

PROGETTO E COMPLESSITÀ

Un approccio multiscalare per aggiornare gli strumenti di controllo del progetto

DESIGN AND COMPLEXITY

A multiscale approach for updating the project's control tools

Fabio Conato, Valentina Frighi

ABSTRACT

Nell'attuale quadro congiunturale è necessario proporre un approccio integrato, multiscalare e multidisciplinare alla gestione del progetto di architettura, individuando strumenti di supporto decisionale per operare valutazioni multicriteria tra prestazioni tecniche e criteri ambientali differenti. Il presente contributo presenta gli esiti di attività di ricerca avviate con un PRRIITT all'interno del Dipartimento di Architettura dell'Università di Ferrara, con la collaborazione del Laboratorio Larco – Rete Alta Tecnologia Regione Emilia Romagna e di diverse imprese, per la messa a punto di un metodo di valutazione previsionale in fase progettuale delle diverse componenti di qualità ambientale generate dal sistema tecnologico, superando la semplificazione ad oggi insita negli attuali modelli di valutazione e certificazione.

In the current situation, it is necessary to propose an integrated, multiscale and multidisciplinary approach to manage the complexity of the architectural project, identifying decision support tools to perform multicriteria assessments between technical performance and different environmental criteria. This contribution presents the results of research activities undertaken in the framework of a PRRIITT within the Department of Architecture of the University of Ferrara, with the collaboration of the Larco Laboratory – High Technology Network of the Emilia Romagna Region and various companies, for the development of a method able to evaluate in a provisional way and during the design phase the different environmental quality components generated by the technological system, overcoming today simplification intrinsic in current assessment and certification models.

KEYWORDS

approccio multiscalare, progettazione ambientale, progettazione tecnologica, materiali e prodotti innovativi, controllo prestazionale

multiscale approach, environmental design, technological design, innovative materials and products, performance control

Fabio Conato, Architect, is an Associate Professor in Technology for Architecture at the Department of Architecture of the University of Ferrara (Italy). His research activities are mainly focused on building envelope's domain, with particular attention towards the application of innovative building materials, components and systems. In the professional field, he works at both urban and architectonic scale. Mob. +39 335/38.85.61 | E-mail: fabio.conato@unife.it

Valentina Frighi, Architect, is a PhD Candidate at the Department of Architecture of the University of Ferrara (Italy). She carries out didactic and research activities on the domain of technologies for architecture, with a focus on building envelope's innovative materials and components. In the professional field, she acts as a consultant, providing technical and design support in studios and architecture's societies. Mob. +39 349/744.86.92 | E-mail: valentina.frighi@unife.it

«La crescente importanza che il contenimento dei consumi energetici ha acquisito nel settore edilizio [...] sta portando buona parte degli operatori del settore delle costruzioni a riconsiderare il proprio ruolo e contributo all'interno del processo edilizio in funzione di nuovi obiettivi e di nuove strategie legati al raggiungimento di standard qualitativamente più elevati [...]» (Gaspari, Trabucco and Zannoni, 2010, p. 15). È proprio l'innalzamento degli standard progettuali, imposto dalla continua evoluzione del quadro legislativo italiano e affiancato dall'ampliamento dei confini disciplinari e delle responsabilità in capo al progettista, che ha determinato l'insorgere di nuove esigenze; prime fra tutte il controllo della qualità in opera di materiali e componenti edilizi e dei parametri di sostenibilità ambientale a tutte le scale del processo edilizio, solo recentemente incorporate all'interno di direttive¹ cogenti per il settore delle costruzioni.

Nonostante ciò, la gestione di tali aspetti risulta quanto mai complessa, per via tanto della moltitudine degli aspetti in gioco quanto delle molteplici scale che il processo costruttivo coinvolge, specialmente quando si tratta di raggiungere gli obiettivi di qualità e sostenibilità richiesti dall'attuale congiuntura (Marino and Thiébat, 2019). La costante crescita di tali complessità (Tucci, 2014) implica un ripensamento del processo progettuale, che oggi deve essere più che mai integrato e capace di analizzare le diverse fasi che lo compongono nel rispetto della coerenza reciproca, contemplando l'intero processo e incentivando l'adozione – da parte di tutti gli operatori coinvolti – di soluzioni tecniche e progettuali più efficaci, che garantiscano il raggiungimento di standard qualitativi attraverso l'architettura stessa, intesa come 'luogo' di equilibrio dei diversi fattori (Fig. 1).

Stante la grande quantità di variabili da gestire, nonché l'interazione di un numero sempre crescente di specialismi e competenze, tra cui quelle ambientali (Dalla Valle, Lavagna and Campioli, 2016), una tra le priorità è quella di individuare strumenti di supporto decisionale per operare, in particolare, valutazioni multicriteria sia tra prestazioni tecniche differenti sia tra criteri ambientali differenti (Lavagna et alii, 2019). Pertanto, il presente contributo presenta gli esiti di un'attività di ricerca avviata con un Programma Regionale per la Ricerca Industriale, l'Innovazione e il Trasferimento Tecnologico (PRRIITT) all'interno del Dipartimento di Architettura dell'Università di Ferrara, con la collaborazione del Laboratorio Larco – Rete Alta Tecnologia Regione Emilia Romagna e di diverse imprese, per la messa a punto di un metodo di valutazione previsionale in fase progettuale delle diverse componenti di qualità ambientale generate dal sistema tecnologico, superando la semplificazione ad oggi insita negli attuali modelli di valutazione e certificazione.

La dimensione ambientale del progetto | La progettazione di un organismo edilizio, per la complessità dei temi affrontati e la molteplicità delle scale che coinvolge, richiede un approccio integrato che ne analizzi le diverse fasi in chiave interdisciplinare, in modo da assicurare

la rispondenza del progetto a determinati requisiti in una logica di sistema. Tale approccio non può prescindere dalla necessità di mettere in relazione le esigenze di sviluppo proprie della società contemporanea con il rispetto dell'ambiente circostante, rifacendosi agli ormai più che noti principi di sviluppo sostenibile² sviluppatosi a partire dagli anni '80 del secolo precedente (Fig. 2). Infatti, il concetto di sostenibilità ambientale è divenuto, a partire da quel momento, il denominatore comune di molte esigenze contemporanee, configurandosi come fattore «[...] di equilibrio fra le esigenze dello sviluppo antropico e dell'abitare, con le condizioni ambientali [...] finalizzate al benessere e alla salute delle persone» (Losasso, 2016, p. 230). In tale contesto, i bilanci ambientali, valutati in termini di impronta ecologica³ (Wackernagel and Rees, 1996), divengono di fondamentale importanza per la pianificazione, gestione e monitoraggio della 'qualità' e, soprattutto, della 'sostenibilità' dei risultati delle azioni progettuali; un'analisi dettagliata delle attività alla base del metabolismo degli ambienti urbani è dunque condizione necessaria per assicurare uno sviluppo di tipo sostenibile (Cagnoli, 2017).

La Progettazione Ambientale sembra dunque aver raccolto l'eredità della cultura normativo-prestazionale su cui è stata fondata l'area della Progettazione Tecnologica, ridelineandola «[...] nelle dimensioni multiscalari della governance di processi decisionali complessi, anche alla luce [...] degli avanzati obiettivi ambientali ad essi correlati» (Schiaffonati, Mussinelli and Gambaro, 2011, p. 52). La 'questione ambientale' nel progetto, nelle sue numerose articolazioni e implicazioni, diviene non più emendabile alla luce delle attuali crisi – climatica, energetica ed economica – nonché delle recenti disposizioni normative (Losasso, 2017; Fig. 3) portando con sé l'insorgere di nuove esigenze, «[...] prima fra tutte quella di valutare il grado di 'sostenibilità' di un edificio al fine di accrescerne il valore ambientale [...] mediante il riconoscimento univoco della sua qualità progettuale intrinseca» (Conato and Frighi, 2016, p. 26).

I protocolli di sostenibilità energetico-ambientale degli edifici costituiscono uno strumento potenzialmente molto efficace, sia per operare valutazioni multicriteri del progetto di architettura sia per orientare gli interventi di nuova costruzione e riqualificazione verso soluzioni efficienti ed efficaci. Tuttavia, l'elevato numero dei sistemi di certificazione diffusi a livello nazionale e comunitario, così come l'assenza di un quadro unitario e cogente, ne hanno, di fatto, limitato l'applicazione. In aggiunta a ciò, la complessa valutazione richiesta da alcuni parametri considerati all'interno di tali protocolli, sommata alla difficoltà di reperire tutti i dati necessari all'applicazione completa di alcuni di essi, rischia di semplificare eccessivamente la verifica di un sistema complesso come un edificio, celando potenziali distorsioni e restituendo, talvolta, risultati non veritieri (Ganassali, Lavagna and Campioli, 2016).

Gli strumenti a disposizione infatti, generalmente basati sulla compenetrazione tra competenze e specificità differenti proprie dell'approccio ambientale alla progettazione, sono so-

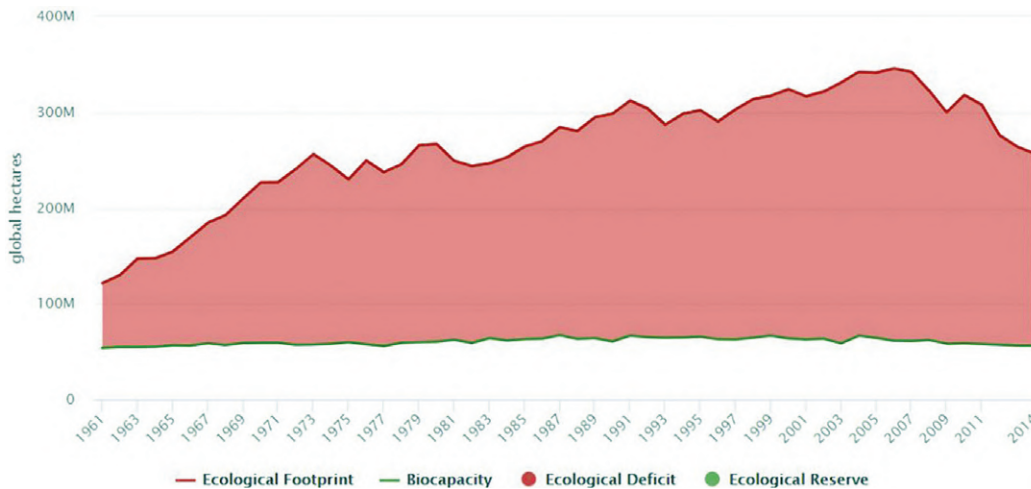
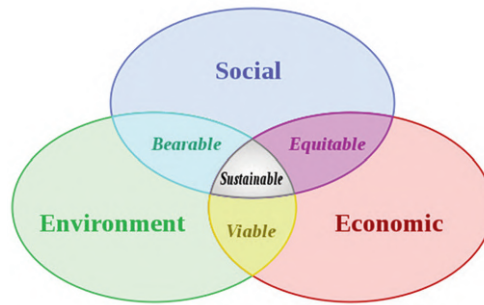
vente «[...] diversi e focalizzati su indicatori e aspetti diversi» (Lavagna et alii, 2019, p. 140) tanto alla scala dell'edificio quanto a quella del prodotto edilizio, rischiando di disorientare il progettista anziché guidarlo all'interno di tale complessità (Fig. 4). Ogni strumento di certificazione è costituito da molteplici categorie, caratterizzate da indicatori non comparabili tra loro; l'assegnazione di punteggi premiali sommati l'un l'altro, in base alla soglia di prestazione raggiunta, avviene molto spesso senza operare tali considerazioni in una logica d'insieme. Pare dunque lecito dubitare dell'attendibilità assoluta delle indicazioni fornite da tali strumenti in quanto il rating di sostenibilità in cui collocano l'edificio è elaborato arbitrariamente e autonomamente da ogni protocollo (Ganassali, Lavagna and Campioli, 2016).

Un approccio multiscale per la verifica prestazionale del progetto di architettura

Dall'esigenza di superare i limiti insiti negli strumenti esistenti è nata l'attività di ricerca alla base del presente studio. Scopo della stessa è la messa a punto di un modello di valutazione multicriteri e multiscale per la verifica prestazionale in fase previsionale del progetto di architettura, capace di consentire il controllo della coerenza alle diverse scale e sin dalle primissime fasi che caratterizzano il processo progettuale, in modo da fornire un supporto tecnico-decisionale per promuovere la sostenibilità energetico-ambientale negli edifici. Il metodo messo a punto analizza le varie fasi del processo progettuale in chiave interdisciplinare, delineando criteri di corretta progettazione tecnologica e ambientale e integrandoli con i corrispondenti principi fisici, al fine di ottenere strategie progettuali e soluzioni tecniche efficienti.

Rispetto alle tradizionali certificazioni energetiche e ambientali, il sistema proposto fornisce indicazioni di tipo prestazionale in chiave qualitativa, coprendo i diversi aspetti del processo progettuale dalla progettazione fino alla realizzazione e gestione. L'attività di ricerca che ha permesso la definizione del sopra richiamato approccio si è sostanziata nelle seguenti fasi operative:

- i) riconoscimento dei limiti insiti negli attuali protocolli di valutazione (incomparabilità degli indicatori, complessità, attendibilità, ecc.);
- ii) definizione delle ipotesi di lavoro;
- iii) scomposizione del processo progettuale nelle sue fasi e definizione delle relative categorie di scelte progettuali corrispondenti (a titolo di esempio: 1. Scala generale-urbana: 1.1. Valutazione dei fattori di influenza nella progettazione dell'aggregato edilizio: a. Orientamento, b. Venti dominanti invernali, c. Brezze estive, d. Condizioni microclimatiche generali, e. Caratteristiche acustiche del contesto; 1.2. Valutazione dei fattori d'influenza nella progettazione del singolo organismo edilizio: a. Tipologia edilizia, b. Sviluppo dell'edificio in funzione di venti dominanti e brezze estive, c. Rapporto di forma, d. Spazi tampone);
- iv) individuazione, per ogni categoria, delle azioni progettuali da intraprendere e delle relative soluzioni tecniche ad esse corrispondenti;
- v) impostazione di una campagna di monitoraggio su due edifici di nuova costruzione (ca-



Protocols	Categories under evaluation					
	Application site	Water	Energy	Materials	Indoor comfort	Management
	Transports, Use of soil	Water	Energy, Pollution	Building materials, Waste	Wellness	Innovation and management
		Water impact	Building envelope and building energy efficiency	Environmental impact of building materials	IAQ, Natural daylighting, Acoustic comfort	
	Site's sustainability	Water management	Energy and Atmosphere	Building materials and resources	Internal environmental quality	Innovation in design
	Site's quality	Resources' consumption	Resources' consumption, Environmental loads	Environmental loads	Indoor environmental quality	
	Site, Construction field	Water	Energy	Building components, Construction field, Waste	Comfort, Wellbeing	Maintenance
	Site's quality	Ecological quality	Ecological and Technical quality	Ecological and Process' quality	Socio-cultural and functional quality	Economical quality

Fig. 1 | RPBW, 'Jean-Marie Tjibaou Cultural Center', Nouméa, New Caledonia, 1998 (credit: JOOZLy, upload.wiki-media.org).

Fig. 2 | Definition of the concept of 'sustainable development' through the intersection between the domains of the principles of environmental quality, economic development and social equity (credit: Johann Dréo, translation by Pro bug catcher).

Fig. 3 | Ecological Footprint and Bio-capacity in Italy from 1961 to nowadays (source: Global Footprint Network, 2018 National Footprint Account).

Fig. 4 | A comparison between existing protocols for buildings' energy environmental assessment (source: www.habitami.it).

si-studio) finalizzata al rilevamento del livello di risposta in opera di ciascuna soluzione tecnica ipotizzata;

vi) assegnazione di punteggi sintetici a ciascuna soluzione tecnica e per ogni categoria di azioni progettuali, indice della compatibilità ambientale delle stesse, in relazione alle specifiche condizioni al contorno dei casi studio in esame;

vii) estensione dei principi sopra esposti in funzione della variabilità delle condizioni al contorno.

La formalizzazione di attuali strumenti di controllo per la gestione della complessità del progetto

La predisposizione di un'intensa attività di monitoraggio sui casi studio ha permesso di ricavare i dati sperimentali su cui si basa il metodo di valutazione oggetto della ricerca. I due edifici pilota, a destinazione prevalentemente residenziale, sono oggi entrambi realizzati nella provincia bolognese: si tratta di un edificio a torre (Fig. 5) e di un edificio in linea. Nel primo edificio, la chiusura è costituita da un involucro a tutta superficie con seconda pelle attiva in vetro su pelle di base in calcestruzzo cellulare; in corrispondenza delle aperture dirette verso l'esterno, l'involucro è dotato di una seconda pelle interattiva a singoli elementi discreti che permette di operare un controllo sul soleggiamento e sul flusso luminoso in ingresso nelle diverse stagioni. Nel secondo caso studio invece, l'involucro è costituito da una facciata ventilata a tutta superficie su pelle di base extra-isolata in laterizio porizzato, con presenza di singoli elementi discreti di protezione solare (balconi e aggetti orizzontali) progettati in funzione dell'orientamento del fabbricato e della destinazione d'uso dei vani ad essi retrostanti (Conato and Cinti, 2014).

Il monitoraggio del livello di risposta in opera delle diverse soluzioni tecniche impiegate in tali edifici pilota ha permesso di determinare gli effetti prestazionali corrispondenti, mettendo in relazione i dati sperimentali raccolti con i risultati attesi da tali azioni progettuali. L'elaborazione dei dati così ottenuti ha poi consentito di stilare delle 'griglie di valutazione' che mettono in relazione le singole azioni progettuali con un punteggio sintetico, indice della 'compatibilità' di ciascuna di esse al variare delle condizioni a contorno, ottenendo così una stima in termini quantitativi e qualitativi del risultato prestazionale atteso da ciascuna scelta messa in campo. I punteggi assegnati a ciascuna 'azione' infatti, in un range da 1 a 3 (cui si sommano o sottraggono eventuali correttivi assegnati ad accorgimenti progettuali più minuti), permettono di avere, con buona approssimazione, il controllo a priori della misura in cui le singole azioni progettuali influenzano gli aspetti inerenti la progettazione ambientale del costruito.

Tale approccio, di tipo sintetico e a natura bidirezionale, concepisce le varie fasi progettuali come processi soggetti a una continua implementazione, definendo un sistema di matrici aperte capace di legare i diversi elementi in maniera trasversale, organizzando e integrando tra loro azioni differenti in modo sinergico, premiandone la coerenza reciproca e calandole nel contesto specifico. La verifica dei para-

metri ambientali e la rispondenza del progetto a determinati requisiti avviene, in esso, tramite un processo collaborativo capace di garantire che i criteri ambientali trovino una rispondenza nelle caratteristiche prestazionali del progetto esecutivo. In questo modo si è andato configurando uno strumento operativo in grado di orientare la progettazione verso il compimento di azioni efficaci e organizzate, tali da consentire un controllo integrato a tutte le scale delle varie soluzioni ipotizzate.

Il modello di supporto decisionale al progetto | L'approccio messo a punto si basa sulla gestione del progetto come insieme di matrici coordinate per la risoluzione di istanze complesse attraverso la giustapposizione di elementi eterogenei. Secondo tale logica non più lineare, ciascuna categoria di scelte progettuali si è andata configurando come una matrice aperta per la messa a punto di soluzioni tecniche 'a menù', soggetta a una continua revisione grazie alla possibilità di implementare la griglia di valutazione con verifiche in opera degli effetti prestazionali derivanti dalle scelte progettuali effettuate. In questo modo è stato possibile superare il limite insito nell'utilizzo di soluzioni conformi, lasciando la più ampia libertà agli utilizzatori finali nella declinazione di tale modello, in accordo con i parametri stabiliti dalla normativa cogente.

Nel metodo proposto, infatti, vengono assegnati, in maniera transcalare a ciascun elemento e ambito di indagine, punteggi sintetici corrispondenti ad azioni progettuali concettuali, permettendo la definizione di 'principi di buona progettazione' coerenti con le diverse fasi del processo e capaci di generare organismi insediativi e tipologici flessibili a partire dall'interpretazione dei contesti di appartenenza, integrandosi con essi o innovandoli. Tale approccio si articola secondo la scomposizione del processo progettuale in tre fasi: la generale (mega), nella quale avviene la progettazione dell'aggregato edilizio e dunque l'inserimento dell'edificio nel contesto circostante; l'architettonica, nella quale s'interviene sui parametri interni al singolo edificio; l'esecutiva (nano), nella quale vengono verificate le istanze proprie della fase realizzativa attraverso la definizione del sistema di involucro, nonché le interazioni tra interno ed esterno, rispondendo a determinati requisiti prestazionali così come a esigenze specifiche dettate dal contesto di applicazione attraverso il corretto impiego e posa in opera di materiali e componenti.

Per ciascuna scala di approfondimento, il metodo propone una valutazione previsionale delle diverse componenti di qualità ambientale generate dal sistema tecnologico, mediante la definizione e il calcolo di un punteggio, definito di 'compatibilità', dato dalla sommatoria di più componenti singole derivanti dall'analisi di tutti gli aspetti di progettazione ambientale ad essa correlati (Fig. 6).

Alla scala generale, i parametri presi in esame riguardano la corretta definizione delle soluzioni volumetriche e aggregative più idonee, al fine di massimizzare l'apporto delle risorse che caratterizzano l'ambito di applicazione del progetto, minimizzando i fattori negativi (Fig. 7).

A questa scala, le azioni progettuali valutate positivamente riguardano l'orientamento dei fabbricati all'interno del lotto, la densità e la conformazione dell'aggregato in relazione alla direzione dei venti dominanti (in funzione della formazione di spazi aperti, semi-aperti o protetti) e l'adozione di eventuali correttivi specifici derivanti dalle condizioni microclimatiche generali dell'area di progetto – permeabilità del lotto, presenza di specchi di acqua con funzione di mitigazione climatica, presenza di vegetazione in grado di offrire una protezione solare efficace, presenza di fonti di inquinamento acustico, presenza di fattori che influiscano sugli scambi termici tra terreno e atmosfera, ecc. (Fig. 8).

Scendendo di scala e prendendo in esame la progettazione del singolo organismo edilizio, i parametri considerati hanno riguardato i suoi caratteri morfologici e distributivi, attraverso la definizione della tipologia edilizia più idonea e della sua relazione con l'ambiente climatico (Fig. 9) al fine di controllare la relazione del tipo edilizio scelto con il contesto geografico di applicazione e l'assetto morfologico del costruito, valutandolo sia in funzione del suo rapporto di forma sia in funzione dell'adozione di eventuali accorgimenti correttivi generati da soluzioni particolari di dettaglio – come, ad esempio, la presenza di coperture dotate di zone filtro capaci di ridurre il carico termico in copertura, o, ancora, la presenza di soluzioni ambientali a recupero energetico, che, se ben progettate, consentono di ottenere, durante la stagione invernale, guadagni termici significativi (Fig. 10). La 'compatibilità' del singolo edificio dovrà dunque tenere conto delle caratteristiche principali di quest'ultimo in relazione ai fattori esterni, ovvero l'orientamento del fabbricato nel lotto e la sua capacità di proteggersi dai venti invernali sfruttando le brezze estive, così come del suo rapporto di forma, corretto in base alla quantità di superficie disperdente e alla presenza o meno di spazi tampone.

La valutazione comparata dei parametri in grado d'influenzare la qualità del costruito deve poi spostarsi alle azioni progettuali relative ai caratteri interni dell'edificio, in relazione alle esigenze di comfort termico, luminoso e acustico. Alla scala architettonica andranno dunque valutate le caratteristiche di distribuzione interna dei vani sulla base delle suddette esigenze, la qualità del grado di ventilazione naturale presente e, di conseguenza, la qualità dell'aria interna in funzione del tipo di attività prevista (Fig. 11). In questo caso, il sistema proposto andrà applicato su ciascuna unità abitativa dell'organismo edilizio in esame, sommando i punteggi ricavati dall'analisi di ciascuna di esse per ottenere la valutazione complessiva dell'intero edificio.

Alla scala esecutiva, infine, è stato definito un campione di azioni progettuali per orientare la progettazione dei sistemi di involucro e definirne la composizione stratigrafica in funzione del comportamento atteso dal punto di vista termo-energetico e termo-igrometrico. In particolare, per le chiusure, si fa riferimento sia alle prestazioni raggiungibili dagli involucri nel loro insieme, sia ai materiali, alle tecnologie e ai criteri di funzionamento identificati per le pelli di base e le seconde pelli. Il giudizio ottenuto

terrà infatti conto del corretto posizionamento di porzioni opache e trasparenti, nonché della definizione delle caratteristiche materiche e prestazionali degli strati che compongono l'involucro (Fig. 12).

In questo caso specifico, il comportamento prestazionale di ciascuna soluzione tecnica di dettaglio, rilevato attraverso la campagna di monitoraggio effettuata, ha dato esiti diversificati e talvolta imprevisi rispetto a quanto atteso dal rispetto dei meri parametri normativi; a titolo di esempio, l'adozione di pareti fortemente massive in orientamenti per i quali non è necessaria un'inerzia termica elevata ha determinato, in un caso, la sottrazione di calore dall'ambiente interno, per aumentare, seppur in maniera non significativa, la temperatura superficiale del pacchetto di chiusura, a scapito della temperatura dell'aria interna. Nei casi in cui invece la quantità di soleggiamento sulla facciata si protrae nell'arco della giornata, l'adozione di strati a maggior pesantezza si è tradotta in una significativa riduzione del flusso di calore tra interno ed esterno, grazie alla capacità termica posseduta dal pacchetto.

Conclusioni | I sistemi multicriteriali per la valutazione e certificazione ambientale nel campo delle costruzioni generalmente individuano una serie di criteri cui assegnano un indicatore di prestazione e relativo valore soglia, tarato in base al raggiungimento di un livello prestazionale maggiore rispetto alla prassi convenzionale o ai valori minimi imposti dalle normative vigenti. Il grado di 'qualità' di un progetto viene determinato in base alla soglia di prestazione raggiunta, calcolata sommando una serie di punteggi premiali ottenuti attraverso la conversione dei diversi valori riferiti agli impatti ambientali e ai livelli qualitativi ambientali e tecnologici del progetto in esame (Ganassali, Lavagna and Campioli, 2016).

Tra i circa 600 metodi esistenti in tutto il mondo (Vierra, 2019) solo una parte di essi si concentra sulla valutazione 'olistica' di più componenti mentre altri prendono in esame soltanto alcuni aspetti (come ad esempio il consumo di energia). Il denominatore comune rimane comunque la riduzione dell'impatto ambientale del costruito e la valorizzazione del comfort e della salute umana (Florez, 2020). Tuttavia, capita che in tali sistemi la valutazione di 'qualità' avvenga riducendo organismi complessi – come quelli edilizi – a una verifica per parti (Ganassali, Lavagna and Campioli, 2016) o riferendo la definizione dei criteri e dei relativi indici di prestazione a condizioni locali o, ancora, assegnando pesi e punteggi in maniera arbitraria (Chandratilake and Dias, 2013), rendendo così difficoltosa la loro applicazione e, talvolta, scarsamente attendibile la valutazione da essi ottenuta.

Il metodo messo a punto mira invece a superare le semplificazioni insite in alcuni dei soprarichiamati modelli di valutazione e certificazione; in esso, infatti, il sistema di verifica preventiva delle azioni progettuali alle diverse scale del progetto di architettura, basato sull'assegnazione a queste di punteggi sintetici (indice della loro efficacia nello specifico contesto di applicazione), permette di effettuare scelte progettuali assai libere, ottimizzandone le caratteri-



Fig. 5 | Residential Tower in Castelmaggiore (Bologna), during the construction phase of the double-skin glass facades. Building's general features: 7,000 sqm of built surface, n. 90 apartments, n. 1 commercial structure, n. 1 restaurant, n. 1 Spa, offices (credit: F. Conato and V. Frighi).

Next page

Fig. 6 | Example of the synthetic grid for the assessment of the 'environmental compatibility' at the scale of the building aggregate. The analysed score is given by the sum of the components related to: orientation – po, prevailing winter winds – pvi, summer breezes – pbe, general microclimatic conditions – pmg and acoustic characteristics of the context – pa (credit: F. Conato and V. Frighi).

stiche tecnologiche in funzione dei singoli parametri da controllare e gestendo i potenziali conflitti che spesso nascono nel controllo di parametri differenti rispetto a una determinata soluzione progettuale, consentendo, in questo modo, di rispondere in maniera adeguata a istanze complesse attraverso un linguaggio architettonico contemporaneo.

In base alle criticità e alle potenzialità emerse dai dati di monitoraggio in relazione alle singole soluzioni tecniche adottate negli edifici pi-

lota, è stato infatti possibile sviluppare uno strumento decisionale di supporto capace di tenere conto delle potenzialità e vocazioni di ciascuna soluzione tecnica in nuce, punto di partenza per lo sviluppo di un progetto di architettura che tenga conto di obiettivi e strategie complesse, che cioè includono e integrano aspetti fra loro complementari. Grazie all'attività condotta sui soprarchiamati cantieri pilota, sono stati identificati obiettivi prestazionali e relativi target 'quantitativi' considerati accetta-

bili per poi verificare progressivamente l'efficacia delle strategie attivate per il raggiungimento dei suddetti obiettivi. La sequenza fra azioni progettuali, punteggi loro assegnati e relative soluzioni tecniche ipotizzate ha consentito di operare un confronto – in relazione agli indicatori ritenuti più rilevanti – fra la condizione ex ante e la condizione progettata, attraverso una valutazione sintetica ottenuta dall'applicazione dei punteggi proposti.

Lo strumento operativo così ottenuto si configura dunque quale mezzo capace di orientare la progettazione a tutti i livelli che caratterizzano la produzione di un'opera architettonica, consentendo di affrontare – attraverso matrici aperte definite grazie ai dati sperimentali di ritorno ottenuti dalle campagne di monitoraggio – la complessità delle variabili in gioco in maniera sistematica e integrata, controllando la rispondenza degli effetti prestazionali prodotti dalle singole soluzioni progettuali adottate rispetto a quanto atteso, e garantendo al contempo il raggiungimento di standard di qualità ambientale del costruito nel pieno rispetto delle normative vigenti.

Tale approccio infatti, basato sulla valutazione comparata degli effetti prodotti dalle diverse soluzioni progettuali, non è assolutamente da intendersi alternativo alla verifica normativa – sulla base della quale le diverse soluzioni tecniche ipotizzate andranno certamente verificate in una fase successiva – bensì si propone quale metodo di supporto decisionale al progetto, per orientare quest'ultimo alle diverse scale, offrendo un approccio integrato per ripensare in modo sistematico la complessità delle variabili in gioco. La possibilità inoltre, di implementare con dati successivi il sistema matriciale messo a punto, consente di renderlo adattabile alla variabilità delle condizioni al contorno nonché alle esigenze in continuo mutamento della società contemporanea.

The growing importance that energy consumption control has acquired in the construction sector is leading a large part of its operators to reconsider their role and contribution within the construction process concerning new objectives and new strategies linked to the achievement of higher quality standards (Gaspari, Trabucco and Zannoni, 2010). It is precisely the raising of design standards, imposed by the continuous evolution of the Italian legislative framework and flanked by the extension of disciplinary boundaries and responsibilities of the designer, which has determined the emergence of new needs; first of all, the on-site quality control of building materials and components so as the environmental sustainability parameters at all scales of the building process, only recently incorporated into mandatory directives¹ for the construction sector.

Despite this, the management of these issues is more complex than ever due to the multitude of aspects involved as well as the multiple scales that the construction process involves, especially when it comes to achieving the quality and sustainability objectives required by the current situation (Marino and Thiébat,

2019). The constant growth of these complexities (Tucci, 2014) implies a rethinking of the design process, which today must be more integrated and capable of analysing the different phases that compose it, respecting the mutual coherence, contemplating the whole process and encouraging the adoption – by all the operators involved – of more effective technical solutions, able to guarantee the achievement of quality standards through the architecture itself, intended as ‘place’ in which the various factors come to a synthesis (Fig. 1).

Given the large number of variables to manage, as well as the interaction of an ever-growing number of specialities and skills, including environmental ones (Dalla Valle, Lavagna and Campioli, 2016), one of the priorities is to identify decision support tools to operate, in particular, multicriteria assessments both between different technical performances as well as different environmental criteria (Lavagna et alii, 2019). Therefore, this contribution presents the results of a research activity launched with a Regional Program for Industrial Research, Innovation and Technology Transfer (PRRIIT) within the Department of Architecture of the University of Ferrara, with the collaboration of the Larco Laboratory – High Technology Network of the Emilia Romagna Region and various companies, for the development of a method able to evaluate in a provisional way and during the design phase the different environmental quality components generated by the technological system, overcoming today simplification intrinsic in current assessment and certification models.

The project’s environmental dimension | The design of a building, due to the complexity of the issues addressed and the multiplicity of scales it involves, requires an integrated approach that analyses the various phases under an interdisciplinary point of view, to ensure the project to meets specific requirements in a system logic. This approach cannot be separated from the need to relate the development of contemporary society with the respect of the surrounding environment, referring to the well-known principles of sustainable development². Developed since the 1980s (Fig. 2), the concept of environmental sustainability has become, from that moment, the common denominator of many contemporary needs, taking shape as a factor of balance between the needs of anthropic development and living, with the environmental conditions aimed at ensuring the well-being and people’s health (Lo-sasso, 2016). In this context, environmental balances, evaluated in terms of ecological footprint³ (Wackernagel and Rees, 1996), become of fundamental importance for planning, management and monitoring the ‘quality’ and, above all, the ‘sustainability’ of project’s results; therefore, a detailed analysis of the activities underlying the urban metabolism is a necessary condition for ensuring a sustainable development (Cagnoli, 2017).

Therefore, the Environmental Design seems to have collected the heritage of the performance-regulatory culture on which the area of Technological Design was founded, redefining

$$P_{Aca} = \frac{p_o + 0,80 p_{vi} + 0,50 p_{be} + p_{mg} + 0,80 p_a}{5}$$

P_o			
<u>Season</u>	<u>% of shadow</u>		
	0%	10% < s < 30%	s > 30%
Summer	1	2	3
Winter	3	0	0

P_{vi}	
<u>surrounding area</u>	<u>basic score</u>
Open	1
Semi-open	2
Protected	2,5

In case of single buildings, both in open areas as in historic town, the basic score will always be equal to 1.

Correctives

Presence of obstacles at a distance lower than 30 m, opposite in direction in relation to prevailing winds	+ 0,80
Presence of urban areas	+ 1
Green areas with opposite in direction in relation to prevailing winds	+ 1

P_{be}	
<u>surrounding area</u>	<u>basic score</u>
Open	3
Semi-open	2
Protected	1

In case of single buildings, both in open areas as in historic town, the basic score will always be equal to 1.

Correctives

Presence of water in the direction of prevailing winds	+ 0,80
Presence of urban areas	- 0,50
Presence of obstacles at a distance lower than 30 m, opposite in direction in relation to summer breezes	- 0,40
Green areas opposite in direction to summer breezes	- 0,20

P_{mg}	
<u>basic score</u> = 1	
<u>Correctives</u>	
Presence of water	+ 1
Presence of urban areas	- 0,50
Presence of big green surfaces	+ 0,50
Presence of big paved surfaces	- 0,20
Presence of water for climatic mitigation	+ 0,30
Presence of highways	- 0,50

P_a	
<u>basic score</u> = 1,5	
<u>Correctives</u>	
Presence of urban areas	- 0,20
Presence of industrial areas	- 0,30
Presence of highways	- 0,40
Presence of strategic infrastructure (railways, airports)	- 0,50
Presence of green areas to protect from noise sources	+ 0,20
Presence of acoustic mitigation elements	+ 0,50

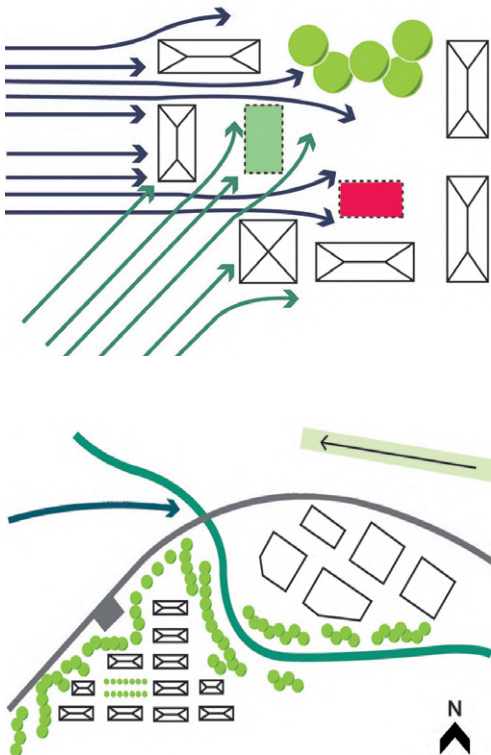
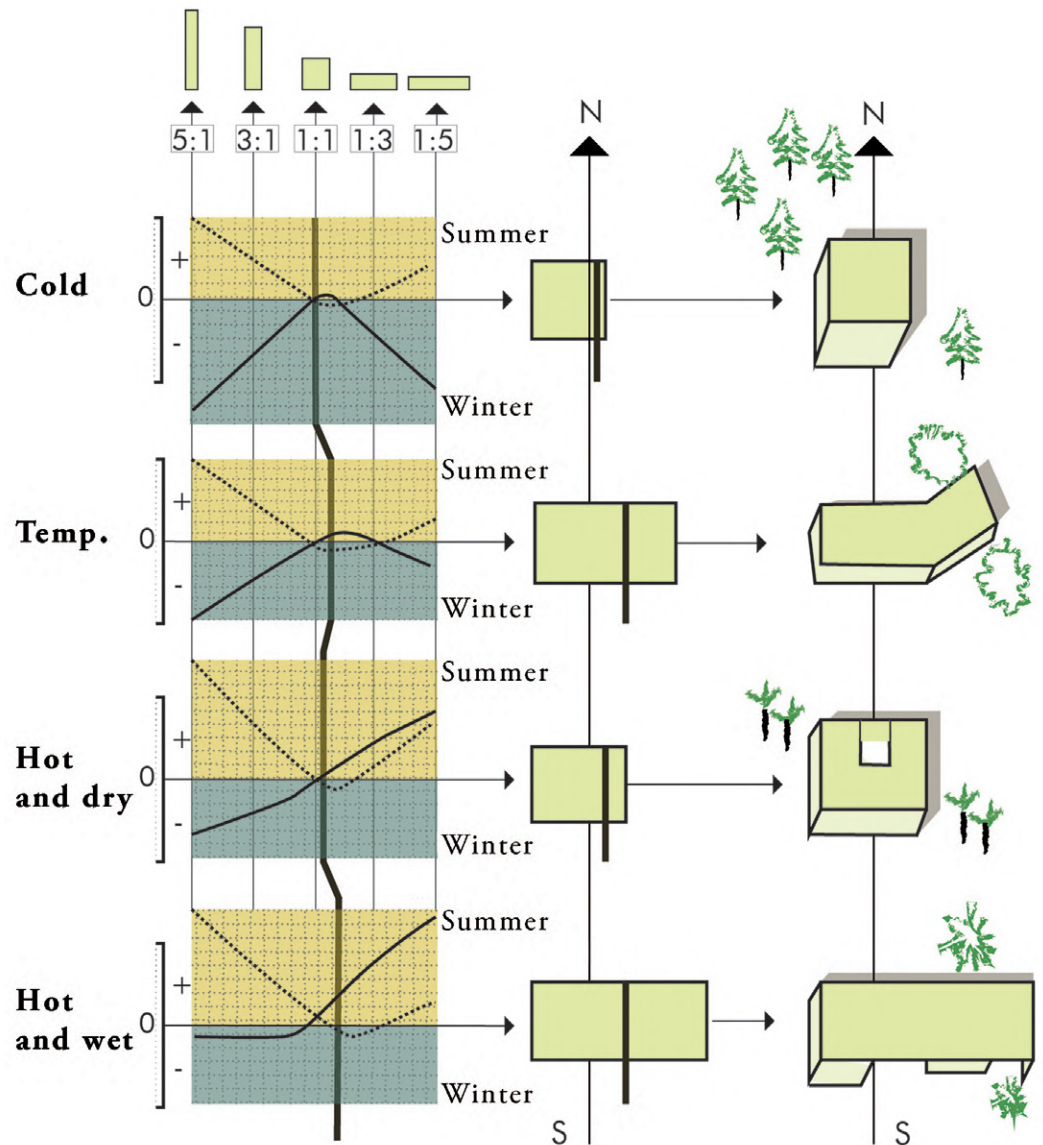


Fig. 7 | Synthetic indications for the design of the building aggregate concerning the direction of the prevailing winds (credit: F. Conato and V. Frighi).

Fig. 8 | The general microclimatic conditions of the project area significantly influence the design of the building aggregate, especially about the presence of peculiar aspects towards which the single rules' compliance cannot give the right relevance – among them the site's morphology, the presence of natural or artificial obstacles and infrastructures, the characteristics of the surrounding surfaces, etc. (credit: F. Conato and V. Frighi).

Fig. 9 | Relationship between building morphology, building typology and climatic environment (credit: F. Conato and V. Frighi).



it «[...] in the multiscale dimensions of the governance of complex decision-making processes, also in light [...] of the advanced environmental objectives thus related» (Schiaffonati, Mussinelli and Gambaro, 2011, p. 52). The 'environmental dimension' of a project, in its numerous articulations and implications, becomes no longer amendable in light of the current crises – climatic, energy and economic – as well as of the recent regulatory provisions (Losasso, 2017; Fig. 3) bringing with it the emergence of new needs, first of all, that of evaluating the degree of 'sustainability' of a building to increase its environmental value through the unique recognition of its intrinsic design quality (Conato and Frighi, 2016).

The energy-environmental sustainability buildings protocols are a potentially very effective tool, both for carrying out multi-criteria evaluations of the architectural project and for directing new construction and redevelopment interventions towards efficient and effective solutions. However, the high number of certification systems disseminated at national and community level – as well as the absence of a unitary and binding framework – have limited their application. In addition to this, the complex evaluation required by some parameters considered within these protocols, coupled with

the difficulty of finding all the data necessary for the complete application of some of them, risks to excessively simplifying the verification of a complex system such as a building, concealing potential distortions and sometimes returning untruthful results (Ganassali, Lavagna and Campioli, 2016).

Indeed, available tools generally based on the interpenetration between different skills and specificities, typical of the environmental design approach, are often «[...] different and focused on different indicators and aspects» (Lavagna et alii, 2019, p. 140) both at the scale of the building than that of the building product, risking to confuse the designer instead of guiding him within this complexity (Fig. 4). Each certification tool consists of multiple categories, characterized by non-comparable indicators; the awarding of reward points that can be added to each other, based on the performance threshold reached, occurs very often without making these considerations in an overall logic. Therefore, it seems legitimate to doubt the absolute reliability of the indications provided by these tools since the sustainability rating in which they place the building is arbitrarily elaborated independently by each protocol (Ganassali, Lavagna and Campioli, 2016).

A multiscale approach for the performance evaluation of the architectural project |

The research underlying the present study was born from the need to overcome the limits intrinsic in existing tools. The purpose of it is the development of a multi-criteria and multi-scale assessment model for the performance evaluation, in a provisional way, of the architectural project, capable of allowing consistency checks at the various scales and from the very first stages that characterize the design process to provide technical decision-making support to promote energy-environmental sustainability in buildings. The method developed analyses the various phases of the design process in an interdisciplinary key, outlining criteria of correct technological and environmental design and integrating them with the corresponding physical principles, to obtain efficient design strategies and technical solutions.

Compared to traditional energy and environmental certifications, the proposed system provides performance indications in qualitative terms, covering the different aspects of the design process from the project to implementation and management. The research activity that allowed the definition of the aforementioned approach took place in the following operational phases:

- i) recognition of the limits intrinsic in the current evaluation protocols (incomparability of the indicators, complexity, reliability, etc.);
- ii) definition of working hypotheses;
- iii) breakdown of the design process into phases and definition of the relative categories of corresponding design choices (for example: 1. General-urban scale: 1.1. Evaluation of the influencing factors in the design of the building aggregate: a. Orientation, b. Prevailing winter winds, c. Summer breezes, d. General microclimatic conditions, e. Acoustic characteristics of the context; 1.2. Evaluation of the influencing factors in the design of the single building: a. Building typology, b. Building development as a function of prevailing winds and summer breezes, c. Surface-to-volume ratio, d. Buffer spaces);
- iv) identification, for each category, of the project actions to be undertaken and of the related technical solutions corresponding to them;
- v) setting up of a monitoring campaign on two new buildings (case-studies) aimed at detecting the response level of each planned technical solution;
- vi) assignment of synthetic scores to each technical solution and for each category of project actions, index of their environmental compatibility with the specific conditions surrounding the case studies under examination;
- vii) extension of the above principles according to the variability of the boundary conditions.

The formalization of current control tools to manage the design complexity

The preparation of robust monitoring activity on the case-studies allowed to obtain the experimental data on which the evaluation method under examination is based. The two pilot buildings, mainly for residential use, are today both built in the province of Bologna: it is a tower building (Fig. 5) and a linear building. In the first building, the external closure consists of a full-surface building envelope with a second active glass skin on a cellular concrete basic skin; in correspondence with the openings directed towards the outside, the casing is equipped with a second interactive skin with single discrete elements that allow controlling the incident solar radiation in both seasons. On the other hand, in the second case study, the envelope is made up of a ventilated full-surface facade above an extra-insulated basic skin in pore brick, with the presence of individual discrete elements to protect from the sun (balconies and horizontal overhangs), designed according to the building's orientation and the intended use of the rooms behind them (Conato and Cinti, 2014).

Monitoring the response level of the various technical solutions used in these pilot buildings made it possible to determine the corresponding performance effects, relating the experimental data collected with the expected results coming from these design actions. Then, the processing of data obtained in this way made it possible to draw up 'evaluation grids' which relate the individual project actions with a synthetic score, index of the 'compatibility' of each of them as the boundary conditions vary, thus obtaining a quantitative

and qualitative estimation of the expected performance result from each choice put in place. The scores assigned to each 'action' in fact, in a range from 1 to 3 (to which are added or subtracted eventual correctives assigned to more minute design measures), allow to have, with a good approximation and since the beginning, the control of the extent to which the individual project actions influence the aspects inherent the environmental design of buildings.

This synthetic and bidirectional approach conceives the various design phases as processes subject to continuous implementation, defining a system of open matrices capable of binding the different elements in a transversal way, organizing and synergistically integrating different actions, rewarding their mutual coherence and placing them in the specific context. The verification of the environmental parameters and the compliance of the project with certain requirements takes place in it through a collaborative process capable of ensuring that the environmental criteria find a correspondence in the performance characteristics of the executive project. In this way, an operating tool has been configured: it can direct the design towards the accomplishment of effective and organized actions, such as to allow an integrated control of all the various hypothetical solutions at all scales.

The project's decision-making support model

The approach developed is based on project management as a set of coordinated matrices for the resolution of complex instances through the juxtaposition of heterogeneous elements. According to this no longer linear logic, each category of design choices has been configured as an open matrix for the development of tailored technical solutions, subject to a continuous revision thanks to the possibility of implementing the evaluation grid with on-site tests of the performance effects deriving from the design choices made. In this way, it was possible to overcome the limitations intrinsic in the use of compliant solutions, leaving to end-users the widest freedom in declining this model, following the parameters established by the mandatory regulations.

Indeed, in the proposed method, synthetic scores corresponding to conceptual design actions are assigned to each element and field of investigation, allowing the definition of 'principles of good design' consistent with the different phases of the process and capable of generating flexible organisms starting from the interpretation of the application contexts, integrating with them or innovating them. This approach is articulated according to the breakdown of the design process into three phases: the general one (mega), to which the design of the building aggregate takes place and therefore the insertion of the building within the surrounding context; the architectural one, within which it is possible to act on the parameters responsible for internal comfort of every single building; the executive one (nano), to which the specific requirements of the construction phase are verified through the definition of the building envelope system, as well as the interactions between inside and outside, responding

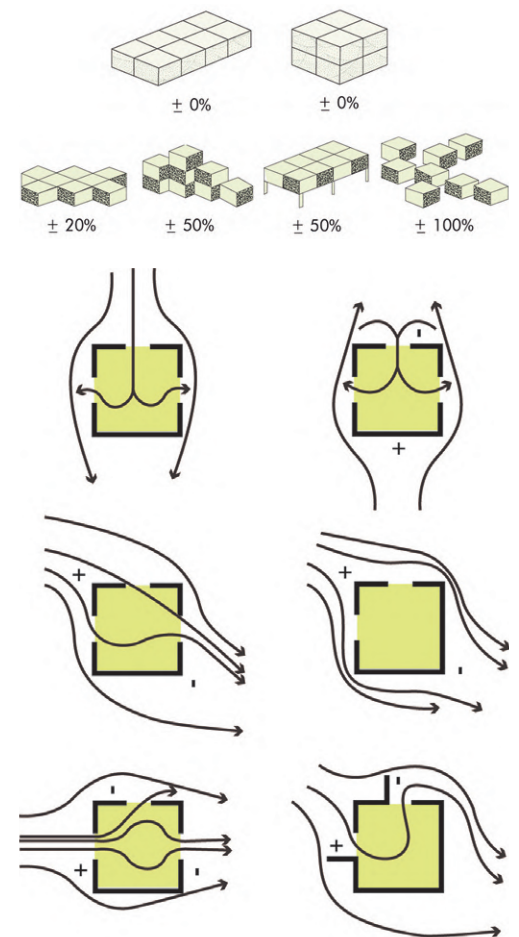


Fig. 10 | Comparison between different shapes with the same built volume and their percentages of dispersing surfaces. The surface/volume ratio of an energy-efficient building is assumed to be equal to or less than 0.6 (credit: F. Conato and V. Frighi).

Fig. 11 | Windows' arrangement and air movements within confined spaces (credit: F. Conato and V. Frighi).

to certain performance requirements as well as to specific needs dictated by the application context through the correct use and installation of materials and components.

For each scale of analysis, the method proposes a provisional assessment of the various components of environmental quality generated by the technological system, by defining and calculating a 'compatibility' score, given by the sum of several individual components deriving from the analysis of the whole aspects of environmental design related to it (Fig. 6).

At the general scale, the parameters taken into account concerned the correct definition of the most suitable volumetric and aggregative solutions, to maximize the contribution of the resources that characterize the scope of the project, minimizing negative factors (Fig. 7). At this scale, the positively evaluated design actions concern the orientation of the buildings within the lot, the density and conformation of the aggregate in relation to the direction of the prevailing winds (depending on the formation of open, semi-open or protected spaces) and the adoption of any specific corrective measures deriving from the general microclimatic conditions of the project area – permeability of the lot, presence of water mirrors with climate mitigation function, presence of vegetation ca-

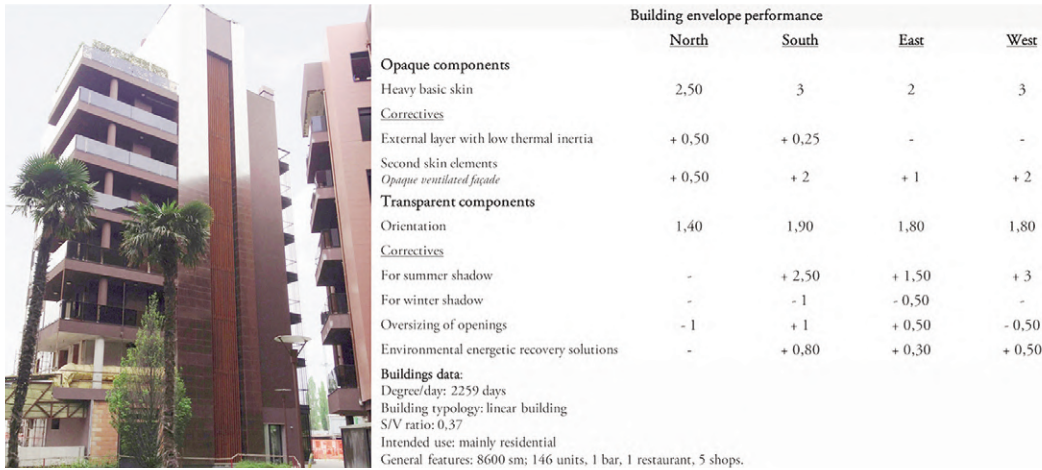


Fig. 12 | Application of the method for the evaluation of building envelope performance to one of the 'pilot' buildings: see how the assignment of synthetic scores to each technical solution put in place makes it possible to obtain immediate performance feedback of the contribution provided by them to the overall system performance (credit: F. Conato and V. Frighi).

pable of offering effective sun protection, presence of sources of noise pollution, presence of factors that influence the heat exchange between the soil and the atmosphere, etc. (Fig. 8).

Going down the scale and taking into consideration the design of the single building organism, the parameters considered concerned its morphological and distributional features, through the definition of the most suitable building typology and its relationship with the climatic environment (Fig. 9) to check the relationship of the building type chosen with the application geographic context and the morphological structure of the building, evaluating it both as a function of its surface-to-volume ratio so as concerning the adoption of any corrective measures generated by particular detailed solutions – such for example, the presence of roofs equipped with filter areas capable of reducing the roof's thermal load, or, again, the presence of energy recovery environmental solutions, which, if well designed, allow to obtain, during the winter season, significant thermal gains (Fig. 10). The 'compatibility' of the single building must, therefore, take into account its main features concerning external factors, i.e. the orientation of the building in the lot and its ability to protect itself from the winter winds by taking advantage of the summer breezes, as well as its surface-to-volume ratio, corrected based on the quantity of dispersant surface and the presence or absence of buffer spaces.

The comparative evaluation of the parameters capable of influencing the quality of the building must then move on the design actions relating to the internal building features, about the needs of thermal, light and acoustic comfort. At the architectural scale, the rooms' layout will, therefore, be assessed based on the aforementioned requirements, on the quality of the degree of natural ventilation present and, consequently, on the quality of the internal air according to the specific type of activity provided (Fig. 11). In this case, the proposed system will be applied to each housing unit of the building under evaluation, adding up the scores obtained from the analysis of each of them to obtain the overall assessment of the entire building system.

Finally, at the executive scale, a sample of design actions was defined to guide the design of the building envelope systems thus define their stratigraphic composition according to the expected behaviour from the thermo-energetic and thermo-hygrometric point of view. In particular, for the external enclosures, reference is made both to the performance achievable by building envelopes as a whole, and to the materials, technologies and operating criteria identified for the basic and second skins that made them up. Indeed, the judgment obtained will take into account the correct positioning of opaque and transparent portions as well as the definition of the material and performance characteristics of the layers that make up the envelope (Fig. 12).

In this specific case, the performance behaviour of each detailed technical solution, detected through the monitoring campaign carried out, gave diversified and sometimes unexpected results compared to what is expected from the sole compliance with the regulatory parameters; by way of example, the adoption of highly massive walls – in orientations for which high thermal inertia is not necessary – resulted, in one case, in the removal of heat from the internal environment, to increase, although in a non-significant way, the surface temperature of the vertical enclosure, at the expense of the internal air temperature. However, in cases where the amount of sunshine on the facade lasts throughout the day, the adoption of heavier layers has resulted in a significant reduction in the heat flow between inside and outside, thanks to the thermal capacity possessed by the envelope.

Conclusions | The multi-criteria systems for the environmental assessment and certification in the construction field generally identify a series of criteria to which they assign a performance indicator and relative threshold value, calibrated on the basis of the achievement of a higher performance level compared to conventional practice or the minimum values imposed by the in-force regulations. The degree of 'quality' of a project is determined based on the performance threshold reached, calcu-

lated by adding a series of reward scores obtained by converting the different values referring to the environmental impacts and the environmental and technological quality levels of the project in question (Ganassali, Lavagna and Campioli, 2016).

Of the approximately 600 worldwide existing methods (Vierra, 2011), only a part of them focuses on the 'holistic' assessment of multiple components while others take into account only some aspects (such as energy consumption). However, the common denominator remains the reduction of the environmental impact of buildings and the enhancement of comfort and human health (Florez, 2020). However, it happens that in such systems the 'quality' assessment takes place by reducing complex organisms such as the building ones to verification by parts (Ganassali, Lavagna and Campioli, 2016) or by referring to the definition of the criteria and the related performance indices at local conditions or, again, by assigning weights and scores in an arbitrary manner (Chandratilake and Dias, 2013), thus making their application difficult and, sometimes, scarcely reliable the evaluation they obtained.

Therefore, the method here presented aims to overcome the simplifications intrinsic in some of the aforementioned evaluation and certification models; in it, in fact, the system of provisional verification of the design actions at the various scales of the architectural project – based on the assignment to them of synthetic scores (index of their effectiveness in the specific context of application) – allows to make very free design choices, optimizing the technological characteristics according to the individual parameters to be controlled and managing the potential conflicts that often arise in the control of different parameters concerning a given design solution, thus allowing, in this way, to adequately respond to complex requests through a contemporary architectural language.

Based on the critical issues and potentiality that emerged from the monitoring data about the individual technical solutions adopted in the pilot buildings, it was possible to develop a decision-making support tool capable of taking into account the potential and vocations of each planned technical solution, as a starting point for the development of an architectural project that takes into account complex objectives and strategies, that means they include and integrate complementary aspects. Thanks to the activity carried out on the aforementioned pilot sites, performance targets and related 'quantitative' targets considered as acceptable were identified to progressively verify the effectiveness of the strategies activated to achieve the aforementioned objectives. The sequence between project actions, scores assigned to them and provided technical solutions made it possible to make a comparison – with the indicators considered most relevant – between the ex-ante condition and the design condition, through a synthetic evaluation obtained by applying the scores proposed.

Therefore, the operating tool thus obtained is configured as a means capable of orienting the design at all levels that characterize the pro-

duction of architectural work, allowing to face – through open matrices defined thanks to the experimental return data obtained from the monitoring campaigns – the complexity of the variables involved in a systematic and integrated manner, checking the compliance of the performance effects produced by the individual design solutions adopted, for what is expected and, at the same time, ensuring the achievement of building environmental quality standards in full compliance with current regulations.

Acknowledgements

The contribution presents the results of years of applied research activities in the domain of building envelope sector and buildings' performance control, carried out under the scientific supervision of Fabio Conato and oriented towards environmental sustainability, low-impact design and the integration between architecture and installations. The activities, started with a PRRITT from 2005, involved doctorates and research grants and produced, thanks to the collaboration of private partners, the construction of several pilot sites. Valentina Frighi participated in some of the aforementioned research activities and performed the systematization of the results.

Notes

1) The reference is to the New Procurement Code (Nuovo Codice Appalti), Italian Legislative Decree no. 50 of 18 April 2016 in implementation of Directives 2014/23/EU, 2014/24/EU and 2014/25/EU and the most recent Italian Ministerial Decree 11 October 2017, on the application of the Minimum Environmental Criteria (Criteri Ambientali Minimi – CAM).

2) Introduced and defined for the first time in the so-called Brundtland Report, named after the Norwegian Prime Minister who chaired the World Commission on Environment and Development (WCED) actually titled *Our Common Future* (August, 1987) and subsequently expanded in 2002 as part of the World Summit on Sustainable Development (WSSD) in Johannesburg. To deepen such concept, see: United Nations, 1987; Canepa, 2018; sustainabledevelopment.un.org/milestones/wssd [Accessed 21 April 2020].

3) The Ecological Footprint is a complex indicator used to evaluate the human consumption of natural resources – also called Environmental Pressures – for the earth's ability to regenerate them; it expresses, in fact, the 'quantity of nature' needed to support the metabolism of anthropic systems in general (Cagnoli, 2017).

References

Cagnoli, P. (2017), "Metabolismo urbano e strategie di sviluppo", in *Ecoscienza*, n. 5, pp. 76-78. [Online] Available at: www.arpae.it/cms3/documenti/_cerca_doc/ecoscienza/ecoscienza2017_5/cagnoli_es2017_05.pdf [Accessed 21 April 2020].

Canepa, M. (2018), *Riflessioni sullo sviluppo sostenibile a trent'anni dal Rapporto Brundtland*, Mimesis Edizioni, Milano.

Chandratilake, S. R. and Dias, W. P. S. (2013), "Sustainable rating Systems for buildings – Comparison and correlations", in *Energy*, n. 59, pp. 22-28.

Conato, F. and Cinti, S. (2014), *Architettura e Involucro*, BE-MA Editrice, Milano.

Conato, F. and Frighi, V. (2016), *Metodi della progettazione ambientale – Approccio integrato multiscale per la verifica prestazionale del progetto di architettura*, FrancoAngeli Editore, Milano.

Indeed, this approach, based on the comparative evaluation of the effects produced by the different design solutions, is not to be considered as an alternative to the regulatory verification – based on which the various hypothetical technical solutions will certainly be verified at a later stage – but rather it is proposed as a decision-making method to support the project, orienting the designer through the various scales and offering an integrated approach to systematically rethink the complexity

Dalla Valle, A., Lavagna, M. and Campioli, A. (2016), "Change management and new expertise in AEC firms: improvement in environmental competence", in Barreto Tadeu, A. J. (ed.), *41st IAHS World Congress on Housing, Sustainability and Innovation for the Future, September 13-16, 2016, Albufeira, Algarve, Portugal – Proceedings*, International Association for Housing Science, Algarve, pp. 1-10. [Online] Available at: core.ac.uk/download/pdf/80336704.pdf [Accessed 5 March 2020].

Florez, L. (2020), "Sustainability and Green Building Rating Systems: A Critical Analysis to Advance Sustainable Performance", in *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, vol. 4, pp. 211-220.

Ganassali, S., Lavagna, M. and Campioli, A. (2016), "Valutazione LCA all'interno dei protocolli ambientali multicriteri per il settore delle costruzioni", in Dominici Loprieno, A., Scalbi, L. and Righi, S. (eds), *Atti del X Convegno dell'Associazione Rete Italiana LCA 2016 – Life Cycle Thinking, sostenibilità ed economia circolare, Ravenna, 23-24 Giugno 2016*, ENEA – Servizio Promozione e Comunicazione, Frascati, pp. 415-422. [Online] Available at: www.enea.it/it/seguici/publicazioni/pdf-volumi/atti-rete-lca-2016.pdf [Accessed 21 April 2020]

Gaspari, J., Trabucco, D. and Zannoni, G. (2010), *Involucro edilizio e aspetti di sostenibilità – Riflessioni sul comportamento energetico di pareti passive e stratificate superisolate: performances ambientali ed embodied energy*, FrancoAngeli, Milano.

Lavagna, M., Bessi, A., Meneghelli, A. and Moschini, P. (2019), "La dimensione ambientale del progetto esecutivo – Esperienze e prospettive future | The environmental dimension of detailed design – Experiences and future perspectives", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 18, pp. 138-146. [Online] Available at: doi.org/10.13128/techne-7520 [Accessed 5 March 2020].

Losasso, M. (2017), "Progettazione ambientale e progetto urbano", in *Eco Web Town | Journal of Sustainable Design*, n. 16, vol. II, pp. 7-16. [Online] Available at: www.ecowebtown.it/n_16/pdf/16_02-losasso-it.pdf [Accessed 17 January 2020].

Losasso, M. (2016), "Climate risk, Environmental planning, Urban design", in *UPLanD | Journal of Urban Planning, Landscape & Environmental Design*, vol. 1, issue 1, pp. 219-232. [Online] Available at: doi.org/10.6092/2531-9906/5039 [Accessed 5 March 2020].

Marino, V. and Thiébat, F. (2019), "Integrazione dei requisiti di sostenibilità ambientale nel progetto di architettura | Integration of sustainability requirements in architectural design", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 18, pp. 174-183. [Online] Available at: doi.org/10.13128/techne-7524 [Accessed 5 March 2020].

Schiaffonati, F., Mussinelli, E. and Gambaro, M. (2011), "Tecnologia dell'architettura per la progettazione ambientale – Architectural technology for environmental design", in *Techne | Journal of Technology for Architecture and Environment*, vol. 1, pp. 48-53. [Online] Available at: doi.org/10.13128/Techne-9434 [Accessed 17 January 2020].

of the variables involved. Furthermore, the possibility of implementing the matrix system developed with subsequent data allows it to be adapted to the variability of the boundary conditions as well as to the constantly changing needs of contemporary society.

Tucci, F. (2014), *Involucro, Clima, Energia, Qualità bioclimatica ed efficienza energetica in architettura nel progetto tecnologico ambientale della pelle degli edifici*, Altralinea Edizioni, Firenze.

United Nations (1987), *Our Common Future – Report of the World Commission on Environment and Development*. [Online] Available at: netzwerk-n.org/wp-content/uploads/2017/04/0_Brundtland_Report-1987-Our_Common_Future.pdf [Accessed 20 April 2020].

Vierra, S. (2019), *Green Building Standards and Certification Systems*. [Online] Available at: www.wbdg.org/resources/green-building-standards-and-certification-systems [Accessed 20 April 2020].

Wackernagel, M. and Rees, W. E. (1996), *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, New Society Publishers, Gabriola Island-Philadelphia.