

ESEMPI DI ARCHITETTURA

Spazi di riflessione

Direttore

Olimpia Niglio

Kyoto University, Japan

Comitato scientifico

Taisuke Kuroda

Kanto Gakuin University, Yokohama, Japan

Rubén Hernández Molina

Universidad Nacional, Bogotá, Colombia

Alberto Parducci

Università degli Studi di Perugia

Enzo Siviero

Università Iuav di Venezia, Venezia

Alberto Sposito

Università degli Studi di Palermo

Karin Templin

University of Cambridge, UK

Comitato di redazione

Giuseppe De Giovanni

Università degli Studi di Palermo

Marzia Marandola

Sapienza Università di Roma

Mabel Matamoros Tuma

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba

Alessio Pipinato

Università degli Studi di Padova

Bruno Pelucca

Università degli Studi di Firenze

Chiara Visentin

Università degli Studi di Pisa, Campus Lucca

EdA – Collana editoriale internazionale con obbligo del *Peer review* (SSD A08 – Ingegneria Civile e Architettura), in ottemperanza alle direttive del Consiglio Universitario Nazionale (CUN), dell’Agenzia Nazionale del sistema Universitario e della Ricerca (ANVUR) e della Valutazione Qualità della Ricerca (VQR). Peer Review per conto della Direzione o di un membro della Redazione e di un Esperto Esterno (*clear peer review*).



La collana editoriale Esempi di Architettura nasce per divulgare pubblicazioni scientifiche edite dal mondo universitario e dai centri di ricerca, che focalizzino l'attenzione sulla lettura critica dei progetti. Si vuole così creare un luogo per un dibattito culturale su argomenti interdisciplinari con la finalità di approfondire tematiche attinenti a differenti ambiti di studio che vadano dalla storia, al restauro, alla progettazione architettonica e strutturale, all'analisi tecnologica, al paesaggio e alla città.

Le finalità scientifiche e culturali del progetto EDA trovano le ragioni nel pensiero di Werner Heisenberg, Premio Nobel per la Fisica nel 1932.

È probabilmente vero, in linea di massima, che nella storia del pensiero umano gli sviluppi più fruttuosi si verificano spesso nei punti d'interferenza tra diverse linee di pensiero. Queste linee possono avere le loro radici in parti assolutamente diverse della cultura umana, in diversi tempi ed in ambienti culturali diversi o di diverse tradizioni religiose; perciò, se esse veramente si incontrano, cioè, se vengono a trovarsi in rapporti sufficientemente stretti da dare origine ad un'effettiva interazione, si può allora sperare che possano seguire nuovi ed interessanti sviluppi.

Spazi di riflessione

La sezione Spazi di riflessione della collana EdA, Esempi di Architettura, si propone di contribuire alla conoscenza e alla diffusione, attraverso un costruttivo confronto di idee e di esperienze, di attività di ricerca interdisciplinari svolte in ambito sia nazionale che internazionale. La collana, con particolare attenzione ai temi della conservazione del patrimonio costruito nonché dell'evoluzione del processo costruttivo anche in ambito ingegneristico, è finalizzata ad approfondire temi teorici e metodologici propri della progettazione, a conoscere i protagonisti promotori di percorsi evolutivi nonché ad accogliere testimonianze operative e di attualità in grado di apportare validi contributi scientifici. Le attività di ricerca accolte nella collana EdA e nella sezione Spazi di riflessione possono essere in lingua straniera.

Andrea Campioli
Michele Paleari

Progettare e misurare l'efficienza ambientale

L'esperienza del laboratorio
di progetto e costruzione dell'architettura
della scuola di architettura e società del Politecnico di Milano



Copyright © MMXV
ARACNE editrice int.le S.r.l.

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

via Quarto Negroni, 15
00040 Ariccia (RM)
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-7778-8

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: gennaio 2015

INDICE

Il progetto pertinente: cultura tecnologica e ambiente	7
La valutazione della prestazione ambientale	11
TRESSE	17
GREEN LINK CITY	25
LIVE THE LINE	33
URBANSNAKE	41
Modellato dal SOLE. Caratterizzato dall'UOMO	49
viviMIx	57
MOV.e - dynamic living. dynamic energy	65
LIVING. THE PUBLIC SPACE	73
LIVING TOGETHER	81
ABITARE VERDE. ABITARE FLESSIBILE	89
WINDING CONNECTIONS	97
LIVING THE GREEN TERRACES	105
PRET A PORTER	113
MIDDLE GROUND FLOOR	121
OrganiConnections	129
Abita_MI	137
Social Layers	145
Modula il tuo abitare	153
CONTACT THINK	161

Questo libro restituisce i risultati del lavoro prodotto nell'anno accademico 2013-2014 dagli studenti iscritti all'orientamento *Progettazione tecnologica e ambientale* del corso di laurea magistrale in Architettura della Scuola di Architettura e Società del Politecnico di Milano, nell'ambito del modulo didattico di *Tecnologia dell'architettura* del *Laboratorio di Progetto e Costruzione dell'Architettura*.

L'esperienza di progetto condotta nel laboratorio ha potuto contare sul contributo sinergico dei moduli didattici di *Tecnologia dell'architettura*, tenuto da Andrea Campioli, *Tecnica delle costruzioni*, tenuto da Giampaolo Rosati e *Valutazione economica e ambientale dei progetti*, tenuto da Giovanni Utica.

Nell'attività progettuale sviluppata nel modulo di *Tecnologia dell'architettura* gli studenti sono stati assistiti da Stefano Maffeis, Giulio Marchesi, Michele Paleari e Antonio Rizzi.

Si ringrazia Marco Mellina per il prezioso lavoro di organizzazione degli elaborati di progetto e di realizzazione dell'impaginato.

IL PROGETTO PERTINENTE: CULTURA TECNOLOGICA E AMBIENTE

Questo libro racconta l'esperienza maturata nel *Laboratorio di Progetto e Costruzione dell'Architettura* da studenti iscritti al corso di laurea magistrale in Architettura della Scuola di Architettura e Società del Politecnico di Milano che hanno scelto di orientare il loro percorso formativo nella direzione delle tematiche inerenti alla Progettazione tecnologica e ambientale^[1]. In particolare, il lavoro qui presentato si riferisce all'attività condotta nell'anno accademico 2013-2014 nell'ambito del modulo didattico di *Tecnologia dell'architettura*^[2].

All'interno del percorso formativo individuato dall'orientamento in Progettazione tecnologia e ambiente l'obiettivo del laboratorio, attraverso il contributo convergente delle discipline della tecnologia dell'architettura, della tecnica delle costruzioni e dell'estimo, è quello di sperimentare la complessità della progettazione nelle sue diverse fasi, con accentuazione di quella esecutiva, allorché, accanto alle esigenze convenzionali (sicurezza, fruibilità, benessere, gestione, integrabilità), si introducano quelli specifici dell'efficienza ambientale (uso razionale delle risorse, materiche ed energetiche e riduzione degli impatti ambientali). Mediante un percorso mirato e coordinato tra le discipline di riferimento dei tre moduli didattici in cui si articola l'attività del laboratorio vengono approfonditi concetti e metodi operativi orientati al governo degli aspetti costruttivi e ambientali. In particolare, il contributo del modulo di *Tecnologia dell'architettura* è centrato sull'approfondimento delle peculiarità dei molteplici sistemi tecnologici oggi disponibili, con precipua attenzione a quelle caratteristiche utili ai fini della messa a punto di soluzioni progettuali ecoefficienti, considerando l'intero ciclo di vita dell'organismo edilizio e dei suoi componenti, il contributo del modulo di *Tecnica delle costruzioni* riguarda i criteri di dimensionamento e verifica degli organismi strutturali, mentre il contributo del modulo di *Valutazione economica e ambientale dei progetti* è orientato all'acquisizione e all'applicazione dei metodi e degli strumenti per la valutazione economica delle opzioni disponibili alle diverse scale di approfondimento e nelle diverse fasi di elaborazione del progetto.

Per quanto concerne il contributo della tecnologia dell'architettura, l'esperienza didattica proposta si configura come momento di applicazione progettuale delle conoscenze e delle competenze acquisite dallo studente nei suoi studi pregressi. In particolare, l'attività di laboratorio offre l'opportunità di una verifica applicativa degli argomenti trattati nei loro aspetti teorici, metodologici e strumentali nell'insegnamento di *Innovazione Tecnologica e Controllo Ambientale*^[3].

Il tema affrontato nel laboratorio trae spunto dai contenuti del bando del concorso internazionale di

progettazione *Abitare a Milano 2. Nuovi spazi urbani per gli insediamenti di edilizia sociale*, promosso nel 2005 dall'Assessorato allo sviluppo urbano del Comune di Milano al fine di realizzare nuovi insediamenti di edilizia residenziale sociale su aree di proprietà comunale originariamente destinate a servizi e rimaste inattuate all'interno del tessuto urbano^[4]. Tra quelle indicate nel bando è stata assunta l'area di via Giambellino, che costituisce parte di un più ampio settore urbano interessato da diffuse trasformazioni che hanno recentemente comportato un processo di sostituzione e densificazione residenziale e intensificazione delle funzioni commerciali, accompagnato da progetti infrastrutturali importanti per la città.

A partire dalle indicazioni del master plan contenuto nel bando, gli studenti hanno elaborato una proposta insediativa per poi definire il progetto degli edifici fino alla scala del dettaglio costruttivo secondo due differenti declinazioni tecnologiche: una basata sull'impiego di una struttura portante in calcestruzzo armato puntiforme e soluzioni di completamento di tipo massivo; l'altra basata sull'utilizzo di una struttura portante in acciaio e soluzioni di completamento di tipo leggero. Le due soluzioni progettuali sono poi state confrontate dal punto di vista della prestazione ambientale considerando gli indicatori ambientali dell'energia incorporata e delle emissioni di CO₂ equivalente. In coerenza con gli obiettivi formativi che le direttive europee indicano per la formazione della figura professionale dell'architetto^[5], l'attività progettuale si è confrontata con tre paradigmi di riferimento: in primo luogo la consapevolezza critica nei confronti delle molteplici implicazioni culturali delle scelte progettuali^{[6][7][8]}; secondariamente il perseguimento della realizzabilità tecnica delle possibili configurazioni funzionali e spaziali; infine l'assunzione di responsabilità nei confronti del contenimento del consumo di risorse non rinnovabili e della salvaguardia dell'ambiente attraverso la riduzione delle emissioni climalteranti.

I primi due paradigmi devono essere considerati nel loro rapporto dialettico. Non esiste infatti progetto separato dalla possibilità di una sua realizzazione tecnicamente fondata; ma allo stesso tempo una progettualità che ha come unica e isolata preoccupazione la costruibilità rischia di relegare il ruolo dell'architetto nell'ambito di una expertise tecnica incapace di produrre un qualsiasi sforzo nella direzione della comprensione della complessità dei problemi che dall'attività progettuale attendono una risposta. Se da un lato oggi non è più giustificabile un atteggiamento progettuale sprezzante dei problemi tecnici che devono essere risolti con sapienza, dall'altro occorre oggi colmare l'assenza di una riflessione teorica intorno al progetto di architettura, una riflessione che sembra in questi anni essersi af-

fievolita tanto da lasciare spazio al «vuoto davvero abissale che spalanca di fronte al nostro futuro chi dell'architettura tenta di fare una disciplina meramente esecutiva, una pratica immediatamente traducibile in un fare, in un costruire»^[9]. Il terzo paradigma offre oggi al progetto di architettura aperture particolarmente interessanti e pregnanti ^{[10][11][12]}.

La diffusa scarsa qualità degli spazi nei quali viviamo e la necessità di un oculato uso delle risorse disponibili inducono un ripensamento del nostro modo di concepire il territorio, la città, l'architettura, mettendo al centro, senza esitazioni, l'attenzione per la sostenibilità ambientale. La questione ambientale costituisce un valore progettuale, un assunto che contiene in sé una valenza progettuale molto intensa. Per affrontare concretamente e costruttivamente il progetto ponendosi come obiettivo il raggiungimento di un elevato livello di qualità ambientale, non è più sufficiente una generica «sensibilità» nei confronti dell'ambiente o delle attese degli abitanti. Non è più sufficiente accodarsi a quella approssimativa, e per certi versi ingenua, attenzione per l'ambiente che innervava le numerose utopie che hanno retto fino al Movimento Moderno, così come non basta più fare affidamento alle tiepide, e in molti casi pretestuose, posizioni ambientaliste di alcuni eccellenti esponenti dell'attuale dibattito architettonico. La complessità e l'articolazione dei problemi ambientali richiedono una progettualità fondata su competenze sempre più ampie e diversificate e, al contempo, su una conoscenza pertinente^[13], ovvero capace di collocare ogni informazione nel contesto di riferimento appropriato attraverso metodi che permettano di cogliere le mutue relazioni e le influenze reciproche tra le parti e il tutto in un mondo complesso.

L'esperienza del Moderno ha già costituito una prima apertura consapevole verso la qualità dell'abitare, anche con scarsissime risorse, e verso la consapevolezza tecnologica per un corretto rapporto con l'ambiente. E oltre a questo, ci ha trasmesso anche una forte dimensione propositiva, una carica utopica rigenerante, una tensione costante verso un futuro che sia migliore del presente.

Troppo spesso invece il progetto contemporaneo, assecondando le posizioni teoriche del postmodernismo, ha perso la capacità di protendersi verso il futuro: si è appiattito sul presente e ha rinunciato alla sua fondamentale e necessaria dimensione trasformativa. Afferma in tal senso Vittorio Gregotti^[14]: «Il cambiamento è un problema che il postmodernismo, proprio con il suo eterno presente, non si pone nemmeno, perché il presente è una forma di sottrazione all'idea di differenza significativa e perché la novità non è una prerogativa del soggetto, ma una spinta strutturale del sistema, e i fenomeni oggi non desiderano affatto essere interpretati ma solo consumati o trasformati in credenze. Perché anche il futuro è ridotto a forecast o proiettato in una tecnoscienza dell'eterno presente». Si tratta allora, come sottolinea Maldonado, di «ripudiare quel particolare tipo di progettazione che nella nostra società continua ad agire come se fosse l'unico fattibile e valido: cioè la progettazione come attività destinata solo a far proliferare artificialmente gli oggetti e, in seguito, a far addensare e accrescere, pure artificialmente, il loro universo complessivo»^[15], per rivolgersi invece a quella progettazione che cerca di aprire un orizzonte di azione articolato, coerente, socialmente responsabile dell'ambiente umano e del suo destino. In altre parole, occorre aprirsi alla speranza progettuale e opporre una ferma resistenza all'interpretazione nichilista del mondo in cui viviamo, priva di ogni attesa per il futuro: senza futuro non c'è progetto, così come non c'è progetto separato da una visione positiva del futuro. Ciò significa affrontare l'attività progettuale allo stesso tempo con consapevolezza culturale e con competenza tecnica: occorrono saperi, conoscenze, metodi, tecniche e strumenti che consentano di fare scelte informate, di simulare gli esiti attesi, di mettere a sistema variabili molto diverse e scale molto distanti, di fondare gli interventi sugli effettivi bisogni dei tessuti culturali e socio-economici nei quali si collocano.

Gli studenti, nell'esperienza di laboratorio, sono stati chiamati a confrontarsi con questo articolato quadro problematico.

Note

- [1] Il Laboratorio di Progetto e Costruzione dell'Architettura nell'orientamento in Progettazione tecnologica e ambientale è costituito da tre moduli didattici intitolati Tecnologia dell'architettura (6 crediti formativi universitari) Tecnica delle costruzioni (4 crediti formativi universitari) e Valutazione economica e ambientale dei progetti (4 crediti formativi universitari). Il libro si riferisce all'attività condotta nel laboratorio tenuto nell'anno accademico 2013-2014 dal sottoscritto per il modulo di Tecnologia dell'architettura, da Gianpaolo Rosati per il modulo di Tecnica delle costruzioni e da Giovanni Utica per il modulo di Valutazione economica e ambientale dei progetti.
- [2] Nell'attività progettuale condotta nel modulo di Tecnologia dell'architettura, gli studenti hanno potuto contare sul puntuale e competente supporto di Stefano Maffei, Giulio Marchesi, Michele Paleari e Antonio Rizzi che, da alcuni anni, condividono con me l'esperienza di laboratorio.
- [3] I contenuti dell'insegnamento di Innovazione Tecnologica e Controllo Ambientale, tenuto a partire dall'anno accademico 2010-2011 da Elisabetta Ginelli e Monica Lavagna sotto forma di corso integrato, sono stati espressamente organizzati per consentire agli studenti dell'orientamento in Progettazione tecnologica e ambientale del corso di laurea magistrale in architettura di accedere a una filiera formativa che vede, al primo anno, l'acquisizione dei concetti e degli strumenti di base nel campo della valutazione delle prestazioni ambientali nel settore delle costruzioni e, al secondo anno, la loro applicazione nell'attività progettuale condotta nei Laboratori di Progetto e Costruzione dell'Architettura.
- [4] Assessorato allo sviluppo del territorio del Comune di Milano, Concorso internazionale di progettazione Abitare Milano 2. Documento preliminare alla progettazione, Milano, 2005.
- [5] Il riferimento è all'articolo 3 della Direttiva 85/384/CEE del Consiglio del 10 giugno 1985 concernente il reciproco riconoscimento dei diplomi, certificati ed altri titoli del settore dell'architettura e comportante misure destinate ad agevolare l'esercizio effettivo del diritto di stabilimento e di libera prestazione di servizi, laddove si legge che "la formazione che porta al conseguimento dei diplomi, certificati ed altri titoli di cui all'articolo 2 è acquisita mediante corsi di studi di livello universitario, riguardanti principalmente l'architettura. Tali studi devono essere equilibratamente ripartiti tra gli aspetti teorici e pratici della formazione di architetto ed assicurare il raggiungimento:
1. della capacità di creare progetti architettonici che soddisfino le esigenze estetiche e tecniche;
 2. di una adeguata conoscenza della storia e delle teorie dell'architettura nonché delle arti, tecnologie e scienze umane ad essa attinenti;
 3. di una conoscenza delle belle arti in quanto fattori che possono influire sulla qualità della concezione architettonica;
 4. di un'adeguata conoscenza in materia di urbanistica, pianificazione e tecniche applicate nel processo di pianificazione;
 5. della capacità di cogliere i rapporti tra uomo e creazioni architettoniche e tra creazioni architettoniche e il loro ambiente, nonché la capacità di cogliere la necessità di adeguare tra loro creazioni architettoniche e spazi, in funzione dei bisogni e della misura dell'uomo;
 6. della capacità di capire l'importanza della professione e delle funzioni dell'architetto nella società, in particolare elaborando progetti che tengano conto dei fattori sociali;
 7. di una conoscenza dei metodi d'indagine e di preparazione del progetto di costruzione;
 8. della conoscenza dei problemi di concezione strutturale, di costruzione e di ingegneria civile connessi con la progettazione degli edifici;
 9. di una conoscenza adeguata dei problemi fisici e delle tecnologie nonché della funzione degli edifici, in modo da renderli internamente confortevoli e proteggerli dai fattori climatici;
 10. di una capacità tecnica che consenta di progettare edifici che rispondano alle esigenze degli utenti, nei limiti imposti dal fattore costo e dai regolamenti in materia di costruzione;
 11. di una conoscenza adeguata delle industrie, organizzazioni, regolamentazioni e procedure necessarie per realizzare progetti di edifici e per l'integrazione dei piani nella pianificazione."
- [6] E. Morin, *La tête bien faite*, Seuil, Paris, 1999; tr. it., *La testa ben fatta. Riforma dell'insegnamento e riforma del pensiero*, Cortina, Milano, 2000.
- [7] R. Raiteri, *Progettare progettisti. Un paradigma della formazione contemporanea*, Quodlibet, Macerata, 2014.
- [8] S. Tagliagambe, *L'albero flessibile. La cultura della progettualità*, Dunod, Milano, 1998.
- [9] M. Bertoldini, A. Campioli, a cura di, *Cultura tecnologica e ambiente*, De Agostini CittàStudi, Novara, 2009.
- [10] G. Bologna, *Manuale della sostenibilità. Idee concetti, nuove discipline capaci di futuro*, Edizioni Ambiente, Milano, 2008.
- [11] S. Latouche, *Limite*, Bollati Boringhieri, Torino, 2012
- [12] L'aggettivo pertinente è utilizzato da Edgar Morin per qualificare una conoscenza capace di cogliere i problemi globali e fondamentali per inscrivere in essi le conoscenze parziali e locali (E. Morin, *Les sept savoirs nécessaires à l'éducation du futur*, Seuil, Paris, 1999; tr. it., *I sette saperi necessari all'educazione del futuro*, Cortina, Milano, 2000).
- [13] V. Gregotti, *Contro la fine dell'architettura*, Einaudi, Torino, 2008, p.14.
- [14] T. Maldonado, *La speranza progettuale*, Einaudi, Torino, 1970, p. 67.

LA VALUTAZIONE DELLA PRESTAZIONE AMBIENTALE

L'esercitazione progettuale condotta all'interno del Laboratorio di Progettazione e Costruzione dell'Architettura ha portato gli studenti a sperimentare l'applicazione del metodo Life Cycle Assessment (LCA) per la valutazione degli impatti ambientali generati nel processo edilizio, in parallelo all'elaborazione dello stadio esecutivo del progetto architettonico.

Metodo di valutazione e modalità di applicazione

Il metodo Life Cycle Assessment è definito nell'ILCD Handbook^[1] come "processo di valutazione degli ingressi, delle uscite e degli impatti ambientali potenziali di un sistema prodotto attraverso il suo ciclo di vita" e consente, attraverso una dettagliata descrizione e quantificazione dei flussi di materia e di energia che entrano ed escono da un processo, di misurare il danno ambientale potenzialmente arrecabile alla biosfera nel momento in cui tale processo abbia luogo. Questo metodo è nato negli anni Sessanta del Novecento per applicazioni in ambito industriale ma nel corso degli ultimi tre decenni è stato notevolmente sviluppato e raffinato e ha trovato sempre più frequente applicazione anche nel settore dei servizi e nel mondo delle costruzioni. L'LCA e le sue modalità applicative sono state definite a livello internazionale dalle norme ISO 14040:2006^[2] e ISO 14044:2006^[3]. Nel corso dell'ultimo decennio è notevolmente cresciuto anche l'interesse per le applicazioni nell'ambito edilizio, come testimoniato dall'incremento delle pubblicazioni scientifiche in merito^[4], dove l'LCA è adottato come strumento scientifico per comparare il comportamento ambientale di soluzioni tecnologiche o di materiali da costruzione alternativi^[5,6], con la finalità di ridurre il consumo di risorse non rinnovabili e di energia e la produzione di emissioni nocive a carico di uno dei settori preponderanti delle attività umane. Si calcola infatti che in Europa circa il 40% dei consumi di energia e delle emissioni di gas serra siano ascrivibili al settore delle costruzioni^[7] ovvero alla costruzione, alla gestione ed alla demolizione di edifici ed infrastrutture. L'importanza di questo metodo per la valutazione del profilo ambientale degli edifici è testimoniata anche dall'elaborazione, a cura del Technical Committee n. 350 "Sustainability of construction works" del Comitato Europeo di Normazione (CEN), di un articolato sistema di norme specifiche per l'edilizia che porteranno, nell'arco di qualche anno, alla diffusione dell'approccio al ciclo di vita per la valutazione della sostenibilità globale delle costruzioni. Se da un lato è vero che il metodo LCA si occupa dei soli aspetti ambientali, dall'altro è sempre più prevalente il concetto di sostenibilità globale che interessa anche gli ambiti economico e sociale. Questo sistema di norme, ancora in fase di completamento, è costituito da alcuni documenti che definiscono il quadro generale (UNI EN 15643-1:2010^[8]), le modalità di applicazione (UNI EN

15643-1:2010^[8]), le modalità di applicazione (UNI EN 15643-2:2011^[9] e UNI EN 15643-3/4:2012^[10,11]) e i metodi di calcolo specifici per ciascuno dei tre pilastri della sostenibilità (UNI EN 15978:2011^[12], prEN 16309:2011^[13] e WI 017^[14]). L'attività di normazione europea ha stimolato un notevole interesse nei confronti dell'impiego del metodo LCA per la valutazione del profilo ambientale degli edifici anche da parte dei metodi multicriteriali a punteggio per la valutazione della sostenibilità in edilizia che, nelle versioni più recenti, hanno introdotto o aspirano ad introdurre l'approccio al ciclo di vita e l'analisi di alcuni indicatori di impatto propri dell'LCA. Il caso più evidente è costituito dal protocollo tedesco DGNB^[15] che per primo ha selezionato la quantificazione degli impatti secondo i 6 indicatori di uso più comune dell'LCA, seguito poi da SBTool^[16], BREEAM^[17], LEED^[18], CasaClima^[19] e Protocollo Itaca^[20]. In linea di principio, il conseguimento di un elevato livello di sostenibilità dell'edificio viene sempre più spesso legato alla selezione di materiali da costruzione dotati di Dichiarazione Ambientale di Prodotto (Environmental Product Declaration - EPD), ovvero l'etichetta ambientale di III Tipo definita dalle norme ISO 14025:2010^[21], riferita ai prodotti in genere, e UNI EN 15804:2012+A1^[22], specifica per il settore edilizio. Questa dichiarazione illustra il profilo ambientale del prodotto in questione, elaborato con metodologia LCA, ovvero rende merito degli impatti ambientali che sono potenzialmente ascrivibili al processo di produzione di ciascuna unità di prodotto, a partire dall'estrazione delle materie prime fino al confezionamento del bene, pronto per la commercializzazione. Sebbene la scelta dei prodotti da costruzione dotati di EPD non garantisca di per sé il raggiungimento di un elevato livello di sostenibilità ambientale dell'edificio, è importante sottolineare il sempre maggiore interesse nei confronti della valutazione scientifica del profilo ambientale di edifici ed infrastrutture.

L'attività didattica proposta nel Laboratorio di Progettazione e Costruzione dell'Architettura trae spunto dal quadro normativo appena descritto e si propone l'obiettivo di avvicinare gli studenti all'uso del metodo LCA, inteso come supporto alla progettazione di edifici sostenibili. Una volta definiti i caratteri generali e l'impianto distributivo dell'edificio, gli studenti sono stati invitati ad approcciare la ricerca e la selezione dei materiali da costruzione assumendo le specifiche informazioni ambientali in parallelo alle informazioni tecnico-prestazionali. La scelta del prodotto da costruzione si arricchisce quindi di un ulteriore parametro da considerare nel momento in cui viene compiuta la scelta progettuale: agli aspetti estetico, funzionale ed energetico si aggiunge la compatibilità ambientale. In questa fase del lavoro, gli studenti hanno potuto verificare i profili ambientali dei materiali, confrontandoli tra loro con

il supporto di EPD e banche dati ambientali, mentre in una fase successiva sono stati chiamati a redigere la valutazione LCA dell'intero edificio. La richiesta è giustificata dal tema di lavoro nell'ambito del modulo di Tecnologia dell'Architettura che prevede l'elaborazione del progetto esecutivo dell'edificio secondo due varianti tecnologiche: una struttura portante in calcestruzzo armato abbinata a chiusure opache realizzate ad umido vs una struttura portante in profili di acciaio abbinata a chiusure opache realizzate a secco con sottostruttura intelaiata in acciaio, alluminio o legno. A conclusione delle attività di progettazione e valutazione, gli studenti hanno quindi avuto l'opportunità di confrontare il profilo ambientale della soluzione costruttiva massiva ad umido con quella leggera a secco. La possibilità di confronto tra alternative diverse si ripropone a tutte le scale edilizie: dai materiali ai prodotti complessi, per passare poi alle soluzioni tecnologiche e alle parti di edificio e giungere infine all'intero manufatto.

L'esercitazione sul tema ambientale ha riguardato quindi la valutazione dei profili ambientali delle due varianti tecnologiche relative all'edificio che ogni gruppo di lavoro ha sviluppato fino al livello del dettaglio esecutivo, facendo riferimento alla fase di produzione delle componenti edilizie e al loro trasporto fino al sito di costruzione. Ogni gruppo è stato chiamato a redigere il computo metrico di entrambe le varianti tecnologiche, basandosi sugli elaborati grafici del progetto esecutivo e suddividendo le componenti in 7 subsistemi edilizi:

- A – Strutture portanti
- B – Chiusure verticali opache
- C – Chiusure verticali trasparenti
- D – Chiusure orizzontali
- E – Partizioni interne verticali
- F – Partizioni interne orizzontali
- G – Elementi accessori (corpi scala indipendenti, serre bioclimatiche...)

L'esigenza di contenere i tempi di elaborazione delle valutazioni e la finalità dell'esercitazione, volta alla comprensione del metodo e delle possibilità applicative piuttosto che alla ricerca di risultati particolarmente dettagliati, ha spinto a compiere alcune semplificazioni nelle modalità di calcolo delle quantità di materiali coinvolte. In merito alle strutture portanti in calcestruzzo armato, dimensionate nel modulo didattico di Tecnica delle Costruzioni, sono stati computati i volumi di calcestruzzo degli elementi di fondazione, di pilastri e setti in elevazione, di travi principali e secondarie, con l'esclusione degli elementi di irrigidimento puntuali; anche le armature sono state computate secondo la sezione normale, ignorando gli infittimenti in corrispondenza dei nodi. Le quantità di materiali contenute nelle chiusure verticali opache, in quelle orizzontali e nelle partizioni interne verticali e orizzontali sono state dedotte quantificando il contenuto del metro quadrato standard di ogni tipologia di parete o solaio e moltiplicando il risultato ottenuto per l'am-

montare delle superfici di ciascuna tipologia, senza considerare ciò che accade nei punti di interferenza tra elementi diversi (nodi solaio-chiusura verticale, copertura-chiusura verticale, solaio-partizione verticale, ecc.). La valutazione non ha interessato i sistemi tecnologici, le reti impiantistiche, le porte interne, i sanitari, gli elementi d'arredo, le sistemazioni delle superfici pertinenziali circostanti l'edificio e l'escavazione del suolo per la realizzazione dei parcheggi interrati. A ciascun materiale selezionato per la costruzione dell'edificio è stato associato il corrispondente valore di energia incorporata e del potenziale di riscaldamento globale, secondo le informazioni riportate nella banca dati "Inventory of Carbon & Energy" (ICE)^[23], Versione 2.0, elaborata da G. Hammond e C. Jones presso l'Università di Bath (UK). Gli studenti sono così giunti a computare il totale dell'energia incorporata e delle emissioni di CO₂ equivalenti dovute alla produzione dei materiali e dei componenti edilizi, in uno scenario "from cradle to gate". La scelta della banca dati di riferimento è caduta su ICE per due motivi: in primo luogo, i dati contenuti in essa sono attinenti al settore dell'edilizia; in secondo luogo, è stato possibile consegnare agli studenti un documento in formato pdf di facile consultazione, gestendo poi il calcolo delle quantità di materiali e della valutazione ambientale attraverso una serie di fogli di calcolo Excel. In questo modo è stato possibile avvicinare gli studenti alla valutazione LCA senza la necessità di dedicare tempo alla conoscenza di nuovi strumenti informatici e potendo applicarsi maggiormente nella ricerca tecnica e nell'applicazione del metodo. L'invito a comporre il proprio progetto esecutivo attraverso la selezione di prodotti realmente reperibili sul mercato ha consentito agli studenti di individuare anche il percorso che ogni elemento compie dallo stabilimento dove ha luogo l'ultima lavorazione al sito di costruzione e quindi di valutare anche gli impatti della fase di trasporto. I dati ambientali relativi ai mezzi di trasporto sono stati assunti dalla banca dati Ecoinvent 2.2^[24]. Dalla valutazione sono invece state escluse le operazioni di cantiere. Agli studenti è stato infine richiesto un ultimo calcolo di confronto ed alcune riflessioni finali: i risultati della valutazione del profilo ambientale delle due varianti tecnologiche, massiva ad umido e leggera a secco, è stato confrontato con il consumo energetico unitario durante la fase d'uso in modo tale da comprendere il rapporto esistente tra la richiesta di energia da fonte fossile per la costruzione del manufatto e il fabbisogno energetico per abitarlo. Dal punto di vista metodologico, quest'ultima verifica è stata svolta convertendo i valori complessivi di energia incorporata, espressi in MJ, in valori medi per unità di superficie utile, rapportati ad uno scenario di vita utile pari a 30 anni ed espressi in kWh/m²a. Questa durata di riferimento è stata scelta poiché si ritiene che in questo arco temporale l'edificio possa assolvere pienamente alla sua funzione senza la necessità di interventi di manutenzione straordinaria e di sostituzione di componenti, i cui

Progetti	Energia Incorporata su 30 anni di vita utile (Kwh/m ² a)	Incidenza percentuale dei sottosistemi edilizi sull'energia incorporata						
		Strutture portanti	Chiusure verticali opache	Chiusure verticali trasparenti	Chiusure orizzontali	Partizioni interne verticali	Partizioni interne orizzontali	Elementi accessori
TRESSSE	46	43%	28%	3%	9%	9%	8%	0%
GREEN LINK CITY	57	60%	7%	10%	3%	7%	13%	0%
LIVE THE LINE	57	49%	6%	2%	9%	5%	27%	1%
URBANSNAKE	67	74%	5%	6%	9%	3%	4%	0%
MODELLATO DAL SOLE	41	48%	17%	4%	4%	3%	12%	13%
VIVIMIX	37	44%	11%	5%	6%	7%	11%	16%
MOV.e	25	65%	13%	2%	5%	9%	6%	0%
LIVING.THE PUBLIC SPACE	33	66%	14%	1%	6%	8%	4%	1%
LIVING TOGETHER	55	56%	7%	2%	9%	6%	14%	6%
ABITARE VERDE. ABITARE FLESSIBILE	74	59%	20%	3%	4%	6%	7%	1%
WINDING CONNECTIONS	52	57%	6%	8%	10%	9%	7%	1%
LIVING THE GREEN TERRACES	35	69%	7%	2%	9%	0%	13%	0%
PRET A PORTER	66	39%	30%	9%	2%	9%	11%	0%
MIDDLE GROUND FLOOR	38	46%	17%	2%	21%	4%	9%	0%
ORGANICCONNECTIONS	60	40%	11%	6%	14%	3%	25%	2%
ABITA_MI	33	38%	18%	5%	12%	9%	14%	4%
SOCIAL LAYERS	32	63%	11%	1%	7%	9%	10%	0%
MODULA IL TUO ABITARE	29	56%	14%	5%	16%	3%	6%	0%
CONTACT THINK	30	76%	5%	1%	3%	1%	8%	5%
Valori medi	46	55%	13%	4%	8%	6%	11%	3%

Tabella 1: sintesi dei dati relativi ai progetti nella loro soluzione massiva.

Progetti	Energia Incorporata su 30 anni di vita utile (Kwh/m ² a)	Incidenza percentuale delle categorie sull'energia incorporata						
		Strutture portanti	Chiusure verticali opache	Chiusure verticali trasparenti	Chiusure orizzontali	Partizioni interne verticali	Partizioni interne orizzontali	Elementi accessori
TRESSSE	42	46%	16%	4%	11%	9%	14%	0%
GREEN LINK CITY	55	41%	14%	13%	7%	11%	14%	0%
LIVE THE LINE	74	45%	15%	2%	8%	10%	19%	0%
URBANSNAKE	83	63%	16%	5%	7%	6%	3%	0%
MODELLATO DAL SOLE	57	54%	20%	2%	4%	4%	10%	6%
VIVIMIX	38	27%	16%	5%	10%	13%	10%	18%
MOV.e	31	67%	11%	4%	5%	5%	8%	0%
LIVING.THE PUBLIC SPACE	45	62%	10%	2%	13%	7%	5%	1%
LIVING TOGETHER	72	33%	6%	6%	15%	3%	30%	8%
ABITARE VERDE. ABITARE FLESSIBILE	59	40%	22%	3%	9%	13%	11%	2%
WINDING CONNECTIONS	72	68%	5%	5%	9%	9%	4%	1%
LIVING THE GREEN TERRACES	31	57%	15%	2%	5%	1%	20%	0%
PRET A PORTER	88	46%	22%	7%	3%	6%	17%	0%
MIDDLE GROUND FLOOR	34	45%	12%	4%	21%	6%	14%	0%
ORGANICCONNECTIONS	56	42%	11%	6%	11%	3%	25%	2%
ABITA_MI	37	46%	8%	7%	11%	5%	10%	11%
SOCIAL LAYERS	38	51%	15%	1%	5%	21%	6%	0%
MODULA IL TUO ABITARE	32	49%	19%	4%	14%	4%	10%	0%
CONTACT THINK	34	51%	17%	1%	6%	2%	17%	6%
Valori medi	51	49%	14%	4%	9%	7%	13%	3%

Tabella 2: sintesi dei dati relativi ai progetti nella loro soluzione leggera.

consumi energetici (smaltimento dei componenti obsoleti e produzione dei nuovi) dovrebbero essere inclusi nella valutazione del profilo ambientale su uno scenario di vita utile più lungo. I valori del fabbisogno energetico in uso utili al confronto sono stati assunti prendendo in considerazione la richiesta energetica teorica per il riscaldamento invernale di un edificio medio collocato in Classe A (20 kWh/m²a) e di un edificio medio collocato in Classe B (40 kWh/m²a), secondo la classificazione della Regione Lombardia.

Risultati conseguiti

All'esercitazione hanno preso parte 19 gruppi di studenti, ciascuno dei quali ha elaborato il progetto di un edificio secondo due varianti tecnologiche. Gli studenti hanno svolto la valutazione ambientale secondo le medesime modalità quindi si ritiene che i risultati conseguiti siano in linea di principio confrontabili. Certamente ogni gruppo di lavoro ha approcciato all'esercitazione con una personale sensibilità

e accuratezza che potrebbe essersi tradotta in livelli diversi di precisione nel computo delle quantità dei materiali necessari alla costruzione degli edifici. Si ritiene però che questo aspetto non infici la possibilità di confrontare i risultati finali conseguiti, poiché nei 19 lavori presentati l'esercitazione è stata svolta con cura e giudicata positivamente dalla docenza. In merito ai risultati conseguiti si evidenzia che il valore medio di energia incorporata, calcolato sullo scenario di 30 anni, delle soluzioni massive si attesta a 46 kWh/m²a mentre nelle soluzioni leggere sale a 51 kWh/m²a [Vedi Tabella 1 e Tabella 2]. In entrambi i casi si nota che alcuni edifici presentano uno scostamento sensibile rispetto alla media, sia in senso positivo che in senso negativo. In merito alla soluzione massiva, si registra un picco minimo di 25-30 kWh/m²a su 3 soluzioni e un picco massimo di 66-74 kWh/m²a su 3 soluzioni; in merito alla soluzione leggera i valori massimi crescono fino a 74-88 kWh/m²a in 3 progetti.

Ad un valore complessivo che supera la media corrispondono sempre valori di energia incorporata superiori alla media nelle categorie delle strutture portanti, delle chiusure verticali opache oppure delle chiusure verticali trasparenti, dovuti alla scelta di sistemi tecnologici complessi o al ricorso a notevoli quantità di materiali caratterizzati da un valore elevato di energia incorporata. Analizzando i risultati parziali relativi ai subsistemi edilizi, si nota che l'incidenza della componente strutturale si attesta in media al 55% in presenza di calcestruzzo armato e al 49% se si ricorre all'acciaio, poiché nel primo caso le quantità di materiali impiegate sono sensibilmente superiori in termini di volumi e pesi. La differenza registrata tra le due tipologie strutturali viene ridistribuita sui subsistemi delle chiusure verticali opache, delle partizioni verticali e delle partizioni orizzontali dove le soluzioni leggere hanno una maggiore incidenza giustificata dalla maggiore complessità dei sistemi costruttivi a secco. Essi sono infatti realizzati impiegando pannelli rigidi ad elevata densità (solitamente in gessofibra, cartongesso o OSB) alternati a lastre isolanti in fibra (solitamente lana di roccia, fibre di vetro, legno o canapa) e sostenuti da una sottostruttura a montanti e traversi realizzata in acciaio o in legno. Nelle chiusure verticali opache leggere sono generalmente inseriti anche teli sintetici o fogli di alluminio con funzione di barriera al vapore.

Si sottolinea che in tutti i subsistemi, ad eccezione delle strutture portanti, le alternative costruttive disponibili sul mercato sono decisamente numerose e l'adozione di una soluzione piuttosto che un'altra può comportare sensibili variazioni nel profilo ambientale, pur garantendo la medesima funzionalità e la medesima prestazione in termini energetici e di confort. Nel caso delle chiusure verticali opache della soluzione massiva, l'impiego dei blocchi in calcestruzzo aerato autoclavato consente mediamente di dimezzare il contenuto di energia da fonte fossile rispetto alle soluzioni che ricorrono al laterizio o ai blocchi in calcestruzzo tradizionale. In rapporto all'energia totale necessaria per la produzione dei materiali da costruzione, questo subsistema incide per l'8% nei casi che impiegano i blocchi in calcestruzzo aerato autoclavato e per il 16% negli altri casi. In merito alla soluzione leggera, le chiusure che prevedono sottostrutture in legno e isolamento in fiocchi di cellulosa hanno valori compresi tra 1/4 e 1/2 delle chiusure che ricorrono alle sottostrutture in acciaio, indipendentemente dall'isolante abbinato. In rapporto all'energia totale dell'edificio, questo subsistema incide per il 5-8% nel primo caso e per il 15-20% nel secondo. Nel subsistema delle chiusure verticali trasparenti, le soluzioni con serramenti in legno hanno mediamente 1/3 dell'energia incorporata nelle alternative con telai in alluminio e circa la metà delle soluzioni con telaio in PVC. Non è invece possibile instaurare alcun collegamento tra i materiali impiegati per le strutture orizzontali e i relativi impatti ambientali, poiché la scelta di un solaio con lamiera

grecata e getto collaborante piuttosto che con lamiera grecata e pannelli di OSB con isolante granulare secco giocano un ruolo decisamente marginale nella definizione del profilo ambientale del solaio, rispetto alle caratteristiche geometriche dello stesso. Le quantità di materiale dipendono principalmente dall'ampiezza dalle luci che devono essere coperte e dal tipo di orditura scelta, con sole travi principali o con travi principali e secondarie incrociate, e dal passo degli elementi che influenza la loro altezza. In merito ai risultati si comprende come in taluni casi l'esito dalla valutazione ambientale sia fortemente influenzato dalle scelte progettuali che riguardano la conformazione geometrica degli edifici, prima ancora che i materiali impiegati. L'analisi comparata appena presentata è stata possibile poiché gli edifici sono stati tutti progettati all'interno di uno stesso corso didattico dove tutti gli studenti hanno ricevuto i medesimi input e tutti gli edifici hanno lo stesso volume e la stessa destinazione funzionale. Molto più complicato sarebbe cercare di confrontare edifici realizzati in contesti molto diversi e valutati da operatori diversi che possono compiere assunzioni differenti.

Obiettivi formativi conseguiti

I più importanti obiettivi formativi conseguiti dall'esercitazione condotta sono costituiti dalla presa di coscienza da parte degli studenti, da un lato, dell'attenzione e della precisione necessaria nella compilazione dell'inventario dei materiali e nella redazione della valutazione ambientale vera e propria e, dall'altro, della relazione che si instaura tra le scelte progettuali, in termini compositivi e costruttivi, ed il profilo ambientale dell'edificio. In merito al primo aspetto, gli studenti hanno potuto sperimentare la ricerca di informazioni tecniche sui componenti edilizi, indagando contemporaneamente caratteristiche costruttive, materiche, funzionali e prestazioni termiche ed ambientali. In particolare hanno compreso come alle spalle di un nome commerciale sia necessario individuare il materiale contenuto, su cui basare la scelta della corretta voce di banca dati, e la quantità necessaria a soddisfare la prestazione richiesta, su cui impostare il calcolo dell'impatto ambientale. L'organizzazione della valutazione secondo la suddivisione in subsistemi edilizi e in parti dell'edificio consente agli studenti di comprendere l'incidenza delle singole parti e di correlare gli esiti della valutazione alle scelte progettuali effettuate. Alcuni esempi nei quali le caratteristiche costruttive incrementano il profilo ambientale dell'edificio possono essere: l'estensione eccessiva degli spazi interrati e una loro forma irregolare con strutture verticali non coincidenti con il passo delle strutture in elevazione della soprastante porzione residenziale; l'uso di strutture orizzontali in acciaio a doppia orditura dove la dimensione e il passo delle travi secondarie non sia ottimizzato rispetto ai carichi incidenti; l'elevata ampiezza delle superfici trasparenti associata all'impiego di telai in alluminio e vetr-camera a tripla lastra; il

ricorso asottostrutture per partizioni, controsoffitti e facciate ventilate realizzate in alluminio. In ultima analisi è stato chiesto agli studenti di normalizzare il valore totale di energia incorporata al metro quadrato di superficie utile e all'anno, su uno scenario temporale di 30 anni, in modo tale da rendere confrontabile la quantità di energia spesa per la costruzione con la quantità di energia necessaria al riscaldamento dell'edificio. Le due varianti tecnologiche di ogni progetto sono state confrontate per comprendere quale delle due soluzioni presenta il profilo ambientale migliore. In ben 12 situazioni la costruzione della soluzione leggera con struttura in acciaio genera maggiori impatti rispetto alla soluzione tradizionale ad umido e in un solo caso le due varianti sono equivalenti [Vedi Tabella 3]. Se la prestazione energetica raggiunge la Classe A, gli impatti dovuti alla costruzione costituiscono in media il 70% degli impatti annuali degli edifici leggeri, con un picco fino a 81%; le percentuali scendono invece di due punti nel caso degli edifici massivi. Quando la prestazione energetica scende al livello della Classe B, la componente di energia incorporata, legata alla costruzione, si riduce mediamente al 52-55% del totale. Da questa analisi, si può presupporre che oltre 2/3 dell'energia consumata dagli edifici che saranno realizzati nel prossimo futuro con le tecnologie edilizie attualmente disponibili e puntando su un livello di prestazione energetica operativa elevato dipenderà dalla fase di costruzione e costituirà un "fardello" ingente già all'inizio della vita utile dell'edificio. Di conseguenza, l'ultimo obiettivo didattico perseguito è stato quello di portare gli studenti a riflettere sul fatto che le scelte progettuali condotte in un arco temporale molto limitato comportano implicazioni che perdurano molto a lungo nel tempo e di cui è necessario prendere coscienza. Se negli ultimi decenni è stato di fondamentale importanza adoperarsi per la riduzione costante e drastica dei consumi energetici in fase operativa, la

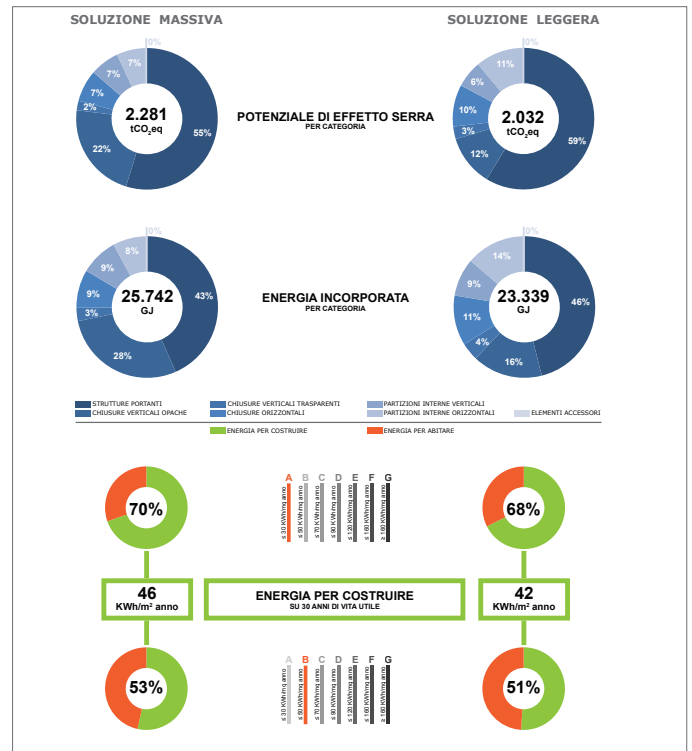


Tabella 4: esempio di scheda dati allegata ai progetti presentati.

sfida dei prossimi decenni riguarderà il contenimento degli impatti ambientali legati alla costruzione degli edifici. Tale obiettivo potrà essere perseguito sia attraverso la riduzione del peso ambientale di materiali e prodotti sia attraverso il prolungamento della vita utile delle componenti edilizie, in modo tale da poter ripartire il "fardello" iniziale su un periodo temporale molto ampio e il più vicino possibile alla durata complessiva della vita del manufatto, minimizzando così gli interventi di manutenzione.

Presentazione dei risultati

I risultati delle valutazioni ambientali sono presentati di seguito agli elaborati di ogni progetto attraverso grafici a corona. Alla valutazione LCA di ogni edificio è dedicata una pagina, suddivisa in due sezioni. Nella parte superiore sono presenti 4 grafici che illustrano il peso percentuale di ciascuno dei 7 sottosistemi in cui è scomposto ogni edificio, in merito al contenuto di energia incorporata e al potenziale di effetto serra, tanto per la soluzione massiva quanto per quella leggera. All'interno di ogni corona sono esposti anche i valori assoluti di consumo energetico, in GJ, e di emissioni climalteranti, in t di CO₂ equivalenti, per entrambe le varianti. La porzione sottostante della pagina illustra il rapporto tra la quantità di energia spesa per la costruzione degli edifici e la quantità di energia necessaria al loro funzionamento. Il primo valore è espresso in kWh/m²a in riferimento alla superficie utile realizzata e a una vita utile di 30 anni mentre il secondo valore è in rapporto percentuale rispetto al primo. Anche in questo caso i grafici sono 4 per rendere merito delle due varianti tecnologiche, massiva e leggera, e dei due livelli di performance energetica, Classe A e Classe B.

Progetti	Classe A		Classe B		Soluzione con il maggiore impatto
	Soluzione massiva	Soluzione leggera	Soluzione massiva	Soluzione leggera	
TRESSSE	70%	68%	53%	51%	Massiva
GREEN LINK CITY	74%	73%	59%	58%	Massiva
LIVE THE LINE	74%	79%	59%	65%	Leggera
URBANSNAKE	77%	81%	62%	71%	Leggera
MODELLATO DAL SOLE	67%	74%	50%	59%	Leggera
VIVIMIX	65%	65%	48%	48%	-
MOV.e	56%	61%	38%	44%	Leggera
LIVING.THE PUBLIC SPACE	62%	69%	45%	53%	Leggera
LIVING TOGETHER	73%	78%	58%	64%	Leggera
ABITARE VERDE. ABITARE FLESSIBILE	79%	75%	65%	59%	Massiva
WINDING CONNECTIONS	72%	78%	57%	64%	Leggera
LIVING THE GREEN TERRACES	63%	60%	46%	42%	Massiva
PRET A PORTER	77%	81%	62%	69%	Leggera
MIDDLE GROUND FLOOR	66%	63%	49%	46%	Massiva
ORGANCONNECTIONS	75%	74%	60%	59%	Massiva
ABITA_MI	62%	65%	45%	48%	Leggera
SOCIAL LAYERS	62%	66%	44%	49%	Leggera
MODULA IL TUO ABITARE	59%	61%	42%	44%	Leggera
CONTACT THINK	60%	63%	43%	46%	Leggera
Valori medi	68%	70%	52%	55%	Leggera

Tabella 3: confronto tra le percentuali di energie per costruire su energia per abitare in funzione delle classi energetiche ipotizzate e delle declinazioni tecnologiche utilizzate.

Note

- [1] European Union/Joint Research Centre (2010), ILCD Handbook. Questo documento è stato sviluppato dall'Institute for Environment and Sustainability in the European Commission Joint Research Centre per promuovere i consumi sostenibili. Esso consiste in una serie di documenti elaborati in linea con le ISO 14040 e ISO 14044 e finalizzato a guidare l'elaborazione di valutazioni LCA.
- [2] ISO 14040:2006, *Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*
- [3] ISO 14044:2006, *Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines*
- [4] I. Sartori, A.G. Hestnes (2007). *Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article*. Energy and Buildings 39, pag. 249-257.
- [5] S. Citherlet and T. Defaux (2007). *Energy and environmental comparison of three variants of a family house during its whole life span*. Building and Environment 42, pag. 591-598.
- [6] B. Peuportier, S. Thiers and A. Guiavarch (2013). *Eco-design of buildings using thermal simulation and life cycle assessment*. Journal of Cleaner Production 39, pag. 73-78.
- [7] Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010, *On the energy performance of buildings*
- [8] UNI EN 15643-1:2010, *Sustainability of construction works - Sustainability assessment of buildings - Part 1: General framework*
- [9] UNI EN 15643-2:2011, *Sustainability of construction works - Assessment of buildings - Part 2: Framework for the assessment of environmental performance*
- [10] UNI EN 15643-3:2012, *Sustainability of construction works - Assessment of buildings - Part 3: Framework for the assessment of social performance*
- [11] UNI EN 15643-4:2012, *Sustainability of construction works - Assessment of buildings - Part 4: Framework for the assessment of economic performance*
- [12] UNI EN 15978:2011, *Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method*
- [13] prEN 16309:2011, *Sustainability of construction works - Assessment of social performance of buildings - Calculation method*
- [14] WI 017, *Sustainability of construction works - Assessment of economic performance of buildings - Calculation method*
- [15] DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) (2012), *DGNB System (Gütesiegel für Deutsche Nachhaltiges Bauen)*
- [16] iiSBE (International Initiative for a Sustainable Built Environment) (2011), *SBTool (Sustainable Building Tool)*
- [17] Building Research Establishment (BRE) (2011), *BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) - New Construction 2011*
- [18] GBC Italia (Green Building Council Italia) (2009), *LEED Italia 2009 - Nuove Costruzioni e Ristrutturazioni*
- [19] Agenzia per l'Energia Alto Adige (2013), *CasaClima - KlimaHaus*
- [20] ITACA (Istituto per l'Innovazione e la Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale) (2011), *Protocollo Itaca - Nuove costruzioni 2011*
- [21] ISO 14025:2010, *Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures*
- [22] UNI EN 15804:2012+A1, *Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products*
- [23] G. Hammond e C. Jones (2011), *Inventory of Carbon & Energy (ICE) - Version 2.0, University of Bath (UK)*
- [24] Swiss Centre for Life Cycle Inventory, *Ecoinvent* - <http://www.ecoinvent.org>