissati. La rispondenza agli obiettivi definisce quindi la qualità del prodotto edilizio e la correttezza delle varie fasi progettuali ed esecutive.

La definizione della qualità nel processo edilizio comporta l'intervento di discipline scientifiche (chimiche, fisiche, meccaniche) e sociali che rendono i procedimenti di controllo operazioni

spesso complesse e sofisticate. Il controllo pertanto non ha valore assoluto ma è in funzione del prodotto, del suo processo produttivo, del livello di qualità che si vuole accertare e delle condizioni generali in cui l'operazione si svolge. Nel processo produttivo gli elementi vengono progettati e utilizzati da operatori diversi; pertanto i controlli che accertino la rispondenza qualitativa del prodotto edilizio vanno ripetuti nelle varie fasi.

In fase progettuale va controllata l'esattezza dei requisiti e delle specifiche di prestazione per essere certi che quanto ipotizzato risponda effettivamente alle esigenze dell'utenza, e che la metodologia e i parametri assunti siano corretti. Durante la produzione in stabilimento vanno invece accertate le prestazioni offerte dal singolo elemento in relazione ai requisiti formulati e la costanza della qualità in ciascun elemento ripetuto industrialmente. Nel cantiere, in fase costruttiva, vanno controllate le tecniche e le caratteristiche delle opere montate o costruite in opera e il rispetto delle indicazioni progettuali.

Infine, vanno collaudate sia le singole prestazioni sia i comportamenti all'uso dell'intero sistema edilizio realizzato e la loro rispondenza ai requisiti, alle prescrizioni e alle normative di riferimento.



Tav. 1.5 - Schema di articolazione del processo progettuale e verifica di qualità (rispondenza delle prestazioni ai requisiti)