



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI GENOVA

Scuola Politecnica
Dipartimento Architettura e Design
Corso di Laurea Magistrale in Architettura LM4

FARE BIOEDILIZIA OGGI

un percorso verso l'innovazione

Candidato:
Martina della Gatta

Relatore:
Chiar.mo Prof. Arch. Adriano Magliocco

Correlatore:
Dott.ssa Arch. Maria Canepa

Luglio 2020



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA

Scuola Politecnica

Dipartimento Architettura e Design

Corso di Laurea Magistrale in Architettura LM4

Luglio 2020

FARE BIOEDILIZIA OGGI
un percorso verso l'innovazione

Candidata:
Martina della Gatta

Relatore:
Chiar.mo Prof. Arch. Adriano Magliocco

Correlatore:
Dott.ssa Arch. Maria Canepa

ABSTRACT

La presente tesi dal titolo “FARE BIOEDILIZIA OGGI un percorso verso l’innovazione”, riconoscendo un imprescindibile valore alla bioedilizia, all’economia circolare, ai Criteri Ambientali Minimi e al Building Information Modeling, in merito ai temi della sostenibilità ambientale e dell’innovazione nel settore dell’edilizia, si propone attraverso una ricerca mirata di evidenziarne connessioni e potenzialità.

A partire dalla presa di coscienza dell’urgente sfida globale che stiamo vivendo e dalla necessità di cambiare rotta per un futuro più sostenibile a ridotto impatto ambientale, occorre, per poter rispondere a tale sfida, fare scelte consapevoli che conducendo verso la bioedilizia, potenziano e accelerano il cambiamento.

In questo contesto la scarsità globale di risorse naturali, l’emergenza climatica, la necessità di misure innovative hanno evidenziato il ruolo cardine dell’economia circolare, spostando l’attenzione verso l’intero ciclo di vita che si esplica chiaramente all’interno delle politiche in merito ai Criteri Ambientali Minimi, al Building Information Modeling e ad una più attenta scelta dei materiali nei progetti bioedili.

Così, la transizione verde e digitale si è fatta sempre più preponderante, come la necessità di un’innovazione tecnologica orientata alla sostenibilità, che trova risposta nelle politiche Europee del Green New Deal.

Come riconosciuto dalla stessa Commissione Europea, il percorso verso l’innovazione vede centrale il ruolo degli appalti pubblici che guidati dalla Pubblica Amministrazione, devono, da un lato orientare il mercato verso prodotti più sostenibili (CAM) e dall’altro diffondere progressivamente l’utilizzo degli strumenti digitali per l’edilizia (BIM) riconoscendo in essi potenzialità legate all’ottimizzazione, alla gestione e alla verifica dei processi edilizi.

Proprio in relazione al processo di verifica, effettuato tramite strumenti digitali, la tesi propone un caso studio che ha evidenziato chiaramente quelle che sono le condizioni proprie del periodo di transizione che stiamo vivendo.

Il titolo “fare bioedilizia oggi un percorso verso l’innovazione”, si compone dunque di parole che aiutano a rileggere e focalizzare nell’insieme i temi proposti dalla tesi come aspetti fondamentali verso cui rivolgere il nostro interesse e orientare le nostre volontà. Occorre *fare*, per essere soggetti attivi di azioni virtuose; nel segno della responsabilità serve guardare alla *bioedilizia* secondo un approccio integrato di tutti gli attori; è necessario, *oggi* più che mai, analizzare il presente nelle sue molteplici realtà e connessioni per avere chiaro lo stato dell’arte di processi tanto importanti che necessitano di essere compresi e adeguatamente sostenuti; bisogna saper vivere il *percorso verso* qualcosa di determinato, come un cammino nel quale dover superare difficoltà e periodi di transizione, per poter progettare e realizzare il futuro che ci chiede *innovazione*.

INDICE

00. INTRODUZIONE	9
01. I CAM: Criteri Ambientali Minimi	
1.1_Inquadramento generale con riferimento al contesto politico normativo.....	13
1.2_Struttura di base e procedura di definizione dei CAM.....	15
1.3_I CAM edilizia e lo stretto rapporto con la bioedilizia.....	19
02. BIOEDILIZIA	
2.1_L'origine del termine e l'evoluzione storica del progetto ecologico.....	25
2.2_L'approccio bioedile alla scelta dei materiali.....	31
2.3_Il legame con l'economia circolare.....	39
03. ECONOMIA CIRCOLARE	
3.1_Economia circolare: che cos'è e come nasce?.....	43
3.2_Gli obiettivi e le iniziative europee.....	49
3.3_Edilizia, CAM e digitalizzazione del settore come strumenti di attuazione dell'economia circolare.....	51
04. BIM: Building Information Modeling	
4.1_Introduzione alla metodologia BIM.....	61
4.2_Uno "strumento" funzionale per la bioedilizia.....	65
4.3_La sua applicazione a vantaggio della verifica dei CAM.....	67
05. CONSIDERAZIONI SULL'APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO	
5.1_Il software TERMOLOG e il Modulo CAM.....	73
5.2_Il caso studio.....	75
5.3_Applicazione e considerazioni.....	77
CONCLUSIONI	85
APPROFONDIMENTI	87
Bibliografia	100
Sitografia e Documenti	101

00.

INTRODUZIONE

Da diversi anni ormai, il settore delle costruzioni si confronta con il tema della sostenibilità ambientale e dell'innovazione digitale, spinto dalle politiche dell'Unione Europea che, attraverso la promozione di piani d'azione, di percorsi normativi e di iniziative, cerca di promuovere e garantire in ogni settore una crescita sostenibile in termini economici ed ambientali. In quest'ottica innegabile è l'importanza del lavoro svolto dalle Pubbliche Amministrazioni, che nel recepire le politiche europee, introducono nel territorio nazionale, strumenti normativi e meccanismi di mercato che hanno l'obiettivo di incentivare e promuovere scelte sostenibili.

In questo contesto si collocano le 4 macro tematiche affrontate all'interno della tesi: Criteri Ambientali Minimi (CAM), bioedilizia, economia circolare e BIM (Building Information Modeling).

Tematiche che la tesi analizza con l'obiettivo di evidenziarne potenzialità e connessioni, in particolar modo, mettendo al centro dell'attenzione l'importanza della scelta dei materiali nel progetto, del ciclo di vita, delle potenzialità offerte dagli strumenti BIM e dall'applicazione dei Criteri Ambientali Minimi con l'obiettivo comune di attivare processi di innovazione [1], di gestione e ottimizzazione del consumo delle risorse, riducendo gli impatti ambientali e la spesa pubblica.

Sulla base di un progetto di bioedilizia, sviluppato all'interno del Laboratorio di Progetto, Tecnologia e Ambiente nell'anno 2018/2019 che riassume i principi della bioedilizia e dell'economia circolare, e sfrutta la tecnologia proposta da NovelloCase, azienda che offre i modelli BIM delle sue principali soluzioni tecnologiche, e considerando che il software TERMOLOG, sfruttando le potenzialità della metodologia BIM, consente di verificare alcuni dei Criteri Ambientali Minimi, è nata l'idea di applicare lo strumento TERMOLOG al progetto, definendo un caso studio.

Da tale applicazione sono emerse considerazioni e riflessioni utili a definire lo stato dell'arte del percorso innovativo in atto.

La tesi si articola in cinque capitoli, ciascuno composto da tre paragrafi ed una sezione conclusiva dedicata ad approfondire termini e concetti richiamati all'interno della tesi. Ogni capitolo viene sviluppato a partire da un inquadramento generale, per poi approfondire particolari aspetti, secondo gli obiettivi della tesi evidenziando per ultimo, le connessioni che intercorrono tra le diverse tematiche.

Nel primo capitolo viene affrontato il tema dei Criteri Ambientali Minimi.

Dopo aver delineato, con una breve spiegazione il percorso normativo che, attraverso le tappe di recepimento delle direttive europee, ha portato alla definizione dei CAM, se ne indica la procedura di definizione e la struttura di base. Con particolare riferimento

ai CAM edilizia e alle relative prescrizioni, si evidenziano i legami che intercorrono tra questi e la bioedilizia.

Nel secondo capitolo viene trattato il tema della bioedilizia.

Inquadrata l'origine del termine e l'evoluzione storica del progetto ecologico, vengono evidenziati i principi che stanno alla base della scelta dei materiali bioedili e sottolineati gli specifici criteri ambientali ad essi collegati. Il capitolo si chiude mostrando il particolare legame che sussiste tra la bioedilizia, con particolare riferimento alla scelta dei materiali, e l'economia circolare.

Nel terzo capitolo viene delineato il tema dell'economia circolare.

Spiegata che cos'è l'economia circolare, in contrapposizione al modello economico lineare, precisato il contesto e le problematiche ambientali che ne portano alla definizione, viene richiamata l'attenzione sulla Ellen MacArthur Foundation e suoi 5 criteri fondamentali che sintetizzano i principi di questo nuovo modello economico. Nel capitolo si affrontano poi gli obiettivi di sostenibilità ambientale su cui si fonda l'economia circolare e si evidenziano quelle che sono le iniziative europee a promozione di interventi volti a sostenere lo sviluppo dell'economia circolare. All'interno del paragrafo viene poi mostrato il suo valore attuale di impiego rispetto al valore di impiego dell'economia complessiva, attraverso il "The Circularity Gap Report 2020" che evidenzia inoltre il peso rilevante della edilizia nel perseguire gli obiettivi dell'economia circolare. Si enunciano poi le iniziative promosse dall'Unione Europea relative al settore dell'edilizia per incentivare l'economia circolare, i criteri ambientali minimi attenti alla circolarità e l'importante ruolo di traino che, come riconosciuto dalle politiche nazionali ed europee, svolge la digitalizzazione ed in particolar modo il BIM, all'interno del processo di transizione.

Il quarto capitolo affronta la tematica del Building Information Modeling.

Dopo aver spiegato che cos'è la metodologia BIM e come opera dal punto di vista tecnico, enunciando vantaggi e potenzialità, si sottolinea in che modo sia uno strumento funzionale per raggiungere gli obiettivi della bioedilizia e perché possa essere sfruttato a vantaggio della verifica dei CAM.

Il quinto capitolo è dedicato all'applicazione di un caso studio.

Dopo aver spiegato le logiche secondo cui la software house "Logical Soft" ha ideato il modulo di verifica dei Criteri Ambientali Minimi, all'interno del software TERMOLOG ed enunciato di quali CAM è permessa la verifica, si è proceduto alla descrizione delle caratteristiche dei materiali del progetto di bioedilizia preso in oggetto. Infine l'illustrazione delle fasi compiute per effettuare una verifica sulla *Disassemblabilità* e la *Materia recuperata o riciclata* utilizzando il software Termolog è stata affiancata da considerazioni suggerite dai risultati emersi.

01.

I CAM: Criteri Ambientali Minimi

- 1.1_ Inquadramento generale con riferimento al contesto politico normativo
- 1.2_ Struttura di base e procedura di definizione dei CAM
- 1.3_ I CAM edilizia e lo stretto rapporto con la bioedilizia

1. 1 Inquadramento generale

con riferimento al contesto politico normativo

Il Green Public Procurement

L'integrazione del tema ambientale nelle procedure di acquisto, di beni o servizi, della Pubblica Amministrazione, ha portato alla definizione dei così detti "Appalti Pubblici Verdi" o GPP (Green Public Procurement), uno strumento volontario di politica ambientale che è stato promosso dall'Unione Europea fin dalla fine degli anni '90 con «Il Libro Verde: "Gli appalti pubblici dell'Unione Europea. Spunti di riflessione per il futuro"»¹ e che ha tra gli obiettivi quello di sostenere e indirizzare il mercato verso servizi e prodotti ecologici [2], che hanno cioè "un minore, ovvero un ridotto, effetto sulla salute umana e sull'ambiente rispetto ad altri prodotti e servizi utilizzati allo stesso scopo".

Come dimostrato infatti dalle stime della Commissione Europea, il "mercato" degli appalti pubblici continua a presentare notevoli dimensioni rispetto all'intero sistema economico dei paesi europei, con un valore registrato nell'anno 2017 del 13.3 % del PIL² per l'acquisto di beni, servizi e lavori. Sfruttando dunque la forza del mercato pubblico è possibile contribuire agli sforzi dell'UE per diventare un'economia più efficiente sotto il profilo delle risorse, stimolando una domanda di beni e servizi più sostenibili [3] altrimenti difficili da immettere sul mercato.

Per questo motivo il GPP diventa un forte stimolo per l'eco-innovazione³ e, riconosciuto il suo ruolo strategico nelle politiche di sostenibilità ambientale, sociale ed economica, già dal 2003 viene individuato dalla Commissione Europea come uno strumento cardine della Politica Integrata dei Prodotti ed è nell'ambito della relativa Comunicazione COM 2003/203 che vengono invitati tutti gli stati membri ad adottare dei Piani d'azione nazionale sul GPP, per assicurarne la massima diffusione.⁴

Il Piano di Azione Nazionale per gli "Acquisti Verdi" PAN GPP

In Italia, l'introduzione del GPP è avvenuta nel 2008 con l'avvio di un "Piano d'Azione per la sostenibilità dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione (PAN GPP)", aggiornato con D.M. del 10 aprile 2013. All'interno del Piano d'Azione Nazionale per gli Acquisti Pubblici Verdi, sono state identificate 11 "categorie merceologiche" prioritarie, selezionate tenendo conto degli impatti ambientali e dei volumi di spesa pubblica coinvolti negli acquisti della Pubblica Amministrazione. Tali categorie sono necessarie per la definizione di specifici *requisiti ambientali, definiti per le varie fasi del processo di acquisto*, che prendono il nome di Criteri Ambientali Minimi (CAM), i quali vengono emanati con appositi Decreti dal Ministero della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) e forniscono indicazioni necessarie per *individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale* lungo l'intero ciclo di vita di tale prodotto o servizio.

¹ «Contesto normativo e legislazione | Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare», consultato 11 giugno 2020, <https://www.minambiente.it/pagina/contesto-normativo-e-legislazione>.

² «Public Procurement Indicators 2017 - DocsRoom - European Commission», consultato 12 giugno 2020, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/38003>.

³ «Appalti pubblici verdi - Ambiente - Commissione europea», consultato 12 giugno 2020, https://ec.europa.eu/environment/gpp/index_en.htm.

⁴ «Contesto normativo e legislazione | Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare».

La loro applicazione negli appalti pubblici, per le forniture e negli affidamenti di servizi, è stata assicurata prima con l'art. 18 della L.221/2015 e poi con l'art. 34 del D.lgs. 50/2016 "Codice degli Appalti" (in attuazione delle direttive europee 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE), modificato con l'art. 23 del D.lgs. 56/2017, che ha esteso l'obbligo a tutte le stazioni appalti rientranti nelle categorie individuate dal PAN GPP, a prescindere dal valore dell'importo delle gare d'appalto, di inserire nella documentazione progettuale di gara le specifiche tecniche e le clausole contrattuali individuate nei CAM approvati.

Tale obbligatorietà, oltre a qualificare direttamente i suddetti appalti come appalti verdi, ne evidenzia l'importanza riconosciuta dall'Italia, che diventa il primo paese europeo ad imporre l'applicazione obbligatoria.

Il Nuovo Codice degli Appalti

1.2 _ Struttura di base e procedura di definizione dei CAM

Procedura di definizione dei CAM

Come specificato all'interno del PAN GPP la procedura di definizione dei Criteri Ambientali Minimi, viene affidata al Comitato di Gestione del GPP, la cui composizione è stata "stabilita dal D.M. 247 del 21 settembre 2016 e vede, al suo interno, rappresentanti dei tre Ministeri di riferimento (Ministero dell'Ambiente, dello Sviluppo Economico e dell'Economia e delle Finanze), dell'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), della CONSIP, dell'ENEA, da esperti di alcune ARPA e da due rappresentanze delle Regioni"⁵. Il Comitato, per rispondere a questo compito, si avvale di gruppi di lavoro tecnici, di rappresentanti ed esperti della Pubblica Amministrazione, di organismi di ricerca, università e di referenti delle associazioni di categoria del settore di riferimento. La definizione, dei CAM, viene preceduta da un'analisi di mercato del settore interessato e segue una vasta gamma di requisiti già definiti in Europa, come ad esempio quelli proposti dalla Commissione europea nel toolkit europeo GPP o quelli in vigore relativi alle etichette di qualità ecologica ufficiali. Necessarie risultano essere anche le varie normative che impongono determinati standard ambientali, così come le indicazioni provenienti dalle parti interessate come le imprese, le associazioni di categoria, i consumatori, gli utenti, ma anche la Pubblica Amministrazione. A questo punto i CAM così elaborati vengono inviati, in allegato al Decreto del Ministero dell'Ambiente della tutela del territorio e del mare, ai Ministri dello Sviluppo Economico e dell'Economia delle Finanze per acquisire eventuali osservazioni prima che il documento definitivo venga adottato con Decreto ministeriale⁶ e pubblicato sulla Gazzetta ufficiale.

Categorie merceologiche

Le categorie ad oggi individuate riguardano: gli arredi, l'edilizia, la gestione dei rifiuti, i servizi urbani e al territorio, i servizi energetici, l'elettronica, i prodotti tessili e calzature, la cancelleria, la ristorazione, i servizi di gestione degli edifici e i trasporti, ma, come indicato nel PAN GPP, potranno essere definite nuove categorie, e di conseguenza nuovi CAM, qualora presentino analoghe caratteristiche in termini di maturità del settore, volume di spesa e potenzialità di riduzione degli impatti e nonostante vengano emanati Decreti specifici per ogni categoria merceologica di riferimento, i CAM, che richiedono inoltre un aggiornamento periodico per stare al passo con l'evoluzione tecnologica e di mercato, presentano una struttura di base comune.⁷

In tutti i documenti di CAM troviamo infatti espressa, nella premessa la normativa di riferimento ambientale, ed eventualmente anche quella sociale; dei suggerimenti indirizzati alle stazioni appaltanti per effettuare l'analisi dei fabbisogni (necessaria per "razionalizzare i consumi e favorire il decoupling - cioè - la dissociazione tra sviluppo

5 «Piano d'Azione nazionale sul GPP | Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare», consultato 12 giugno 2020, <https://www.minambiente.it/pagina/piano-dazione-nazionale-sul-gpp>.

6 «I Criteri ambientali minimi | Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare», consultato 11 giugno 2020, <https://www.minambiente.it/pagina/i-criteri-ambientali-minimi#3>.

7 «I Criteri ambientali minimi | Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare».

economico e degrado ambientale”⁸); le indicazioni sulle procedure di esecuzione delle gare di appalto e nel caso in cui non sia prevista la definizione di un allegato tecnico, troviamo la descrizione dell’approccio seguito per la definizione di ciascun criterio ambientale minimo.⁹

Nell’oggetto dell’appalto viene evidenziata la sostenibilità ambientale e, se presente, quella sociale, così da segnalare la presenza di requisiti ambientali e sociali da rispettare. Le stazioni appaltanti dovrebbero indicare sempre, all’interno dell’oggetto dell’appalto, il decreto ministeriale di approvazione dei criteri ambientali inseriti come requisiti nella documentazione di gara.

I Criteri Ambientali Minimi possono essere poi definiti per alcune o per tutte le fasi della procedura di gara, in particolar modo per:

- La *selezione dei candidati*: in cui vengono designati i requisiti di qualificazione utili a verificare le capacità tecniche del candidato di garantire l’esecuzione dell’appalto recando i minor danni possibili all’ambiente;
- Le *specifiche tecniche*: ovvero gli standard minimi di prodotto che, così come definite dall’art. 68 del D.lgs. 50/2016, “definiscono le caratteristiche previste per lavori, servizi o forniture. Tali caratteristiche possono inoltre riferirsi allo specifico processo o metodo di produzione o prestazione dei lavori, delle forniture o dei servizi richiesti, o a uno specifico processo per un’altra fase del loro ciclo di vita anche se questi fattori non sono parte del loro contenuto sostanziale, purché siano collegati all’oggetto dell’appalto e proporzionati al suo valore e ai suoi obiettivi”;
- I *criteri premianti*: cioè requisiti volti a selezionare prodotti o servizi con prestazioni ambientali migliori di quelle garantite dalle specifiche tecniche, ai quali viene attribuito un punteggio, utile in fase di assegnazione dell’appalto ai fini dell’aggiudicazione secondo il principio dell’offerta economicamente più vantaggiosa, come stabilito ai sensi dell’art.95 comma 6 del D.lgs. 50/2016;
- Le *clausole contrattuali*: che forniscono indicazioni per garantire una migliore esecuzione dell’appalto sotto il profilo della sostenibilità ambientale.

Struttura CAM

*Definizione dei CAM per
le fasi della procedura
di gara*

Ogni criterio ambientale include inoltre, nella sezione *verifiche* le indicazioni necessarie per dimostrare la conformità ai requisiti prescritti (i CAM devono infatti essere verificabili da parte dell’ente aggiudicatore e ovviamente realizzabili per le imprese offerenti).

È possibile dunque, come precisato nel decreto, fare una distinzione generale tra criteri base e criteri premianti, i primi, obbligatori, consentono l’accesso alla gara e garantiscono prestazioni superiori rispetto a quelle derivanti dalla conformità alla normativa ambientale, i secondi, volontari, garantiscono invece prestazioni superiori a quelle raggiunte con i CAM base e, come già anticipato, sono collegati alla modalità di aggiudicazione del bando di gara, secondo il criterio dell’offerta economicamente più vantaggiosa.

L’aggiudicazione dell’appalto, infatti, non avviene più seguendo un criterio di prezzo al ribasso, che rimane applicabile ma solo in via residuale, ma utilizza il punteggio tecnico attribuito a ciascun criterio premiante, per valutare le offerte secondo il miglior rapporto qualità/prezzo o la comparazione costo/efficacia considerata lungo l’intero ciclo di vita dell’opera edilizia.

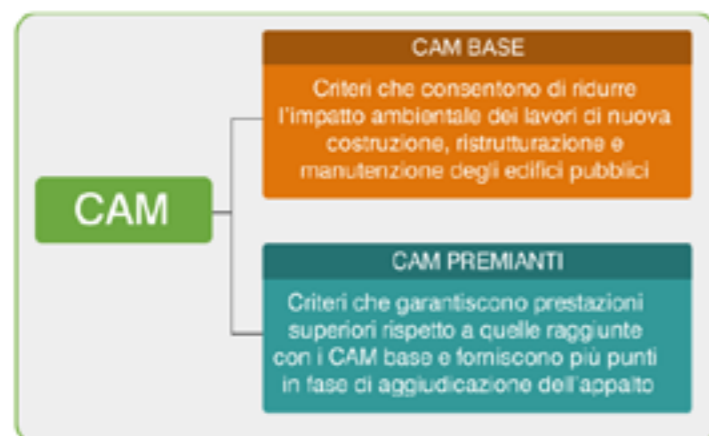
Per valutare l’offerta migliore, le stazioni appaltanti devono difatti prestare attenzione al tema del “costo del ciclo di vita” (Life Cycle Costing – LCC), introdotto nella direttiva 2014/24/UE con l’art. 68, che tiene in considerazione, oltre al costo sostenuto dalla stazione appaltante stessa, i costi sostenuti da altri utenti lungo l’intero ciclo di vita del prodotto, dalla fase di produzione fino alla fase di smaltimento. Fanno dunque parte i costi connessi all’utilizzo, come il consumo di energia e altre risorse, i costi di manutenzione e fine vita, di raccolta e riciclaggio, i costi globali imputati a esternalità ambientali legate ai prodotti, servizi o lavori, come ad esempio quelli legati alle emissioni di gas a effetto serra e altre sostanze inquinanti, così come i costi legati all’attenuazione dei cambiamenti climatici.

*CAM base e CAM
premiante*

*Il costo del ciclo
di vita*

8 «Piano d’Azione nazionale sul GPP | Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare».

9 «I Criteri ambientali minimi | Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare».



STRUTTURA DI BASE CAM



STRUTTURA CAM edilizia

1.3 _ I CAM edilizia e lo stretto rapporto con la bioedilizia

L'impatto sull'ambiente e sulla spesa pubblica del settore edilizio

Tra i vari settori individuati dalle categorie merceologiche, il settore dell'edilizia, a cui fa riferimento il D.M. 11 ottobre 2017 "Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici" (in G.U. Serie Generale n. 259 del 6 novembre 2017), risulta di particolare interesse sia per il rilevante impatto economico che ha sul mercato e sulla spesa pubblica, sia per l'elevato impatto ambientale durante il suo intero ciclo di vita. Secondo i recenti dati Istat, infatti, nel 2019 il 51% delle spese della Pubblica Amministrazione è stato destinato al settore delle costruzioni¹⁰, che risulta essere anche il responsabile del 39% di tutte le emissioni di CO₂ nel mondo, come è emerso dal nuovo rapporto del World Green Council del 23 settembre 2019. Pertanto, risulta di fondamentale importanza l'inclusione, nelle gare d'appalto degli edifici pubblici, di criteri dall'elevata valenza ambientale, non solo per la razionalizzazione ed ottimizzazione della spesa pubblica ma anche per la riduzione degli impatti ambientali ad essa connessa.

L'utilizzazione di tali criteri, che consente infatti alla stazione appaltante di ridurre gli impatti ambientali degli interventi di nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione degli edifici, considerati in un'ottica di ciclo di vita, non va però intesa come integralmente sostitutiva dei criteri normalmente presenti in un capitolato tecnico ma aggiuntiva ad essi. Difatti, benché ove possibile, i CAM edilizia corrispondono a caratteristiche e prestazioni ambientali superiori a quelle previste dalle leggi nazionali e regionali, si vanno ad aggiungere alle prescrizioni e prestazioni già in uso o a norma per le opere oggetto di questo documento.¹¹

Prima di effettuare una panoramica sulla struttura e sui contenuti dei CAM edilizia è importante fissare come concetto fondamentale del decreto, l'innovativa visione completa del ciclo di vita degli edifici, "che diventa il pilastro sul quale si basano sia l'aggiudicazione del bando di gara che la stesura delle specifiche tecniche"¹² stesse. Il decreto, infatti, inserendo una serie di verifiche e di criteri che toccano tutte le fasi di vita dell'edificio, ci guida all'interno della progettazione, dalla nascita fino alla demolizione, ponendo particolare attenzione agli aspetti di *sostenibilità territoriale* (al criterio 2.2), di *prestazione energetica* e di *qualità ambientale interna* (2.3), ai *materiali da costruzione* (2.4) e alla *sostenibilità del cantiere* (2.5).

Analizzando a questo punto l'ampia struttura del decreto notiamo come si passi dalla dichiarazione dell'oggetto dell'appalto, con indicazioni di carattere generale per la

Si estende la visione sul ciclo di vita

¹⁰ «Conto annuale :: Investimenti fissi lordi per sottosettore», consultato 15 giugno 2020, <http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=18249>.

¹¹ «allegato_tec_CAMedilizia.pdf», consultato 16 giugno 2020, https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/GPP/allegato_tec_CAMedilizia.pdf.

¹² «Progettare edifici pubblici: BIM e CAM - BIM», Logical Soft, consultato 16 giugno 2020, <https://www.logical.it/progettazione-approfondimenti/efficienza-energetica-degli-edifici/progettare-edifici-pubblici-bim-e-cam>.

stazione appaltante, alle indicazioni per la selezione dei candidati, alla definizione delle specifiche tecniche utili ai progettisti, suddivise nei quattro scenari applicativi: per *gruppi di edifici*; per *singoli edifici*; per *componenti edilizi* e per la *gestione del cantiere*, fino poi a definire i criteri di aggiudicazione (criteri premianti) e le condizioni di esecuzione del bando di gara, con l'obiettivo principale di "fornire a tutti gli attori del processo edilizio delle indicazioni guida per ridurre l'impatto ambientale, dal progetto alla costruzione, facilitando le attività di monitoraggio e agevolando le potenziali imprese offerenti, in quanto si rendono immediatamente evidenti le caratteristiche ambientali richieste dalla stazione appaltante"¹³.

Scenari applicativi CAM edilizia

La stazione appaltante è chiamata inoltre, nelle indicazioni generali a:

- definire le sanzioni (penali) da applicare nel caso in cui, l'opera non raggiunga gli obiettivi previsti;
- valutare la possibilità di recupero di edifici esistenti, prima della definizione di appalti per le nuove costruzioni;
- affidare la progettazione degli interventi a professionisti con comprovata esperienza, per poter raggiungere i livelli di sostenibilità prestazionali richiesti all'edificio;
- prediligere in caso di demolizione e ricostruzione, una demolizione selettiva che permetta il recupero e il riutilizzo del materiale "di scarto";
- richiedere, a propria discrezione, protocolli di certificazione di edilizia sostenibile.

Di contro l'offerente è chiamato a dimostrare la conformità del proprio operato e del proprio prodotto presentando tutta una serie di documentazioni o di mezzi di presunzione della conformità, ove esistenti, come: relazioni tecniche, con allegati elaborati grafici e, per alcuni criteri, fotografici, che dimostrino lo stato *ante e post operam*; certificazioni di sostenibilità rilasciate da ente terzo (quali LEED, BREEM, Protocollo ITACA), nel caso in cui, nella certificazione a cui può essere sottoposto l'edificio, risultino soddisfatti tutti i requisiti riferibili alle prestazioni ambientali richiamate dal presente criterio; una registrazione EMAS in corso di validità o certificazione secondo la Norma ISO 14001 o equivalente rilasciato in altri Stati membri, che attestino che il sistema di gestione ambientale attuato dall'offerente sia conforme alle norme europee o internazionali; una diagnosi energetica redatta in base alle norme UNI CEI EN 16247, l'Attestato di Prestazione Energetica (APE) dell'edificio *ante e post operam*; e ancora, una relazione di

I documenti di conformità

calcolo in cui si dimostri che la progettazione del sistema edificio-impianto sia avvenuta tenendo conto di tutti i parametri che influenzano il comfort; è richiesto poi in allegato tabella dei materiali con informazioni sull'emissività dei prodotti scelti, così come, può essere richiesto dalla stazione appaltante, la documentazione delle certificazioni ambientali di prodotto, come EPD (Environmental Product Declaration) e le HPD (Health Product Declaration).

Passando nel dettaglio delle specifiche tecniche, vediamo come:

- gli aspetti di *sostenibilità territoriale* (2.2.1-2.2.4) siano affrontati con specifiche utili a garantire la conservazione degli habitat presenti nell'area di intervento, assicurandone l'interconnessione fisica con gli habitat esterni;
- la *prestazione energetica* (2.3.1-2.3.3), compresa di diagnosi e approvvigionamento, imponga l'utilizzo di fonti rinnovabili, utili per incrementare l'efficienza e ridurre i consumi nell'ottica del ciclo di vita, quindi dalla produzione dei componenti, alla fase di costruzione, d'uso e di fine vita dell'edificio, la *qualità ambientale interna* (2.3.5.1-2.3.5.8) a cui è stata posta particolare attenzione nella definizione delle indicazioni progettuali, faccia riferimento in maniera particolare all'illuminazione naturale e quindi al rapporto aeroilluminante, all'areazione naturale e/o alla ventilazione meccanica controllata, al controllo dell'immissione nell'ambiente interno di radiazione solare diretta, tramite verifica sui dispositivi di schermatura solare, cioè sui dispositivi mobili che sono applicati ai serramenti e che devono garantire un certo livello di schermatura, agli interventi atti a ridurre il più possibile l'esposizione indoor a campi magnetici a bassa frequenza, alle emissioni dei materiali, al gas radon, alle verifiche per il comfort acustico e per il comfort termo-igrometrico;
- per i *materiali da costruzione* (2.4), sia richiesto al progettista di prediligere, l'utilizzo di materiali locali, eco-compatibili e riciclabili, che possano essere disassemblati dopo la demolizione dell'opera, privilegiando quelli con contenuti sempre maggiori di materie prime seconde, con specifiche indicazioni per ogni componente edilizio;
- per rispondere poi alla richiesta di *sostenibilità del cantiere* (2.5), l'impresa debba prestare particolare attenzione alla gestione dei rifiuti prodotti, ai materiali usati e alle prestazioni ambientali derivanti dalle attività di cantiere, con il fine di ridurre l'impatto ambientale anche in fase di esecuzione e non solo per tutto il ciclo di vita dell'edificio.

Le certificazioni ambientali di prodotto

Le specifiche tecniche dei CAM edilizia

¹³ «CAM Edilizia ed EPD - Progettazione ecocompatibile dell'edificio», *Edilizia Namirial* (blog), 13 giugno 2017, <https://www.edilizianamirial.it/criteri-ambientali-minimi-progettazione-edilizia-ecocompatibile/>.

Per fare ciò viene pertanto suggerito di incrementare la riduzione degli sprechi tramite il recupero e il riutilizzo di risorse derivanti dallo stesso ciclo edilizio-produttivo.

Possiamo affermare, a questo punto, che i criteri di sostenibilità imposti dal decreto “CAM edilizia” conducano il progettista, in tutti i pertinenti livelli di progettazione, verso i temi e verso le scelte tipiche della bioedilizia.

Un progetto bioedile è infatti un progetto particolarmente attento al tema della sostenibilità ambientale, che rispetta il luogo di intervento cercando di inserirsi in armonia con la natura, che sceglie fonti di energia rinnovabili per i propri impianti e materiali naturali ed eco-compatibili, prediligendo laddove possibile quelli locali, per ridurre l’impatto ambientale e i consumi energetici delle costruzioni in tutte le fasi, dall’estrazione e uso delle materie prime, alla realizzazione e gestione dell’edificio fino al suo smantellamento e smaltimento, cercando di accrescere il comfort degli spazi abitativi, per migliorare la qualità di vita al loro interno, sempre nel rispetto dell’ecosistema e di un costruire responsabile¹⁴.

È dunque nell’obiettivo comune di ridurre l’impatto del settore delle costruzioni per la salvaguardia dell’ambiente e della salute dell’uomo, con la particolare attenzione posta nella scelta di materiali, privi di sostanze nocive, tossiche o radioattive, in grado di realizzare quindi una buona qualità di vita per gli abitanti e i fruitori dell’edificio ed evitare quei fenomeni di inquinamento degli ambienti interni definiti dall’OMS (Organizzazione mondiale della sanità) come Sick Building Syndrome [4] (sindrome da edificio malsano)¹⁵ che si concretizza lo stretto rapporto tra i Criteri Ambientali Minimi e la bioedilizia.

*Il legame con la
bioedilizia*

02.

BIOEDILIZIA

- 2.1 _ L’origine del termine e l’evoluzione storica del progetto ecologico
- 2.2 _ L’approccio bioedile alla scelta dei materiali
- 2.3 _ Il legame con l’economia circolare

¹⁴ «Glossario - Bioedilizia - Il Portale Della Bioedilizia», consultato 24 giugno 2020, <https://www.portaledellabioedilizia.it/glossario/bioedilizia>.

¹⁵ «Bioedilizia in “Lessico del XXI Secolo”», consultato 14 gennaio 2020, [http://www.treccani.it/enciclopedia/bioedilizia_\(Lessico-del-XXI-Secolo\)](http://www.treccani.it/enciclopedia/bioedilizia_(Lessico-del-XXI-Secolo)).

2.1 – ecologico

L'origine del termine e l'evoluzione storica del progetto

*L'origine del termine
bioedilizia*

Per comprendere meglio però il legame che intercorre tra la bioedilizia e i Criteri Ambientali Minimi definiti per il settore delle costruzioni è importante soffermarsi un attimo sulla definizione del termine stesso e sul processo che ha condotto verso la riscoperta del progetto ecologico.

Il termine bioedilizia deriva dalla traduzione del termine tedesco “Baubiologie”, utilizzato dall’Institut für Baubiologie, fondato nel 1976 a Neubeuern in Germania a sostegno di un costruire biologico. Composto dai termini “Bau” e “Biologie”, fa riferimento alle parole italiane edilizia (Bau) e biologia (Biologie).

La parola “edilizia”, così come la parola “edile” derivano dal latino *aedes* = “casa” o “abitazione”, con la stessa radice troviamo anche la parola “edificio”, legata al suffisso *ficium*, che significa “fare”, “costruire”, “realizzare”.

Per edilizia dunque si intende tutto l’insieme delle tecniche e delle conoscenze finalizzate alla realizzazione di una costruzione o più specificatamente di un edificio.

La biologia invece, dal greco βίος, *bios* = “vita” e λόγος, *lògos* = “studio” è la scienza che studia tutto ciò che riguarda la vita. A livello etimologico, pertanto, potremmo definire la bioedilizia come una “costruzione per la vita”, il cui obiettivo è quello di arrivare a realizzare degli edifici che non producano effetti negativi sull’ambiente e sulla salute di chi li vive, in linea dunque con quelli che sono i principi promossi dal GPP ed in particolar modo dai CAM.

I primi insediamenti

Se guardiamo ora ai primi insediamenti umani, questi, furono concepiti per adattarsi alla morfologia del terreno, utilizzavano materiali locali e sfruttavano le risorse idriche presenti.

Gli edifici venivano costruiti in maniera tale da proteggere dagli agenti atmosferici avversi, sfruttando però le condizioni climatiche favorevoli e organizzando gli ambienti interni in maniera tale da ottimizzare il guadagno termico e minimizzare la perdita di calore. Tali accorgimenti sono palesi nelle architetture tradizionali delle zone climatiche con climi estremamente caldi o estremamente rigidi.

A testimonianza dell’approfondita conoscenza del contesto di intervento e di questo modo di costruire troviamo:

- *L’igloo:*

un’antica abitazione degli Inuit del Canada, anche detti Eschimesi, realizzata con blocchi di neve e ghiaccio, usata nelle migrazioni per la caccia invernale. Utilizzando un materiale resistente unicamente a compressione essa sfrutta l’unica forma strutturale possibile per l’impiego della neve, e cioè la volta emisferica, che gli dona per di più grande aerodinamicità. Segue inoltre alcuni semplici ma efficaci

concetti che stanno alla base del suo funzionamento e cioè l'orientamento del tunnel di ingresso sottovento, l'impermeabilità, data dal ghiaccio, all'aria e all'acqua, l'isolamento termico dovuto all'aria contenuta nella neve;

- *L'insediamento di Mesa Verde:*

all'interno del Parco nazionale di Mesa Verde, in Colorado, vi sono i resti di numerosi villaggi costruiti dagli antichi all'interno di rientranze nella roccia. Essendo esposti a Sud, questi, erano al riparo dai raggi in estate, ma non inverno e grazie alla grandissima inerzia termica, data dalla massiccia roccia contro cui si addossavano erano in grado di garantire condizione di comfort perlopiù costanti tutto l'anno;

- *Annot in Provenza:*

vi sono case che sfruttano il calore immagazzinato di giorno dalla pietra, venendo costruite in aderenza con quest'ultime, così che di notte il calore venga rilasciato all'interno dell'abitazione.

Anche in Italia si trovano diverse tipologie architettoniche tradizionali palesemente sviluppate in rapporto alle condizioni climatiche locali, tra queste vi sono:

- *i Sassi di Matera:*

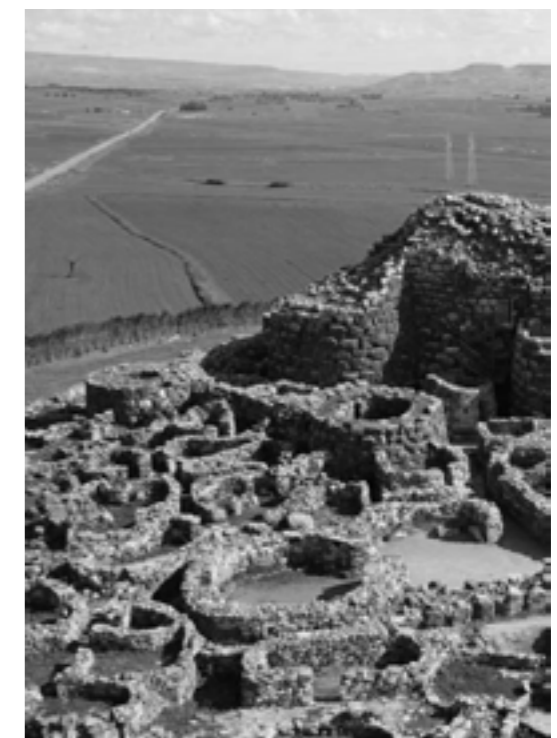
rappresentano un agglomerato bioclimatico efficiente e duraturo, essendo scavati in profondità, in maniera obliqua all'interno della pietra locale che presenta fortissime caratteristiche di traspirabilità, isolamento e porosità, le abitazioni sono protette dalla radiazione solare estiva, ma non da quella invernale che invece penetra bene al suo interno. Le coperture sono collegate per la raccolta dell'acqua piovana, che si deposita in pozzi all'interno delle case per l'acqua domestica, garantendo un microclima interno fresco umido nei periodi di forte irraggiamento solare;

- *I nuraghe:*

sono una tipica costruzione sarda a torre in pietra locale, termicamente perfetta. Le piccole aperture e la forma di cono favoriscono la circolazione dell'aria calda verso l'esterno;

- *Le case tradizionali alpine:*

realizzate in legno e pietra appaiono costruite molto vicine le une alle altre per ripararsi vicendevolmente dai venti freddi. L'inclinazione dei tetti, non eccessiva, permette l'accumulo di uno spesso strato di neve tanto da formare un cuscinetto isolante che mitiga la differenza tra la temperatura interna e quella esterna.



Lo stretto rapporto tra luogo e costruzioni si manifestava quindi, come già precedentemente anticipato, con l'uso di materiali locali e sfruttando al massimo possibile l'energia solare per il riscaldamento e il vento per ottenere condizioni di frescura. In totale equilibrio con l'ecosistema si era in grado di ottenere il massimo comfort con il minimo di risorse disponibili.

Tali metodologie costruttive sono venute meno con l'industrializzazione dei tempi moderni e con processi costruttivi maggiormente tecnologici. Infatti, nel momento in cui sono aumentate le possibilità di riscaldare e di illuminare gli edifici con nuovi sistemi e nuove risorse energetiche, sono cambiate radicalmente anche le aspettative e le esigenze di benessere degli utenti. L'edificio è diventato pertanto un involucro effimero, realizzabile in molteplici combinazioni di materiali e componenti, indipendentemente dai problemi climatici e ambientali, ed ha iniziato a dipendere dallo sfruttamento delle suddette risorse, attraverso l'utilizzo di impianti di climatizzazione e di illuminazione. Con la rivoluzione industriale si rompe, quindi, in modo irreversibile l'equilibrio tra insediamento urbano e sfruttamento del territorio e si attiva un fenomeno di uso indiscriminato delle risorse a fini abitativi.

Le emissioni nocive degli agglomerati urbani e gli scarti delle industrie introducono il problema dell'inquinamento del suolo e dell'atmosfera, ed è con l'avvento della crisi energetica e con il conseguente aumento dei costi, che a partire dagli anni '70, le costruzioni vengono adattate e progettate mirando al risparmio energetico. Con l'introduzione di intercapedini impermeabili nelle pareti degli edifici, sigillando le fessure e inserendo guarnizioni ermetiche per porte e finestre, si è cercato di ridurre le dispersioni di calore. «Guardando al comfort abitativo come ad una variabile indipendente dalle condizioni ambientali esterne, è venuto meno l'interscambio tra interno ed esterno che dipendeva da una buona traspirazione della costruzione, creando un sistema chiuso che trattiene aria viziata, vapori e gas naturali che sono causa spesso di patologie serie»¹⁶.

Si inizia dunque a parlare di architetture che producono elevate emissioni inquinanti, di ingenti sprechi energetici, dovuti all'abuso di soluzioni tecnologiche che impiegano fonti energetiche non rinnovabili, di problemi che riguardano la qualità e la salubrità dell'ambiente, interno ed esterno all'edificio, si è giunti a parlare di quella crisi ambientale che oggi è diventata un'emergenza e del ruolo che l'edilizia ha nei suoi confronti.

Nell'ultimo secolo infatti, gli elementi fondamentali che compongono la biosfera, aria, acqua, terra, e biodiversità, hanno subito un notevole cambiamento qualitativo, tale da creare serie preoccupazioni per il nostro futuro. Dagli inizi della rivoluzione industriale la

*Il rapporto con il luogo
di intervento*

*Le conseguenze
dell'industrializzazione*

*L'impatto
dell'edilizia e dei
materiali*

concentrazione di anidride carbonica è aumentata di circa il 46% a causa delle emissioni dovute all'uso di combustibili fossili e ha raggiunto oggi il valore di 414 ppm¹⁷. Gran parte dei ricercatori concorda sul fatto che a causa dell'effetto serra, dovuto perlopiù al consumo di questi combustibili, negli ultimi 150 anni la temperatura media della terra sia aumentata di circa 1° Celsius¹⁸. Il riscaldamento globale induce una più intensa evaporazione dell'acqua presente sulla Terra, con conseguente aumento del carico di umidità nell'atmosfera che comporta l'intensificazione del ciclo idrologico, il quale si manifesta in certe regioni con gravi siccità e in altre con piogge e nevicate di eccezionale entità. Altre attività umane, come ad esempio il disboscamento, implicano una più intensa erosione dei suoli superficiali e un aumento del rischio di inondazioni. L'eliminazione degli alberi inoltre provoca una notevole riduzione dell'assorbimento di carbonio dall'atmosfera che ridurrebbe in maniera rilevante l'effetto serra.

Diventa quindi necessaria una potente iniezione di razionalità nella gestione delle risorse, che porti ad una economia sostenibile.

Come indicato nel capitolo precedente, gli edifici e il settore dell'edilizia sono responsabili del 39% di tutte le emissioni di CO₂ nel mondo, con le emissioni di gestione (dall'energia utilizzata per riscaldare, raffreddare e illuminare gli edifici) che contano per il 28%. Il restante 11% proviene da emissioni di CO₂ incorporate, o "iniziali" associate a materiali e processi di costruzione durante l'intero ciclo di vita dell'edificio. Anche la produzione e lavorazione dei materiali da costruzione ha infatti un forte impatto ambientale in quanto consuma grandi quantità di acqua pulita ed energia e producendo enormi cumuli di rifiuti incrementati ulteriormente dai detriti che risultano dalle demolizioni. La produzione di certi materiali comporta inoltre l'emissione di metalli pesanti e di altre sostanze tossiche, di gas serra, nonché di altri gas che distruggono la fascia d'ozono della stratosfera che ci protegge contro i raggi ultravioletti provenienti dal Sole.

L'attività edilizia, e non solo quella che riguarda i grandi fabbricati e le grandi opere di infrastruttura, ha quindi un forte impatto verso la sostenibilità, ed è da queste premesse che emerge la necessità di una rilettura profonda, una sorta di rifondazione dell'Architettura stessa, che partendo da un approccio basato su un vasto campo di ricerche interdisciplinari e interconnesse, sia in grado di proporre ed aggiornare i modelli di Architettura del Nuovo Millennio. Occorre pertanto dare all'edilizia in genere un nuovo indirizzo che porti sia al rispetto dell'esigenza fondamentale dell'uomo, quella di poter abitare e lavorare in edifici salubri, sia al rispetto dell'ambiente.

¹⁶ Mauro Bertagnin, *Bioedilizia: progettare e costruire in modo ecologicamente consapevole*, Ecologia dell'ambiente, corpo e mente (Padova: GB, 1996).

¹⁷ «The Keeling Curve | A daily record of atmospheric carbon dioxide from Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego», consultato 2 febbraio 2020, <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>.

¹⁸ «Il cambiamento climatico è in corso: ecco come rendersene conto | National Geographic», consultato 2 febbraio 2020, <https://www.nationalgeographic.it/ambiente/2019/12/il-cambiamento-climatico-e-corso-ecco-come-rendersene-conto>.

Una “nuova” edilizia che sia in grado dunque di:

1. Valutare seriamente i fabbisogni e usare razionalmente il territorio;
2. Progettare in rapporto al clima locale e sfruttando l'energia solare;
3. Ridurre i consumi di energia non rinnovabile e garantire uno smaltimento sicuro delle acque reflue;
4. Non causare emissioni dannose;
5. Ridurre gli sprechi di acqua potabile e garantire lo smaltimento sicuro delle acque reflue;
6. Costruire edifici di più alta qualità, durevoli, salubri e sicuri anche in caso di incendio e di calamità naturali;
7. Non mettere in pericolo la salute dei lavoratori e degli abitanti;
8. Utilizzare materiali ottenuti da materie prime rigenerabili, locali e riciclabili;
9. Gestire ecologicamente i rifiuti da cantiere;
10. Rispettare la vegetazione, la fauna, il paesaggio, ecc.¹⁹

I principi da seguire

Nasce quindi in questo clima l'edilizia ecologica che cerca di rispondere alla grave crisi ambientale con l'obiettivo principale di mitigare gli impatti ad essa connessi, riscoprendo i vantaggi del costruire seguendo i più antichi e, in un certo senso, basilari principi, sfruttando però l'impiego di tecnologie moderne, per dirigersi verso una nuova etica del costruire che riconosce l'intenso rapporto esistente tra costruito e ambiente naturale.

La riscoperta dell'edilizia ecologica

¹⁹ Uwe Wienke, *Manuale di bioedilizia: Uwe Wienke*, 4. ed. aggiornata e ampliata. (Roma: Dei, 2008).

2.2 _ L'approccio bioedile alla scelta dei materiali

La traspirabilità

Per poter costruire un edificio sano, volto al massimo benessere psicofisico del fruitore, nel rispetto dell'ambiente, delle tradizioni e delle culture locali, la scelta dei giusti materiali diventa di fondamentale importanza. In particolare modo, per poter ottenere elevati livelli di comfort interno, con ambienti salubri sotto il profilo della qualità dell'aria e del comfort termico, è necessario garantire l'interscambio tra interno ed esterno, assicurando la traspirabilità dell'edificio. Su questo principio si fonda un concetto fondamentale che sta alla base di una progettazione bioecologica, il concetto di terza pelle.

Il concetto di terza pelle

Nel 1975 l'architetto tedesco Karl Ernst Lotz, professore alla Scuola Superiore di Edilizia di Biberach, Germania, e stretto collaboratore di Robert Endros, uno dei pionieri della bioarchitettura [6] tedesca²⁰, nel suo libro “Willst du gesund wohnen?: Neueste baubiologische Erkenntnisse”, che tradotto letteralmente in italiano significa : “Vuoi vivere sano?: ultime informazioni sulla costruzione biologica”, introduce il concetto di casa come “terza pelle” dell'uomo, che insieme alla prima pelle, *il tessuto cutaneo*, e alla seconda pelle, *l'abbigliamento*, devono garantire protezione e traspirabilità per assicurare elevati livelli di comfort all'individuo.

Non sempre però queste tre pelli sono tenute in adeguata considerazione e possono anzi svolgere la loro funzione in modo insoddisfacente o scorretto, creandoci di volta in volta diversi e anche gravi problemi. Analizzandoli più nello specifico è possibile rendersi conto dell'importante ruolo che svolgono e di quanto spesso ci si dimentichi della loro esistenza nel concepire e nel costruire le abitazioni e gli edifici che caratterizzano la vita umana.

Il tessuto cutaneo

La *prima pelle* è uno degli organi più importanti del nostro corpo dal quale dipende il nostro benessere e la nostra salute. Costituita da una successione di strati, l'epidermide e il derma, ha il compito di rivestire e proteggere non solo la superficie esterna del corpo, ma anche gli organi interni. Essa deve garantire permeabilità per consentire lo scambio fisiologico tra interno ed esterno. Complessivamente, nella pelle si contano circa 40km di minuscoli condotti che fanno da sbocco ai diversi sistemi ghiandolari ed è proprio attraverso questi canali che la nostra pelle respira. La sua respirazione è di vitale importanza per la nostra esistenza in quanto una completa o significativa otturazione dei pori, porta inevitabilmente alla morte per asfissia, inoltre essendo in connessione con i polmoni, apporta al sangue l'ossigeno necessario allo svolgimento delle funzioni vitali. Attraverso i pori, collegati con le ghiandole secretorie, la pelle espelle i residui metabolici prodotti dal nostro corpo, composti altamente tossici che, se rimanessero in circolo, causerebbero effetti putrefattivi e degenerativi che inevitabilmente avvelenerebbero corpo e mente. Attraverso i pori, inoltre fuoriesce anche il sudore che evaporando sottrae calore interno al corpo, realizzando una funzione refrigerante che consente di mantenere così una temperatura costante intorno ai

²⁰

«Karl Lotz Ernt», consultato 5 febbraio 2020, http://www.librisalus.it/autori/karl_lotz_ernst.php.

37°C, evitando dunque pericolosi innalzamenti termici.²¹

La *seconda pelle*, prodotta dall'uomo nelle diverse epoche per proteggersi dai diversi climi alle varie latitudini, deve essere considerata come il naturale prolungamento della prima, non deve dunque ostacolarne la traspirabilità né favorire l'accumulo di cariche elettrostatiche dannose per la salute dell'uomo.²² Purtroppo però l'abbigliamento moderno, realizzato molto spesso con tessuti in fibre sintetiche, non è sempre in grado di consentire la funzione respiratoria, indossandolo non sarà raro provare una sensazione di soffocamento, dovuta alla riduzione della respirazione cutanea e all'eccessivo calore accumulato. Infatti, un tessuto non traspirante, impedisce al vapore acqueo espulso dalla pelle di evaporare, ostacolando l'azione refrigerante ed innescando così un innalzamento della temperatura corporea.

Gli indumenti in tessuto naturale, come lana, cotone e seta, svolgono invece funzioni connaturali alla pelle favorendo il benessere dell'organismo. Le fibre sintetiche accumulano inoltre una maggiore carica elettrostatica, facilmente percepibile ad esempio la sera, quando infatti, dopo un'intera giornata ci leveremo di dosso indumenti in fibra sintetica, questi, inizieranno a crepitare e i peli del corpo e i capelli ad elettrizzarsi. Con il passare del tempo questo fenomeno potrebbe favorire uno stato di stress sul sistema nervoso, poiché l'elettrizzazione agisce sulle nostre cellule con diversi effetti biologici.²³

A questo punto la casa, l'alloggio o l'edificio dove ci rechiamo per svolgere una qualsivoglia attività, diventa dunque la nostra *terza pelle*, che ha il compito di assolvere la termoregolazione rispetto alla temperatura esterna, di riparare dagli agenti atmosferici e geopatogeni, e grazie ai materiali con cui è costruita, di garantire un adeguato ricambio d'aria interna e una sufficiente autoregolazione dell'umidità.²⁴

Prendendo spunto dalla prima e dalla seconda pelle, possiamo trarre alcune delle caratteristiche che dovrebbero essere applicate alla nostra terza pelle, per far sì che essa possa adeguatamente garantire benessere e salute al nostro corpo e alla nostra mente.²⁵ In primo luogo come visto in precedenza per quanto riguarda l'abbigliamento, anche l'abitazione dovrebbe risultare priva di cariche elettrostatiche, nocive per l'uomo; in

21 Walter Pedrotti, *Materiali e materiali*, Bioedilizia (Bussolengo: Demetra, 1994). ;Mauro Bertagnin, Bioedilizia: progettare e costruire in modo ecologicamente consapevole, Ecologia dell'ambiente, corpo e mente (Padova: GB, 1996)

22 Bertagnin, *Bioedilizia*.

23 Pedrotti, *Materiali e materiali*.

24 Mauro Attura, Associazione nazionale architettura bioecologica (Milano), e Convegno nazionale sul costruire bioecologico, a c. di, *Architettura bioecologica: atti del primo convegno nazionale sul costruire bioecologico*, Udine, Università degli studi, 31 marzo 1990 (Monfalcone: Edicom, 1998).

25 David W Pearson, Malcom Wells, e Enzo Scampi, *La casa ecologica: progetti, materiali, usi, cautele* (Milano: Touring Club Italiano, 1990).

secondo luogo possiamo considerare il semplice fatto che, oltre a proteggerci dagli inevitabili agenti esterni, l'abitazione, o comunque l'edificio nel quale trascorriamo parte della nostra vita, dovrebbe essere in grado di respirare adeguatamente, di permettere quindi lo scambio d'aria, la libera uscita dei vapori e consentire il passaggio delle onde cosmiche e di tutte le energie naturali essenziali per la vita.²⁶ La casa, al contrario di quello che comunemente si può pensare, non respira solo attraverso porte e finestre, che se presentano guarnizioni e doppi vetri, sono responsabili di una riduzione della ventilazione del ben 10%, ma, proprio come la pelle, respira attraverso tutta la struttura: pavimento, pareti e solai. Poiché tale respirazione dipende dunque da tutta la struttura dell'edificio, è importante prestare particolare attenzione sia ai materiali con i quali essa è composta sia agli elementi che ne impediscono la respirazione, come ad esempio le intercapedini dei muri riempite con isolanti termici, le pareti ricoperte con vernici e resine plastiche, le carte da parati sintetiche e le colle, i tetti impermeabilizzati con catrame. Poiché la respirazione dipende anche dai materiali, questi, per agire beneficamente sul clima interno dell'edificio e sull'uomo, devono presentare caratteristiche specifiche quali la porosità, l'igroscopicità e la traspirabilità²⁷:

- La *traspirabilità* indica la capacità di un materiale di essere permeabile all'aria, di lasciarsi cioè attraversare dall'aria stessa. Ad esempio, un edificio costruito in mattoni, calce, legno, traspira; una costruzione in cemento, plastica, vernici sintetiche o altre materie chimiche, agisce invece come "barriera vapore"; si comporta in altre parole come isolante e impermeabilizzante;
- L'*igroscopicità* è invece la capacità di un materiale di assumere o cedere vapore acqueo influenzando in tal modo sul clima interno all'edificio;
- La *porosità*²⁸, a cui sono legate entrambe le caratteristiche precedenti, esprime infine il rapporto tra volume dei vuoti presenti e il volume complessivo del materiale. Esempi di materiali porosi in un'abitazione sono gli intonaci a calce, il legno non trattato con prodotti di sintesi chimica, i tessuti naturali, le tappezzerie di carta, le fibre vegetali e altri materiali naturali che non risultano lisci e lucidi.

Vale dunque la pena chiedersi, sia che ci si appresti alla costruzione di un nuovo edificio, sia che si voglia riflettere sulle condizioni di un edificio già costruito o abitato, se l'ambiente

*Le specifiche
caratteristiche dei
materiali*

La casa

26 «INBAR Architetture che comunicano con l'ambiente», consultato 11 febbraio 2020, <http://www.bioarchitettura.it/network/c38-blog/architetture-che-comunicano-con-lambiente/>.

27 Pedrotti, *Materiali e materiali*.

28 «porosità in Vocabolario - Treccani», consultato 13 febbraio 2020, <http://www.treccani.it/vocabolario/porosita>.

risulta o sarà in grado di risultare favorevole al nostro benessere, se cerca di riprodurre il modo di funzionare del nostro organismo o se vi si discosta troppo.

A fronte di questa chiarificazione è importante notare come in realtà nella nostra epoca, siamo passati da una condizione di (relativa) scarsità di cure per le nostre tre pelli ad un eccesso di cure che non sempre risulta positivo.

Analizzando ciò che giornalmente vediamo, sia attraverso i social, che attraverso la televisione, o in generale tramite tutti i mezzi di comunicazione, possiamo notare come ad esempio la diffusione del concetto di pulizia, che dovrebbe essere in grado di tenere in efficienza il nostro tessuto cutaneo, sia spesso in realtà finalizzato solamente alla commercializzazione di determinati prodotti, così come la maniacale ricerca di novità nella scelta dell'abbigliamento di moda e di firma, e la massiccia diffusione di tessuti in fibre sintetiche nascondano molte volte, dietro l'apparenza di comodità, praticità e modernità, rischi che sarebbe sicuramente il caso di tenere nella dovuta considerazione. Per quanto riguarda invece la nostra terza pelle, non sempre l'impiego di moderne tecniche costruttive, di materiali o di impianti di climatizzazione può garantire il giusto livello di comfort e salubrità che ci aspetteremmo dalle nostre abitazioni.²⁹

Nel corso degli anni sono state infatti sollevate molteplici e diffuse perplessità sulle modalità costruttive e sulla salubrità delle abitazioni moderne, tanto che è aumentato il numero di persone che ha compreso come la casa, così come pure il luogo di lavoro, possano essere fonte di malessere. Si è pertanto diffusa la consapevolezza dell'esistenza di legami tra la "terza pelle" e la nostra salute.

A dimostrazione di ciò vi sono fenomeni ormai accertati, in aggiunta alla sindrome dell'edificio malato (SBS) Sick Building Syndrome, già precedentemente spiegata, come il Building Related Illness o l'Indoor Pollution. «Con il termine *Building Related Illness* (BRI), malattia legata all'edificio, viene indicata la patologia provocata direttamente dall'edificio in presenza di un quadro clinico ben definito e con il manifestarsi di malattie la cui origine è direttamente attribuibile ai materiali contaminanti presenti negli ambienti dell'edificio stesso»³⁰.

Tra i materiali solitamente utilizzati nelle costruzioni ve ne sono alcuni che talvolta nascondono dei pericoli. Tra questi troviamo: i cementi e le calce che vengono spesso mescolati a composti di sintesi per farli indurire meglio e velocemente; gli agglomerati espansi, di materiali termoisolanti e fonoassorbenti di origine chimica, con cui vengono riempite le intercapedini all'interno dei muri. I sottofondi dei

29 Pedrotti, *Materiali e materiali*.

30 Bertagnin, *Bioedilizia*.

pavimenti, le colle per le mattonelle, alcune vernici che contribuiscono notevolmente all'inquinamento domestico; i materiali sintetici usati nei pavimenti di plastica e nelle superfici in laminato dei mobili che con l'invecchiamento e l'usura cedono nell'ambiente particelle inquinanti sotto forma di sostanze volatili che entrano nell'organismo tramite la respirazione.³¹

*L'inquinamento
interno*

Con il termine *Indoor Pollution* intendiamo invece un inquinamento interno alle abitazioni, legato alla vita domestica o lavorativa, causato da una sommatoria di fattori, tra i quali troviamo la ridotta ventilazione dell'edificio, l'impiego di materiali sintetici e innaturali, l'adozione di tecnologie, impianti e arredi spesso nocivi alla salute.

In riferimento all'Indoor Pollution, elevate concentrazioni di inquinanti come ad esempio ossidi di carbonio e di azoto, sono state rilevate in ambienti chiusi, con stufe e fornelli alimentati con combustibili liquidi e gassosi. Del resto, basti pensare che anche sul soffitto di alcune caverne preistoriche, dove si era depositato del nerofumo, sono state trovate sostanze tossiche prodotte dai fuochi accesi dagli uomini primitivi per cucinare i cibi e scaldarsi.³² Ad oggi sono stati indicati, tra le fonti di maggiore inquinamento interno, gli agenti chimici tossici presenti in vernici, lacche, materiali sintetici, solventi, come pure la presenza di certe fibre minerali negli intonaci e l'uso di alcuni materiali da costruzione o da arredamento. Questi materiali possono produrre emanazioni tossiche o dannose e possono formare una barriera impermeabile non porosa che impedisce la corretta traspirazione dei locali. Inoltre, hanno la tendenza a caricarsi elettrostaticamente, determinando disagio all'interno degli ambienti per la modificazione indotta dell'equilibrio nella ionizzazione dell'aria.³³ Senza contare gli impianti (elettrico, idraulico, termico), o la presenza di altri elementi sul luogo di costruzione, tra cui troviamo il gas radon, che come ricordato in un recente articolo del Corriere della Sera, nella sezione Salute:

«Circa la metà delle radiazioni che assorbiamo nell'arco della vita deriva dal radon, un gas che si sprigiona naturalmente dalle rocce, riconosciuto dall'Agenzia internazionale per la ricerca sul cancro di Lione come agente per cui vi è sufficiente evidenza di cancerogenicità sulla base di studi epidemiologici sull'uomo. Derivato dal decadimento dell'uranio, il radon è un gas incolore, insapore e inodore che si trova

31 «Inquinamento domestico da composti organici volatili (VOC o SOV) e formaldeide», *Laborad* (blog), 13 febbraio 2012, <https://www.laborad.com/inquinamento-domestico-da-composti-organici-volatili-voc-o-sov-e-formaldeide/>.

32 Bertagnin, *Bioedilizia*.

33 Pedrotti, *Materiali e materiali*.

in piccole quantità nel suolo e nelle rocce e in alcuni materiali da costruzione. Quando dal suolo fuoriesce all'aperto si disperde in aria rimanendo quindi a concentrazioni molto basse (pochi Becquerel al metro cubo, Bq/m³, l'unità di misura della radioattività). Quando invece penetra in un edificio, si concentra e può raggiungere anche valori di centinaia o, più raramente, di migliaia di Bq/m³»³⁴.

Francesco Bochicchio, direttore del Centro Nazionale per la Protezione dalle Radiazioni all'Istituto Superiore di Sanità

La penetrazione all'interno dei muri, attraverso i quali poi si mescola con l'aria che respiriamo, è favorita dal fatto che questo gas, si concentra principalmente nelle cantine e nei piani bassi degli edifici, dove vi è uno scarso ricambio d'aria. Il problema potrebbe per tanto essere "minimizzato" aumentando la respirazione della casa e in particolare delle cantine e dei locali a diretto contatto con il terreno³⁵, così come è importante garantire il necessario ricambio d'aria all'interno degli ambienti per un'altra fonte inquinante spesso sottovalutata, ma che è tra le maggiori di natura organica, e cioè l'anidride carbonica prodotta dal metabolismo umano.

Proprio in funzione dell'importanza riconosciuta a queste tematiche all'intero dei CAM edilizia sono stati inseriti nella sezione dedicata alla qualità ambientale interna, i criteri:

- 2.3.5.2 *Aerazione naturale e ventilazione meccanica controllata*, che fa principalmente riferimento alla necessità di garantire un'areazione naturale diretta in tutti gli ambienti, proporzionale all'ambiente stesso e collocata strategicamente in maniera tale da assicurare una buona qualità dell'aria interna, facendo riferimento alla UNI 10339 e UNI 13779, per il numero di ricambi d'aria richiesti. In caso di impianto di ventilazione meccanica controllata è invece richiesto di limitare l'ingresso dall'esterno di agenti inquinanti.
- 2.3.5.5 *Emissioni dei Materiali*, in cui viene indicato il limite che pitture e vernici; tessili per pavimentazioni e rivestimenti; laminati per pavimenti e rivestimenti flessibili; pavimentazioni e rivestimenti

*L'attenzione alla qualità
ambientale interna nei
CAM*

in legno; altre pavimentazioni (diverse da piastrelle di ceramica e laterizi); adesivi e sigillanti; pannelli per rivestimenti interni (es. lastre in cartongesso) devono rispettare in riferimento a specifici componenti organici volatili.

- 2.3.5.8 *Radon*, se l'area di intervento è caratterizzata da un rischio di esposizione al gas Radon è richiesta l'adozione di strategie progettuali e tecniche costruttive atte a controllare la migrazione negli ambienti confinanti, con necessità di un sistema di misurazione e avviso automatico della concentrazione del gas all'interno degli edifici.

34 Vera Martinella, «Il gas radon (in case e uffici) è la 2° causa di tumore ai polmoni», Corriere della Sera, 26 gennaio 2020, https://www.corriere.it/salute/sportello_cancro/cards/gas-radon-case-uffici-seconda-causa-tumore-polmoni-c-tutti-edifici/che-cos-radon_principale.shtml.

35 «sick building syndrome», consultato 16 febbraio 2020, <https://ifg.uniurb.it/static/lavori-fine-corso-2002/zani/sindrome.htm>.

2.3 _ Il legame con l'economia circolare

L'attenzione al ciclo di vita della materia

Un altro importante aspetto che viene tenuto in considerazione nella scelta dei materiali bioedili è l'impatto che questi hanno sull'ambiente lungo tutto il ciclo della loro vita. Tale impatto non dipende solo dalla natura dei materiali stessi ma anche dalla modalità di approvvigionamento, di produzione, trasporto, assemblaggio, manutenzione, riuso/riciclo e smaltimento.

In particolar modo può risultare dannoso per l'ambiente l'utilizzo di materiali che richiedano enormi quantità di risorse naturali non rinnovabili, contribuendo al progressivo processo di esaurimento delle risorse presenti sul pianeta, o che necessitano di elevate quantità di energia per essere prodotti, trasportati o smaltiti, incrementando così l'inquinamento ambientale.

Materiali rinnovabili

Pertanto, i materiali più adatti ad un approccio costruttivo ecologicamente cosciente sono quelli provenienti da fonti naturali rinnovabili, a basso impatto ambientale e con un ridotto quantitativo di energia grigia, cioè di quell'energia richiesta per la produzione, il trasporto e lo smaltimento del prodotto.

“Ad esempio per abbattere, segare e trasportare il legname, il costo energetico stimato è di 639KWH/t”, per produrre mattoni cotti il valore è 4 volte superiore; per i componenti di alluminio è 126 volte maggiore, gli altri materiali presentano invece un valore che oscilla tra questi ultimi due.

Sono pertanto preferibili materiali naturali che possano essere reinseriti nei cicli naturali dell'ambiente una volta terminata la loro funzione e che siano possibilmente reperibili in loco, permettendo così di risparmiare sia in termini di costi che di inquinamento durante la fase di trasporto.³⁶

Materiali riciclabili per ridurre la produzione di rifiuti

Un altro aspetto da considerare dannoso per l'ambiente a cui la bioedilizia rivolge una particolare attenzione è la produzione di rifiuti. Il settore edilizio è infatti uno dei principali produttori di rifiuti da costruzione e demolizione in Europa, che necessitano poi di essere smaltiti con inevitabili conseguenze sull'inquinamento ambientale, pertanto in un'ottica di riduzione degli sprechi, dell'inquinamento e in funzione del risparmio energetico che ne deriva, la bioedilizia si orienta verso materiali che possono essere riciclabili o riutilizzabili in altri processi costruttivi.

Questo nuovo, e in un certo senso ritrovato, modo di progettare, attento non solo al ciclo di vita della materia ma anche alle tecniche costruttive e alle soluzioni più consone per ridurre gli impatti ambientali, che sfrutta fonti energetiche rinnovabili e predilige costruzioni a secco, con sistemi tecnologici prefabbricati che utilizzano principalmente materiali naturali, riciclati e riciclabili è conforme ai principi propri del nuovo modello economico che prende il nome di economia circolare.

03.

ECONOMIA CIRCOLARE

- 3.1 _ Economia circolare: che cos'è e come nasce?
- 3.2 _ Gli obiettivi e le iniziative europee
- 3.3 _ Edilizia, CAM e digitalizzazione del settore come strumenti di attuazione dell'economia circolare

3.1 _ Economia circolare: che cos'è e come nasce?

L'economia circolare è un nuovo modello economico sempre più consolidato nel panorama mondiale, che si sviluppa come esigenza, in opposizione al tradizionale modello economico lineare, scandito da tre principali fasi: “take – make – dispose” (prendere – fare – disfarsi), a fronte dell'aumento della popolazione e della crescita di ricchezza, le quali spingono verso l'alto la domanda di risorse, sempre più scarseggianti, con conseguenze che si riversano inevitabilmente sull'ambiente. Per comprendere come nasce l'idea di un'economia circolare e perché sia necessaria una transizione verso questo nuovo modello economico è opportuno soffermarsi prima di tutto sul sistema lineare, chiarire quali sono i principi su cui si basa e osservare quali siano i limiti del suo sviluppo.

Il sistema economico lineare

Il sistema lineare, che ha caratterizzato l'economia degli ultimi 150 anni, si fonda sull'esistenza di due tipologie di flussi, uno in entrata (input), rappresentato dai *fattori produttivi*³⁷, dalle materie prime e dalle fonti di energia, necessarie per alimentare il processo produttivo; e uno in uscita (output), rappresentato dai prodotti e dai servizi offerti. Tutto ha inizio dunque con l'utilizzo di risorse naturali, che vengono estratte, lavorate e modificate per produrre beni destinati al consumo, i quali verranno poi gettati una volta raggiunta la fine vita del prodotto. L'utilizzo di questo modello di economia ha portato ad un rapido sviluppo economico e scientifico, tra la fine del XIX e l'inizio del XX secolo, che ha radicato nell'uomo la convinzione che si possa rispondere ad un aumento della domanda di mercato, servendosi di una tecnologia produttiva più efficiente e aumentando i fattori produttivi in entrata, raggiungendo così una crescita potenzialmente infinita.³⁸ Questo modo di produrre beni non tiene in considerazione però i problemi legati alla continua estrazione e dismissione di materia, tra cui: l'esauribilità delle risorse naturali, dai minerali alle fonti di energia non rinnovabili; la quantità di emissioni di gas serra che vengono prodotte in tutte le fasi del processo; la contaminazione dei mari e della terra³⁹; i problemi legati all'aumento di rifiuti che devono poi necessariamente essere smaltiti. Con la previsione di una rapida crescita economica per i paesi in via di sviluppo e una popolazione mondiale di più di 9 miliardi di persone prevista per il 2050, la domanda di risorse naturali ed in particolare di materie prime, non può che crescere in maniera esponenziale nei prossimi decenni, con un conseguente aumento sugli impatti ambientali

37 Per fattori produttivi si intendono tutti gli strumenti che l'impresa impiega per produrre beni e servizi. Tali fattori secondo l'economia classica vengono raggruppati in tre categorie: terra; lavoro; capitale. La terra, detta anche natura comprende: la superficie coltivabile, le materie prime e condizioni ambientali; Il lavoro è rappresentato invece dalle energie psicofisiche necessarie per realizzare e fornire un bene, può essere un lavoro in senso stretto, se serve per ottenere un bene, o in senso lato se consiste in una prestazione di servizio; Il capitale infine comprende il denaro e gli altri beni produttivi utili per finanziare il processo produttivo.

38 «Sistema economico lineare - Okpedia», consultato 28 febbraio 2020, https://www.okpedia.it/sistema_economico_lineare.

39 «Sistema economico lineare - Okpedia».

e climatici⁴⁰, ma è proprio partendo dalla consapevolezza che le risorse naturali non sono infinite e che il pianeta Terra ha una capacità limitata di accogliere e assorbire rifiuti, così come viene chiaramente definito nel concetto di impronta ecologica [8], che pensare ad un modello che si affida esclusivamente allo sfruttamento di tali risorse, non è più un'opzione praticabile.

Il modello circolare diventa così una risposta alle criticità riscontrate dal modello economico lineare, ma poiché trovare una definizione univoca di economia circolare non è semplice, in quanto la locuzione e i concetti alla base possono variare in funzione dei soggetti ai quali tale definizione è rivolta, ritengo opportuno fare riferimento ad un recente articolo pubblicato nel 2017 da Julian Kirchherr, Denise Reike e Marko Hekkert, i quali dopo aver raccolto e analizzato sistematicamente 114 definizioni, emerse negli anni nella letteratura scientifica, in merito all'argomento, definiscono l'economia circolare come "un sistema economico che sostituisce il concetto di "fine vita" con la riduzione, il riutilizzo, il riciclaggio e il recupero dei materiali nei processi di produzione / distribuzione e consumo."⁴¹ Questo concetto, incorporato nella definizione data dalla Commissione Europea⁴² e noto come principio delle 4R, viene applicato e deve essere applicato a partire dalla micro scala, interessando prodotti, aziende, consumatori, fino alla macro scala, che comprende città, regioni, nazioni e oltre, con l'obiettivo "di realizzare uno sviluppo sostenibile, creando contemporaneamente qualità ambientale, prosperità economica ed equità sociale, per il vantaggio delle generazioni attuali e future."⁴³ Tutto ciò può diventare possibile, come loro stessi ricordano, grazie a nuovi modelli economici e a consumatori informati e responsabili.

Tra le realtà più attive nella promozione di questo nuovo modello economico troviamo la Ellen MacArthur Foundation, nata nel 2010 per volere della velista britannica, da cui prende il nome, che ha stabilito nel 2005 il record mondiale per la più veloce circumnavigazione del globo. Come lei stessa ha raccontato durante la conferenza TED2015 Truth and Dare⁴⁴,

*L'economia circolare
come risposta alle
criticità del modello
economico lineare*

*La Ellen MacArthur
Foundation*

40 «UN'ISTANTANEA DELLA SITUAZIONE ATTUALE | Consultazione pubblica sull'Economia Circolare», consultato 28 febbraio 2020, <http://consultazione-economiacircolare.minambiente.it/un-istantanea-della-situazione-attuale-0>.

41 Julian Kirchherr, Denise Reike, e Marko Hekkert, «Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions», *Resources, Conservation and Recycling* 127 (1 dicembre 2017): 221–32, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.

42 «Commissione Europea, 2008. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives.», consultato 14 febbraio 2020, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&from=EN>.

43 Kirchherr, Reike, e Hekkert, «Conceptualizing the Circular Economy».

44 Dame Ellen MacArthur, *La Cosa Sorprendente Che Ho Imparato Navigando in Solitario Intorno al Mondo*, consultato 29 febbraio 2020, https://www.ted.com/talks/dame_ellen_macarthur_the_surprising_thing_i_learned_sailing_solo_around_the_world?language=it.

a Vancouver in Canada, in cui è stata ospite, proprio navigando in solitaria intorno al mondo ha potuto mettere a fuoco tante cose, diventando profondamente consapevole della natura finita delle risorse, su cui lei stessa ha fatto affidamento e su cui fa affidamento anche la nostra economia.

«Nessun'altra esperienza avrebbe potuto farmi capire meglio la definizione della parola "finito". Quello che portiamo è tutto ciò che abbiamo. Non c'è altro - e l'economia globale funziona esattamente nello stesso modo, - dipende completamente da materiali finiti che abbiamo solo una volta nella storia dell'umanità (...) e se sappiamo di avere materiali finiti, perché costruiamo un'economia che di fatto consuma le cose, che crea rifiuti? La vita esiste da miliardi di anni e si adatta continuamente per usare al meglio i materiali. È un sistema complesso al cui interno, tuttavia, non c'è spreco. Tutto è metabolizzato. Non è affatto un'economia lineare, ma è circolare (...) Se potessimo costruire un'economia che usa le cose invece di consumarle, potremmo costruire un futuro davvero a lungo termine».⁴⁵

Queste sono le riflessioni che hanno spinto Ellen, partita portando con sé tutto ciò di cui aveva bisogno, a tornare con una nuova visione del modo in cui il mondo funziona, come luogo di cicli interconnessi e risorse limitate, dove le decisioni che prendiamo oggi influenzano ciò che resta per domani. Ha deciso così di lasciare la carriera da velista per dedicarsi completamente a questo nuovo viaggio, all'insegna della scoperta e della conoscenza.

Dopo aver parlato con dirigenti, esperti, scienziati, economisti, nasce in Ellen l'idea di fondare un ente indipendente con l'obiettivo di accelerare la transizione verso un modello di economia circolare, scegliendo di lavorare a livello strategico con aziende influenti in tutti i settori chiave dell'economia e di coinvolgere istituzioni, imprese, ricerca/mondo accademico, investitori, no profit e cittadini per dimostrare l'innovazione circolare su vasta scala ed ispirare le generazioni future a "ripensare, ridisegnare e ricostruire il futuro", delineando e mostrando non solo i criteri fondamentali da seguire ma anche le opportunità che si celano dietro questo nuovo modello economico.

Un modello che sintetizza diverse importanti scuole di pensiero tra cui la Performance Economy [9] (economia delle prestazioni) di Walter Stahel; la filosofia della progettazione

*L'esperienza di
Ellen MacArthur
raccontata a
TED2015*

Le scuole di pensiero

Cradle to Cradle [10] (C2C, tradotto in italiano dalla culla alla culla) di William McDonough e Michael Braungart; la biomimetica [11] articolata da Janine Benyus; l'ecologia industriale [12] di Reid Lifset e Thomas Graedel; il capitalismo naturale [13] di Amory e Hunter Lovins e Paul Hawken; e l'approccio dei sistemi dell'economia blu [14] descritto da Gunter Pauli.⁴⁶

Come riconosciuto anche dall'articolo di Julian Kirchherr e dei suoi collaboratori, precedentemente citato, va ricordato che la Ellen MacArthur Foundation, ha inoltre fornito la definizione considerata tra le più importanti e utilizzate nel mondo per quanto riguarda l'economia circolare. La fondazione definisce l'economia circolare come “un'economia pensata per potersi rigenerare da sola”, in cui esistono due tipi di flussi di materiali: uno biologico, in grado di essere reintegrato nella biosfera ed uno tecnico, destinato ad essere rivalorizzato senza però entrarvi. Tale sistema si basa dunque su una pianificazione che mira a rimettere in circuito il “già utilizzato”, riadoperando i materiali in successivi cicli produttivi, così da ridurre al massimo gli sprechi. L'attenzione si sposta in questo modo sul riutilizzare, l'aggiustare, il rinnovare e il riciclare materiali e prodotti esistenti, trasformando ciò che prima veniva considerato un “rifiuto” in risorsa.⁴⁷

Se si sceglie di adottare un approccio circolare è importante però prestare attenzione a tutte le fasi della produzione, cioè all'intera filiera coinvolta nel ciclo produttivo, e per fare ciò è necessario rispettare alcuni principi sintetizzati dalla Ellen MacArthur Foundation nei 5 criteri fondamentali⁴⁸ esposti di seguito:

1. ECO PROGETTAZIONE

Progettare i prodotti pensando fin da subito al loro impiego a fine vita, quindi con caratteristiche che ne permetteranno lo smontaggio o la ristrutturazione.

2. MODULARITÀ E VERSATILITÀ

Dare priorità alla modularità, versatilità e adattabilità del prodotto affinché il suo uso si possa adattare al cambiamento delle condizioni esterne.

La definizione più utilizzata

I 5 criteri fondamentali per fare economia circolare

3. ENERGIE RINNOVABILI

Affidarsi ad energie prodotte da fonti rinnovabili favorendo il rapido abbandono del modello energetico fondato sulle fonti fossili.

4. APPROCCIO ECOSISTEMICO

Pensare in maniera olistica, avendo attenzione all'intero sistema e considerando le relazioni causa-effetto tra le diverse componenti.

5. RECUPERO DEI MATERIALI

Favorire la sostituzione delle materie prime vergini con materie prime seconde provenienti da filiere di recupero che ne conservino le qualità.

46 «What is a Circular Economy? | Ellen MacArthur Foundation», consultato 8 marzo 2020, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept>.

47 «Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf», consultato 2 marzo 2020, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>.

48 «Cos'è l'Economia Circolare», Economia Circolare (blog), consultato 24 marzo 2020, <https://www.economicircolare.com/cose-leconomia-circolare/>.



3.2 _ Gli obiettivi e le iniziative europee

Obiettivi e modo di operare

Il nuovo paradigma dell'economia circolare tende pertanto verso un sistema economico a ciclo chiuso⁴⁹, che valorizza il principio dell'efficienza mirando ad una progettazione sostenibile e circolare non solo dal punto di vista energetico, con l'impiego di energia rinnovabile, ma anche nell'utilizzo e riutilizzo razionale delle risorse, eliminando l'impiego di sostanze chimiche tossiche che impedirebbero il recupero dei prodotti. Si passa così da una progettazione "a monte" più attenta ai materiali, ai prodotti, ai sistemi, e all'interno di questi ai modelli di business, ad una corretta gestione dei rifiuti "a valle", minimizzando gli scarti e di conseguenza gli impatti sull'ambiente. L'obiettivo principale resta infatti quello di ridurre le emissioni inquinanti e l'impatto che l'uomo ha sull'ambiente, rendendo più efficienti e convenienti i sistemi produttivi, con un guadagno in termini economici, sociali ed ambientali stimato lungo tutto il ciclo di vita.

Le iniziative europee per promuovere l'economia circolare

Non è sbagliato dunque dire che la diffusione di questo nuovo modello circolare di produzione e consumo costituisca un elemento di importanza strategica nel raggiungimento globale sia degli obiettivi di sostenibilità sia nelle opportunità di rilancio dell'economia⁵⁰. La Commissione europea nel 2014 prevedeva infatti che il passaggio da un tipo di economia lineare ad un modello circolare avrebbe portato non solo ad un aumento del PIL dell'1% circa, con conseguente aumento di oltre 2 milioni di posti di lavoro, ma che avrebbe al tempo stesso ridotto le emissioni totali annue di gas serra del 2-4%.⁵¹ Affinché tutto ciò avvenga è fondamentale che la transizione sia supportata da politiche e iniziative sul piano globale, europeo, nazionale, regionale e locale. A tal proposito l'11 Marzo 2020, è stato pubblicato dalla Commissione europea il nuovo piano d'azione per l'economia circolare, nell'ambito del Green New Deal europeo (il nuovo patto verde della Commissione europea che integra gli obiettivi energetico-ambientali con quelli economici e sociali, prefissandosi entro il 2050 un'Europa equa e giusta, con un'economia sostenibile e un impatto ambientale pari a zero in tutti i Paesi membri)⁵².

Il Green New Deal e il Nuovo Piano d'Azione per l'economia circolare

Tra le varie proposte del Green New Deal, il Nuovo Piano d'azione per l'economia circolare intende proporre strategie da adottare nei diversi settori produttivi, che interessino l'intero ciclo di vita dei prodotti, con l'obiettivo di crearne di nuovi che siano sempre più durevoli, sostenibili e che permettano di coinvolgere attivamente i consumatori nel percorso verso l'economia circolare, così che possano direttamente trarre vantaggio dai cambiamenti derivanti da una nuova economia al tempo stesso competitiva ma curante dell'ambiente.

49 Non va dimenticato che in termini pratici non è possibile paragonare l'economia circolare ad un cerchio perfetto, poiché a causa degli scarti e delle perdite presenti l'efficienza risulterà sempre <100%.

50 «UN'ISTANTANEA DELLA SITUAZIONE ATTUALE | Consultazione pubblica sull'Economia Circolare».

51 European Commission, L'economia circolare: collegare, generare e conservare il valore (Lussemburgo: Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, 2014).

52 «Pubblicato il Manifesto di GBC Italia - News - GBC Italia», consultato 17 aprile 2020, http://gbcitalia.org/en_US/web/guest/-/pubblicato-il-manifesto-di-gbc-italia.

Come emerso da un sondaggio recente, commissionato dalla Commissione europea, l'Eurobarometro, i cittadini ritengono che tra le principali cause delle problematiche ambientali vi sia l'aumento dei rifiuti e sempre secondo questi, per poter affrontare e risolvere efficacemente il problema occorre modificare il modo in cui produciamo e consumiamo beni, in linea dunque con gli obiettivi promossi dall'economia circolare. Oltre all'applicazione dei principi dell'economia circolare, tramite l'introduzione sul mercato di prodotti elettronici, TIC (tecnologie dell'informazione e della comunicazione), tessili, progettati per durare più a lungo, per essere facilmente riparati, riciclati, migliorati e riutilizzati, si propone di incentivare la vendita di "prodotti come servizi", seguendo il principio, approfondito in glossario alla nota [9], dell'economia della performance di W. Stahel; si propone inoltre di eliminare progressivamente i prodotti monouso in plastica, dagli imballaggi, agli oggetti per il servizio da tavola e posate, limitando ancor di più in tutte le fasi del ciclo di vita la presenza di microplastiche. Saranno poi introdotte misure per prevenire e ridurre i rifiuti, avviando un modello europeo per l'etichettatura e la raccolta differenziata dei prodotti.⁵³

Cresce dunque sempre di più l'interesse e la volontà di compiere passi concreti verso il nuovo modello economico attento all'ambiente, così da colmare il consistente scarto che ancora oggi vi è tra l'economia circolare e il modello economico complessivo.

L'attuale situazione, registrata nel 'The Circularity Gap Report 2020', vede infatti un ulteriore calo dell'impiego dell'economia circolare all'interno dell'intero sistema economico. Si è passati da un valore d'impiego del 9.1% registrato nel 'The Circularity Gap Report 2018', ad un 9% del 2019, giungendo all'attuale report che ha registrato un impiego del solo 8.6% (gli ultimi dati raccolti sono riferiti all'anno 2017). I motivi di questo trend negativo e del continuo aumento del consumo totale di risorse, che nel 2017 ha superato i 100 miliardi di tonnellate all'anno, possono essere ricondotti agli ancora elevati tassi di estrazione di materiali (92 miliardi di tonnellate all'anno), alle quantità di materiali aggiunti alle scorte (31 miliardi di tonnellate), a quelle disperse ed emesse nell'ambiente e ai crescenti ma ancora bassi livelli di lavorazione e riutilizzo dei prodotti giunti a fine vita (8.6 miliardi di tonnellate).⁵⁴ Le azioni da compiere devono dunque essere ancora più significative per colmare lo scarto esistente, e tra i vari settori, quello delle costruzioni riveste un ruolo fondamentale.

"The Circularity Gap Report 2020"

3.3 Edilizia, CAM e digitalizzazione come strumenti di attuazione dell'economia circolare

Il ruolo dell'edilizia nel consumo di risorse e nella produzione di rifiuti

Come emerso dal 'The Circularity Gap Report 2020' il settore delle costruzioni, con la realizzazione e la manutenzione delle case, degli uffici, delle strade e di tutte le altre infrastrutture ha richiesto nel 2017 ben 38.8 miliardi di tonnellate di risorse, confermandosi il principale consumatore di materiali estratti dalla superficie terrestre e produttore, sempre nel 2017 di 57.4 milioni di tonnellate di rifiuti di costruzione e demolizione, concorrendo al 41,3% del totale prodotto di rifiuti⁵⁵.

Anche a fronte di questi risultati è evidente quanto ci sia realmente bisogno di transizione e di soluzioni corrette, e se è vero che il settore delle costruzioni può essere considerato uno dei principali responsabili, può anche essere visto come uno dei settori strategici per una ripartenza, per un cambiamento doveroso.

Affinché tale cambiamento avvenga, serve però innovare il modo di concepire gli edifici, i prodotti che li compongono e quelli di scarto che ne derivano, serve attivare provvedimenti volti al riutilizzo, al recupero e al riciclaggio, per rispondere all'esigenza di un uso più efficiente delle risorse, mirato alla riduzione degli impatti ambientali complessivi, serve incentivare chi segue strategie di circolarità. In quest'ottica si inseriscono le manovre proposte dal Nuovo Piano d'azione per l'economia circolare, definito all'interno del Green New Deal europeo con l'obiettivo di ridurre l'impatto dei consumi dell'Unione Europea, di raddoppiare la percentuale di riutilizzo/recupero dei materiali, di sostenere una crescita economica efficiente in termini ambientali ed economici per il prossimo decennio⁵⁶ e, nel contesto italiano, dai Criteri Ambientali Minimi, che, attraverso l'inserimento di specifiche volte a ridurre, riutilizzare, riciclare e recuperare, qualificano gli appalti pubblici come circolari, indirizzando la Pubblica Amministrazione verso approvvigionamenti finalizzati a chiudere i cicli di materia ed energia nelle catene di approvvigionamento, riducendo gli impatti ambientali e la produzione di rifiuti nell'intero ciclo di vita. Come ribadito più volte dalla Commissione Europea⁵⁷, gli appalti pubblici svolgono infatti un ruolo chiave per guidare nella transizione verso l'economia circolare.

Con il Nuovo Piano d'azione per l'economia circolare, pubblicato l'11 Marzo 2020, la Commissione Europea, nell'obiettivo di sfruttare il potenziale di aumento dell'efficienza dei materiali e di riduzione degli impatti climatici, ha dichiarato che varerà una nuova

Appalti Pubblici circolari

53 «Piano d'azione per l'economia circolare», Text, European Commission - European Commission, consultato 6 aprile 2020, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/fs_20_437.

54 «Our world is now only 8.6% circular - Circle Economy», consultato 7 aprile 2020, <https://www.circle-economy.com/news/our-world-is-now-only-8-6-circular>.

55 «RapportoRifiutiSpecialiEd.2019n.311_DatiDiSintesi_Rev24Settembre2019.pdf», consultato 10 aprile 2020, http://www.isprambiente.gov.it/files/2019/pubblicazioni/rapporti/RapportoRifiutiSpecialiEd.2019n.311_DatiDiSintesi_Rev-24Settembre2019.pdf.

56 «Nuova strategia per l'economia circolare - Ambiente - Commissione europea», consultato 6 aprile 2020, <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>.

57 «COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI - Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare Per un'Europa più pulita e più competitiva», consultato 2 luglio 2020, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0020.02/DOC_1&format=PDF; «Circular Economy - Principles for Building Design - DocsRoom - European Commission», consultato 8 luglio 2020, <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/39984>.

strategia generale per un ambiente costruito sostenibile. Questa strategia promuoverà i principi di circolarità durante l'intero ciclo di vita degli edifici con interventi che:

- affrontano la questione delle *prestazioni di sostenibilità dei prodotti da costruzione* nel contesto della revisione del regolamento sui prodotti da costruzione, con l'eventuale introduzione di requisiti in materia di contenuto riciclato per alcuni prodotti da costruzione, tenendo conto della loro sicurezza e funzionalità;
- promuovono misure volte a *migliorare la durabilità e l'adattabilità dei beni edificati* in linea con i principi dell'economia circolare per la progettazione degli edifici e predisponendo dei registri digitali per essi;
- utilizzano lo *schema Level(s)* (che si propone come strumento di comunicazione comune per fornire dati e informazioni trasparenti e affidabili, sulla sostenibilità degli edifici) per integrare la valutazione del ciclo di vita negli appalti pubblici e lo schema per la sostenibilità finanziaria dell'UE, valutando l'opportunità di stabilire degli obiettivi di riduzione delle emissioni di carbonio e il suo potenziale di stoccaggio;
- esaminano la possibilità di *rivedere gli obiettivi di recupero dei materiali* fissati nella legislazione dell'UE per i rifiuti da costruzione e demolizione e le relative frazioni di materiale specifico, prestando particolare attenzione ai materiali isolanti che generano un flusso crescente di rifiuti;
- promuovono iniziative per *ridurre l'impermeabilizzazione del suolo*, riabilitare i siti dismessi abbandonati o contaminati e aumentare l'uso sicuro, sostenibile e circolare dei terreni da scavo.

*Nuova strategia
generale per un
ambiente costruito
sostenibile*

Inoltre, l'iniziativa "Renovation Wave" ("Ondata di ristrutturazioni") annunciata nel Green Deal europeo porterà significativi miglioramenti in termini di efficienza energetica nell'UE e sarà attuata in linea con i principi dell'economia circolare, in particolare con l'ottimizzazione delle prestazioni del ciclo di vita e con l'allungamento dell'aspettativa di vita delle costruzioni.⁵⁸

Questa nuova strategia per un ambiente costruito sostenibile, come indicato all'interno del Nuovo Piano d'azione, garantirà coerenza tra i settori strategici interessati, quali il clima, l'efficienza energetica e delle risorse, la gestione dei rifiuti da costruzione e demolizione, l'accessibilità, la digitalizzazione e lo sviluppo di nuove competenze.

58 «new_circular_economy_action_plan.pdf», consultato 17 aprile 2020, https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf.

Nel contesto italiano troviamo invece, i Criteri Ambientali Minimi che sono stati riconosciuti all'interno del D.lgs.50/2016 come strumenti utili per l'attuazione dell'economia circolare, poiché innescano fenomeni che promuovono modelli di produzione e di consumo sostenibili che seguono i principi della circolarità previsti dalle direttive europee sull'economia circolare.

Con particolare riferimento al tema della gestione e dello smaltimento dei rifiuti (coerentemente con l'obiettivo di recuperare e riciclare entro il 2020 almeno il 70% dei rifiuti non pericolosi da costruzione e demolizione)⁵⁹, sono stati inseriti all'interno dei CAM edilizia, per gli appalti di progettazione e di esecuzione, i seguenti criteri, in cui:

- 2.3.7 *Fine vita*, viene richiesto, per le opere di nuova costruzione, inclusi gli interventi di demolizione e ricostruzione, un piano per il disassemblaggio e la demolizione selettiva dell'opera a fine vita, contenente l'elenco di tutti i materiali, componenti edilizi e degli elementi prefabbricati che possono essere riutilizzati o riciclati in seguito;
- 2.4.1.1 *Disassemblabilità*, si debba garantire che almeno il 50% in peso dei componenti edilizi, esclusi gli impianti, possa essere sottoposto ad una demolizione selettiva, per essere poi riciclato o riutilizzato. Di tale percentuale almeno il 15 % deve essere costituito da materiali non strutturali;
- 2.4.1.2 *Materia recuperata o riciclata*, il progettista è chiamato a garantire che almeno il 15% in peso sul totale di tutti i materiali utilizzati per la realizzazione dell'edificio, provenga da materia recuperata o riciclata, di questa percentuale, almeno il 5% deve essere costituito da materiali non strutturali;
- 2.4.2 *Criteri specifici per i componenti edilizi*, vengono fornite indicazioni specifiche sul contenuto di riciclato che ciascun componente edilizio deve avere, in base alla categoria di appartenenza individuata dal decreto (come laterizi, legno, calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezioni, materie plastiche, pietrame..). Nel caso in cui i materiali utilizzati non ricadano nelle categorie previste, viene richiesto di considerare la quota riciclata in maniera tale da arrivare al 15% di riciclato complessivo⁶⁰.

*CAM ed economia
circolare*

59 «allegato_tec_CAMedilizia.pdf».

60 «Progettare edifici pubblici».

- 2.5.1 *Demolizione e rimozione dei materiali*, l'appaltatore deve assicurare che le demolizioni e le rimozioni siano eseguite in modo da favorire il trattamento e recupero delle varie frazioni di materiali, prevedendo che almeno il 70% in peso dei rifiuti non pericolosi generati, escludendo gli scavi, sia avviato a operazioni di preparazione per il riutilizzo, il recupero e il riciclaggio;
- 2.6.4 *Materiali rinnovabili*, viene attribuito un punteggio premiante, “deciso dalla stazione appaltante sulla base di priorità stabilite in relazione ai miglioramenti ambientali ottenibili tramite l'aumento prestazionale del criterio”, al progetto che prevede l'utilizzo di materiali da costruzione derivati da materie prime rinnovabili (ovvero di origine vegetale o animale) per almeno il 20% in peso sul totale dell'edificio escluse le strutture portanti.

I suddetti criteri dovranno essere dimostrati fornendo l'elenco di tutti i componenti edilizi e di tutti i materiali che possono essere riciclati e riutilizzabili, con l'indicazione del relativo peso rispetto al peso totale dei materiali usati per l'intero edificio e con certificazioni allegate che attestino la veridicità del contenuto di riciclato dichiarato, ad esempio utilizzando la dichiarazione ambientale di prodotto di tipo III (EPD) o, qualora l'azienda produttrice non fosse in possesso di alcuna certificazione, tramite un rapporto di ispezione rilasciato da un organismo di ispezione, in conformità alla ISO/IEC 17020:2012

Tali specifiche evidenziano nuovamente l'importanza assunta dal ciclo della materia, non solo in merito alle scelte e ai principi della bioedilizia, ma anche all'interno delle politiche improntate alla circolarità.

Se si vuole dunque orientare il settore delle costruzioni verso i principi dell'economia circolare è necessario prima di tutto considerare che in quest'ottica, i materiali che compongono l'opera edilizia, diventeranno a fine vita nutrienti per altri cicli tecnici, ciò imporrà al progettista di pensare già in fase di progettazione alla fine vita dell'edificio, orientandolo verso una costruzione modulare e disassemblabile, che preveda l'impiego di elementi e materiali facilmente recuperabili, riutilizzabili, riciclabili e smaltibili, prediligendo modalità produttive basate sulla prefabbricazione e sull'assemblaggio a secco, come suggerisce anche il principio n.21 rivolto in particolare ai produttori di prodotti da costruzione, in merito al tema della durabilità dell'edificio, enunciato nel Documento⁶¹ della Commissione Europea del 21 febbraio 2020 per l'economia circolare nel settore edile.

Costruzioni modulari, disassemblabili e con materiali riciclabili per l'economia circolare

61 «Circular Economy - Principles for Building Design - DocsRoom - European Commission».

*BAMB
Edificio come banca
di materiali*

*Un ripensamento del
processo edilizio*

*Strumenti digitali
a supporto
dell'economia
circolare*

Con questi presupposti, l'edificio entra a far parte di un sistema basato sull'urban mining, cioè su un approccio che considera le costruzioni come un'enorme miniera di materie prime, e prevedendo l'individuazione di tali “giacimenti”, la quantificazione e il recupero delle materie prime seconde, introduce il concetto di edificio come banche di materiale (Building As Material Banks – BAMB)⁶².

L'altro concetto da tenere ben presente è ancora una volta quello di ciclo di vita.

Un progetto realizzato secondo i principi dell'economia circolare, che guarda cioè a tutto il ciclo di vita dell'opera edilizia, che mira alla riduzione dei rifiuti, all'ottimizzazione dell'uso dei materiali, alla riduzione degli impatti ambientali connessi ai processi e ai materiali scelti, necessita inevitabilmente di una profonda connessione tra le diverse fasi del processo, da quella di progettazione, di produzione, d'uso fino a quella di riutilizzo. Tale connessione, caratterizzata da un necessario scambio di informazioni tra i diversi attori del processo edilizio, obbliga a ripensare l'intero ambiente costruito, tramite una nuova strategia di progettazione che promuove la collaborazione tra i diversi attori coinvolti lungo tutto il ciclo di vita e la condivisione trasparente di tutte le informazioni utili provenienti dai vari settori, permettendo, se realizzata efficacemente, di ottimizzare il consumo di risorse, di ridurre gli sprechi energetici e gli scarti generati nel processo di produzione, di gestire in maniera efficiente l'intera vita del prodotto edilizio, portando vantaggi non solo in termini ambientali ma anche economici.

Ma per poter fare ciò, come evidenziato nel Documento di inquadramento e di posizionamento strategico del Ministero dello Sviluppo Economico, in merito all'introduzione dell'economia circolare nel panorama italiano, diventa di basilare importanza l'utilizzo di strumenti digitali condivisi, ideati appositamente a supporto dell'intera filiera delle costruzioni⁶³. Secondo quanto dichiarato anche dalla Commissione Europea stessa infatti, per favorire l'incremento della circolarità e ottenere notevoli risparmi di materie prime in tutte le catene di valore e in tutti i processi produttivi, è necessario⁶⁴:

- sviluppare o stimolare gli attori della costruzione a sviluppare linee guida e strumenti integrati per la progettazione e il processo decisionale che tengano conto degli impatti a lungo termine;
- adottare strumenti che siano in grado di raccogliere tutti i dati necessari dell'intero ciclo di vita e che possano supportare il trasferimento di tali informazioni;

62 Andrea Campioli et al., «Progettare il ciclo di vita della materia: nuove tendenze in prospettiva ambientale», *Techne* 16, n. 16 (2018): 86–95, <https://doi.org/10.13128/Techne-23016>. which accounts for 33.5% of waste produced in Europe (Eurostat, 2016)

63 «verso-un-nuovo-modello-di-economia-circolare_HR.pdf», consultato 17 febbraio 2020, http://consultazione-economiacircolare.minambiente.it/sites/default/files/verso-un-nuovo-modello-di-economia-circolare_HR.pdf.

64 «Circular Economy - Principles for Building Design - DocsRoom - European Commission».

- promuovere l'uso di tecnologie digitali per la tracciabilità, la rintracciabilità e la mappatura delle risorse;⁶⁵
- utilizzare strumenti sviluppati per consentire valutazioni rapide e accurate del potenziale di recupero, riutilizzo e riciclaggio dei prodotti e dei sistemi specifici e per valutare delle proposte di valore corrispondenti;
- utilizzare strumenti che supportino con facilità la manutenzione, gli adattamenti, la riparazione, il monitoraggio e costi di gestione e che forniscano informazioni sulle esigenze di manutenzione degli edifici stessi;
- supportare l'adozione di strumenti digitali in modo che la futura decostruzione dell'edificio, incluso il riciclaggio e il riutilizzo, sia resa più semplice e sicura.

Occorre sfruttare dunque quegli “strumenti di modellazione elettronica e di informazione per l'edilizia”, meglio conosciuti come strumenti di “Building Information Modeling”, promossi dalla stessa Commissione Europea come strumenti necessari per raggiungere tali macro-obiettivi ed introdotti per la prima volta in Europa, nel settore delle costruzioni, con Direttiva 2014/24/UE sugli appalti pubblici e recepiti in Italia, prima con Legge n.11 del 2016 e poi richiamati nel D.lgs.50/2016, il quale sancisce la facoltà per le stazioni appaltanti di richiedere, nella progettazione e negli interventi di recupero pubblico, l'uso di “metodi e strumenti elettronici specifici per l'edilizia”.

In questo modo la rivoluzione digitale entra a far parte anche nel mondo dell'edilizia e l'utilizzo di tali strumenti a supporto del settore consentirà di ottimizzare la gestione dell'intero ciclo di vita dell'edificio, facilitando la collaborazione tra le diverse figure professionali e consentendo un agevole scambio di dati senza perdita di informazioni.

Di conseguenza un'azione combinata tra la *digitalizzazione*, riconosciuta sia dalle politiche europee che dalle politiche nazionali come uno strumento fondamentale per accelerare la transizione verso il nuovo modello economico (con particolare riferimento al “Building Information Modeling” – BIM), il *settore delle costruzioni*, indirizzato verso scelte sostenibili e quello degli *appalti pubblici*, guidato dai CAM, porterà inevitabilmente ad ottenere risultati concreti anche in termini di economia circolare.

*La rivoluzione digitale
nel settore edilizio*

⁶⁵ «COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI - Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare Per un'Europa più pulita e più competitiva».

04.

BIM:

Building Information Modeling

- 4.1 _ Introduzione alla metodologia BIM
- 4.2 _ Uno “strumento” funzionale per la bioedilizia
- 4.3 _ La sua applicazione a vantaggio della verifica dei CAM

4.1 _ Introduzione alla metodologia BIM

Per dimostrare che l'utilizzo del Building Information Modeling associato ad un costruire sostenibile porta non solo alla diffusione dell'economia circolare ma anche a vantaggi ambientali ed economici, è importante soffermarsi sulla filosofia che sta alla base della sua ideazione.

Il termine "BIM" è l'acronimo appunto di Building Information Modeling e cioè di modello informativo di una costruzione. Esso va inteso come una metodologia, come un metodo di lavoro (e non come un semplice strumento software) che consente di generare un modello virtuale contenente tutte le informazioni relative all'intero ciclo di vita dell'edificio.

La sua introduzione nel mondo delle costruzioni, rappresenta una profonda innovazione per il settore dell'edilizia, non tanto per le sue potenzialità dal punto di vista della produzione dei diversi elaborati di progetto, ma per l'approccio organico che mira verso una riappropriazione della progettazione come opera collettiva, il cui l'obiettivo, come dichiarato dal NBIMS (National Building Information Modeling Standard), è quello di realizzare un processo più efficiente di pianificazione, progettazione, costruzione, gestione e manutenzione attraverso l'utilizzo di un modello standardizzato di informazioni in formato digitale, create o raccolte, per ogni edificio, nuovo o esistente, in un formato utilizzabile da tutti i soggetti interessati nell'intero ciclo di vita [15].

Dal punto di vista tecnico, grazie al BIM, si assiste infatti ad un'ulteriore evoluzione della progettazione, passando da una modellazione informatica geometrica, in cui le entità bidimensionali e tridimensionali realizzate servono come supporto per la visualizzazione delle geometrie dell'edificio, ad una modellazione informatica parametrica, in cui le geometrie sono in realtà componenti costruttivi (travi, pilastri, muri, finestre, ecc.) parametrici, completi cioè di tutte le caratteristiche (geometriche, relative ai materiali, alle proprietà fisiche, ecc.) che li qualificano nella realtà e con regole che modificano in maniera automatica le geometrie a cui sono associate. Dal semplice disegno di oggetti architettonici parametrici, il cui livello di dettaglio è indipendente dalla scala di rappresentazione, si ottengono infatti automaticamente piante, prospetti, sezioni, assonometrie, tutte costantemente uniformate ed aggiornate rispetto al progetto, così che ad ogni variazione del modello virtuale BIM corrisponda una variazione automatica e dinamica di tutti gli elaborati progettuali. Questa interconnessione tra elaborati diversi ne semplifica la produzione e, annullando la possibilità di commettere errori o avere disallineamenti tra di essi, permette un aumento della produttività e una riduzione dei tempi e costi connessi a tali errori.⁶⁶

*La metodologia
BIM:
obiettivi e principi*

La "tecnica" BIM

Il principale valore innovativo della metodologia BIM risiede però nella possibilità di condivisione delle informazioni, senza perdita di dati, da parte di tutti gli attori coinvolti nel processo edilizio, all'interno di un unico ambiente virtuale BIM. Ciascun professionista (architetto, strutturista, impiantista) è infatti chiamato a realizzare il modello virtuale dell'edificio, con le annesse informazioni, in relazione alla disciplina che gli compete. Ogni modello parametrico verrà poi caricato all'interno di un unico ambiente virtuale di lavoro, permettendo così sia una raccolta globale di tutte le informazioni specifiche per ogni settore, sia un immediato controllo tra l'operato delle diverse discipline, evidenziando così già in fase di progettazione le possibili interferenze tra i differenti comparti, che normalmente emergono solo in fase di cantiere, riducendo anche in questo caso i tempi e i costi aggiuntivi che tali errori comportano.

Quello che si ottiene come risultato di questa progettazione integrata (in seguito ad una serie di passaggi che portano il modello BIM a progredire, da un livello di definizione geometrico/informativa basso (LOD 100) ad un livello alto (LOD 500)) [16] è pertanto un unico modello virtuale, che prende il nome di modello integrato o federato, del mio edificio reale, contenente tutte le informazioni necessarie sia per controllare, gestire e pianificare al meglio tutti gli interventi, dalla realizzazione alla manutenzione e dismissione dell'edificio, sia per valutarne le prestazioni stesse già in fase progettuale.

Rispetto ad una progettazione tradizionale, che lavora in 2D-3D, possiamo infatti dire che la metodologia BIM prevede di lavorare ad altre dimensioni.

Nello specifico in:

- 3Dm, aggiungendo l'aspetto *materico* ad un oggetto tridimensionale;
- 4D, aggiungendo la variabile *tempo* ad ogni oggetto del modello, così da pianificare dinamicamente la gestione temporale di tutto il ciclo di vita dell'opera, riducendo e ottimizzando i tempi di una commessa;
- 5D, con la pianificazione dei *costi* degli oggetti nel tempo. Man mano che il modello si sviluppa, la stima dei costi risulta essere sempre più precisa, poiché i costi vengono valutati direttamente tramite il modello, in funzione delle attività da svolgere, delle dimensioni e della quantità effettiva degli oggetti⁶⁷, permettendo anche in questo caso una computazione di tipo dinamico;
- 6D, raggiungendo una definizione informativa del modello pari all'edificio costruito, è possibile gestire e programmare una *manutenzione* dell'oggetto edilizio e di tutte le sue componenti durante l'intero ciclo di vita e la possibilità di valutare gli effetti dei probabili

*Collaborazione e
condivisione dei dati*

Il modello federato

*Una pianificazione
attenta agli sprechi*

Le 7 dimensioni del BIM

interventi sul modello virtuale consentirà di definire in maniera oggettiva quale sarà l'intervento migliore⁶⁸, apportando benefici sia in termini di spese che di ottimizzazione della *gestione* operativa;

- 7D, guardando alla *sostenibilità* del progetto tramite la gestione delle esternalità ambientali, economiche e sociali. Già dalle fasi di progettazione si ha infatti la possibilità di analizzare le prestazioni energetiche dell'edificio, consentendo di adottare in corso d'opera soluzioni tecniche più performanti e più idonee a garantire un minor consumo energetico⁶⁹, fino ad ottenere, con il modello concluso caricato di tutte le informazioni e i dati necessari, gli strumenti utili per la definizione delle analisi e delle certificazioni ambientali.

In termini di sostenibilità ambientale, ma anche di economia circolare, è importante evidenziare che questo tipo di approccio, che sfrutta la digitalizzazione per ottimizzare la gestione dell'intero ciclo di vita dell'edificio, può apportare dei miglioramenti anche in merito al tema del riciclaggio, del riutilizzo dei materiali e della riduzione degli impatti ambientali connessi alle diverse fasi del ciclo di vita. Grazie infatti all'utilizzo di strumenti "BIM based" posso pianificare in maniera accurata le diverse fasi evitando gli sprechi di materiale, e di conseguenza producendo una riduzione del consumo delle risorse, posso gestire i rifiuti prodotti e pianificarne direttamente il riciclaggio e il riutilizzo, conoscendo tutte le caratteristiche dei materiali stessi, posso ridurre gli impatti ambientali connessi alle diverse fasi del ciclo di vita, attraverso una valutazione preventiva ed una programmazione accurata di tutti gli interventi da effettuare.

67 «Il BIM e le dimensioni digitali», BIM Strutturale (blog), 7 giugno 2019, <https://www.bimstrutturale.org/bim-dimensioni-digitali/>.

68 ACCA software, GUIDA AL BIM - La rivoluzione digitale dell'edilizia - II edizione.

69 ing Vincenzo Barbagallo, «Il BIM e le sue Dimensioni -secondo le UNI 11337- |», consultato 7 luglio 2020, <https://www.progettiamobim.com/blog/approfondimenti/il-bim-e-le-sue-dimensioni-secondo-le-uni-11337/>.



4.2 _ Uno “strumento” per la bioedilizia

Uno strumento di ottimizzazione

In quanto “strumento” di ottimizzazione, attento all’intero ciclo di vita dell’opera edilizia, possiamo riconoscere nel BIM una scelta funzionale per il raggiungimento degli obiettivi della bioedilizia e per la sua applicazione. Grazie al suo particolare approccio, il BIM consente infatti di ridurre e risparmiare sulla quantità di materiali utilizzati, di razionalizzarne e pianificarne il recupero, di controllare le emissioni e i consumi di energia dell’edificio, prevedendone il comportamento in relazione alle scelte di progetto e di gestire in maniera efficiente ed efficace tutte le informazioni relative all’intero processo edilizio, comprese le informazioni di carattere ambientale.

Vediamo infatti, come già la stessa metodologia BIM, nell’ottica di una maggiore e più efficiente gestione dei materiali impiegati, orienti il settore verso costruzioni prefabbricate, offsite e modulari, che consentono un’accurata pianificazione, facilitano la fabbricazione, il trasporto e l’installazione, con un incremento della produttività, un maggiore controllo sugli impatti ambientali ed una riduzione degli sprechi dovuti all’acquisto di materiale in eccedenze e alla produzione di scarti durante le fasi del processo⁷⁰, in accordo con quelle che sono le scelte tipologiche e tecniche della bioedilizia.

Utile alla gestione delle tematiche della bioedilizia

Possiamo poi trovare un riscontro positivo nell’utilizzo degli strumenti BIM in un progetto di edilizia sostenibile, non solo in merito al risparmio di materiali e di tempo che ne deriva, ma anche in funzione dell’attenzione che la bioedilizia pone al luogo di intervento. Progettando in relazione ad esso, la bioedilizia vuole sfruttare al massimo le potenzialità e gli strumenti BIM possono facilitare in questo, poiché consentono, grazie all’inserimento di specifici dati, quali la localizzazione e la topografia, di ottimizzare le scelte relative all’orientamento, alla forma dell’edificio, al rapporto tra le superfici opache e trasparenti e di valutare gli apporti solari, l’illuminazione naturale e gli ombreggiamenti in funzione del contesto reale in cui si inserisce l’opera.⁷¹ Tali strumenti consentono inoltre di ottimizzare la gestione delle acque e dei rifiuti da cantiere, come richiesto tra gli obiettivi della bioedilizia e di valutare preventivamente le prestazioni energetiche dell’edificio e i suoi reali fabbisogni. Simulando il comportamento della costruzione grazie al modello digitale, arricchito di tutte le specifiche in merito ai materiali utilizzati, all’impiego di fonti rinnovabili e alle scelte impiantistiche fatte, il BIM consente di analizzare nell’immediato, gli effetti che le differenti disposizioni progettuali hanno sull’ambiente circostante e sulla qualità dell’abitare, permettendo una pianificazione rigorosa delle costruzioni, al fine di ottenere un minore impatto ambientale.

Simulatore, per una pianificazione rigorosa

Inoltre, proprio grazie alla potenzialità di associare agli elementi costruttivi e ai materiali, informazioni ambientali normalmente gestite da differenti operatori, la metodologia BIM

⁷⁰ «5 tendenze da seguire per le tecnologie di bioedilizia», Redshift IT (blog), 1 maggio 2018, <http://enewsletters.constructionexec.com/techtrends/2017/10/five-trends-to-watch-for-green-construction-technology/>.

⁷¹ Monica Lavagna et al., «La dimensione ambientale del progetto esecutivo. Esperienze e prospettive future», *Techne* 18, n. 18 (2019): 138–146, <https://doi.org/10.13128/techne-7520>.

4.3 _ La sua applicazione a vantaggio della verifica dei CAM

si dimostra uno strumento molto importante per il controllo e la gestione della dimensione ambientale del progetto e più in generale della sostenibilità.

Come evidenziato all'interno della sua "settima dimensione", il BIM può essere utilizzato come supporto per la produzione delle analisi e delle certificazioni ambientali, attraverso l'impiego di specifici plug-in che sfruttano le informazioni raccolte all'interno dei vari modelli parametrici.

In questo contesto, la possibilità di caricare il modello di tutte le informazioni utili all'ottimizzazione e alla gestione del progetto, provenienti dai vari settori specifici, porta con sé un ulteriore vantaggio che si esplica attraverso il processo di verifica e validazione del singolo modello o del modello federato, denominato model checking.

Model checking

Il *model checking*, letteralmente il controllo del modello, può avvenire mediante specifici Software, secondo due tipi di livelli, uno geometrico e uno normativo. La rilevazione di un'interferenza geometrica tra gli elementi del modello, a cui nella realtà sarebbero associate interferenze fisiche tra gli elementi architettonici, impiantisti e strutturali, visibili generalmente solo in fase di cantiere, prende il nome di *clash detection*, ed è attuabile grazie alla clash avoidance del BIM, ovvero alla capacità di evitare, sfruttando i metadati associati ai singoli componenti, il verificarsi di errori di progettazione che richiederebbero un dispendio temporale ed economico in corso d'opera, come accennato nel primo paragrafo di questo capitolo. In funzione della gravità della tipologia dello scontro le interferenze si dividono in hard, se l'interferenza è fisicamente grave (ad esempio se vi è una compresenza tra due elementi nel medesimo spazio) o in soft, se non è stato raggiunto un valore di buon funzionamento per l'oggetto o per l'edificio (ad esempio se non è stato rispettato un rapporto aero-illuminante o se un arredo intralcia il raggio di apertura di una porta).

Code checking

La verifica invece dell'attinenza del modello alle richieste progettuali e normative, prende il nome di *code checking* ed avviene grazie alla traduzione del corpus normativo in un database di regole, generalmente tutte quelle che si possono scrivere in termini di parametri, come le norme spaziali geometriche e quelle funzionali, con cui viene confrontato il modello parametrico. Tale processo, che può essere paragonato ad una sorta di collaudo virtuale dell'intera struttura, evidenzia, le difformità rilevate, graficamente e le riporta sotto forma tabellare esportabile nei formati .excel, .rtf o .pdf, avvantaggiando in termini di tempo e di affidabilità dei dati, il processo di comunicazione tra i vari professionisti.

Il BIM, presentandosi dunque come un utile strumento di supporto per la verifica dell'edificio, come un anticipatore di problemi, che permette di risparmiare in termini di tempi e costi, di ottimizzare la produzione e la gestione degli edifici, con vantaggi tangibili per di più in termini di qualità edilizia, è visto positivamente anche, e soprattutto, per il settore della Pubblica Amministrazione.

Come specificato nell'art.23 del D.lgs.50/2016, la Pubblica Amministrazione è infatti chiamata ad assicurare il progressivo utilizzo di metodi e strumenti elettronici specifici

modellazione per l'edilizia, per la realizzazione e le connesse verifiche dell'attività di progettazione pubblica, articolata secondo tre livelli successivi di approfondimenti tecnici in progetto di fattibilità tecnica ed economica, progetto definitivo e progetto esecutivo. In merito a questa richiesta, il 1 Dicembre 2017, il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, con DM 560/2017, ha definito le modalità e i tempi di progressiva introduzione dell'obbligatorietà dell'utilizzo del BIM, nelle fasi di progettazione, costruzione, gestione delle opere e relative verifiche, secondo la seguente tempistica:

- a) per i lavori complessi relativi a opere di **importo a base di gara pari o superiore a 100 milioni di euro**, a decorrere dal **1° gennaio 2019**;
- b) per i lavori complessi relativi a opere di **importo a base di gara pari o superiore a 50 milioni di euro**, a decorrere dal **1° gennaio 2020**;
- c) per i lavori complessi relativi a opere di **importo a base di gara pari o superiore a 15 milioni di euro**, a decorrere dal **1° gennaio 2021**;
- d) per le opere di **importo a base di gara pari o superiore alla soglia di cui all'art.35 del codice dei contratti pubblici**, a decorrere dal **1° gennaio 2022**;
- e) per le opere di **importo a base di gara pari o superiore a 1 milioni di euro**, a decorrere dal **1° gennaio 2023**;
- f) per le **nuove opere di importo a base di gara pari inferiore a 1 milioni di euro**, a decorrere dal **1° gennaio 2025**;

*Progressiva
obbligatorietà del BIM*

Secondo gli art. 3,4,5 le stazioni appaltati per poter richiedere l'utilizzo della metodologia BIM devono però prima predisporre un piano di formazione del personale, di acquisizione hardware e software, di definizione del processo di controllo e gestione dei dati e dei conflitti, prevedendo formati aperti e un ambiente di condivisione per garantire l'interoperabilità, fondamentale per la metodologia BIM. Tali direttive, anche se non prevedono sanzioni in caso di mancato utilizzo del BIM, che comunque costituisce parametro di valutazione in termini di requisiti premianti per l'aggiudicazione degli appalti, servono per indirizzare il mercato verso una strada più vantaggiosa, verso una riduzione dei costi e degli sprechi.

Pertanto il BIM, in quanto strumento parametrico di accelerazione dei processi, abbassamento e ottimizzazione dei costi, capace di raccogliere una consistente quantità

di dati e di agevolarne l'estrazione, che controlla e verifica l'intero ciclo di vita dell'opera, può diventare, proprio grazie alla sua capacità di ipertestare l'edificio nel suo complesso, uno metodo di approvazione adottato dalla Pubblica Amministrazione ed anche un utile supporto per la facilitare ed accelerare la verifica da parte delle aziende, dei progettisti, delle imprese e delle stazioni appaltanti del rispetto dei Criteri Ambientali Minimi.

05.

CONSIDERAZIONI

SULL'APPLICAZIONE AD UN CASO STUDIO

- 5.1 _Il software TERMOLOG e il Modulo CAM per la verifica
- 5.2 _Il caso studio
- 5.3 _Applicazione e considerazioni

5.1 _ Il software TERMOLOG e il Modulo CAM per la verifica

Con l'obiettivo comune di innovare il settore delle opere pubbliche in ambito edile e con la visione rivolta all'intero ciclo di vita dell'opera edilizia, la metodologia BIM e i Criteri Ambientali Minimi guidano la Pubblica Amministrazione verso una consapevole e sostenibile innovazione del settore delle costruzioni.

La Pubblica Amministrazione, chiamata a utilizzare e a favorire l'utilizzo della metodologia BIM e a introdurre e verificare il rispetto dei Criteri Ambientali Minimi, diventa così inevitabilmente, un fattore trainante ma anche un banco di prova per un'indispensabile trasformazione dell'intero settore edile.⁷²

In questo contesto, in funzione della necessità di agevolare la verifica e il controllo del rispetto dei CAM e del potenziale riconosciuto alla metodologia BIM e agli strumenti che l'adottano, la software house italiana "Logical soft", che sfrutta la tecnologia OPEN BIM, offrendo strumenti per l'edilizia e per l'ingegneria, in grado di interfacciarsi tra loro e con altri software CAD BIM, attraverso il formato standard IFC, ha ideato un modulo apposito, denominato "Modulo CAM", all'interno del software energetico TERMOLOG. Il Modulo CAM consente di verificare il rispetto di alcuni Criteri Ambientali Minimi, di compilare automaticamente e stampare "la relazione di progetto e la relazione di asseverazione a fine lavori, supportando il progettista in tutte le fasi della commessa alla chiusura lavori (...), riducendo notevolmente i tempi di lavoro richiesti"⁷³ e dimostrandosi per la Stazione Appaltante ma anche per il progettista un valido strumento per controllare il rispetto dei CAM.

Tra i criteri previsti dal DM 11 ottobre 2017 per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori relativi a nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici e richiesti alle Stazioni Appaltanti, quelli verificabili attraverso il Modulo CAM sono i criteri:

- 2.3.2 *Prestazione energetica*: verifica dei requisiti definiti per gli edifici nZEB dal DM 26/06/2015 (DM Requisiti Minimi), verifica della capacità areica interna periodica (Cip) e verifica della temperatura operante estiva per gli ambienti più sfavorevoli;
- 2.3.3 *Approvvigionamento energetico*: verifica dell'utilizzo di fonti rinnovabili;
- 2.3.5.1 *Illuminazione naturale*: verifica del fattore di luce diurna medio;
- 2.3.5.2 *Areazione naturale e ventilazione meccanica controllata*: verifica del RAI (rapporto aeroilluminante) e dei ricambi d'aria minimi;

*CAM verificabili con
TERMOLOG*

⁷² «Progettare edifici pubblici».

⁷³ «Tutti i moduli | Logical Soft», consultato 11 luglio 2020, <https://www.logical.it/software-per-la-termotecnica/tutti-i-moduli>.

- 2.3.5.3 *Dispositivi di protezione solare*: verifica del fattore di schermatura solare nei giorni 21 giugno e 21 dicembre;
- 2.3.5.6 *Comfort acustico*: verifica del rispetto dei requisiti acustici passivi e del tempo di riverberazione (con ACUSTILOG);
- 2.3.5.7 *Comfort termo-igrometrico*: verifica dell'assenza di condensa superficiale e interstiziale e dell'assenza di formazione di muffa nei ponti termici (con Modulo PONTI TERMICI FEM)
- 2.4.1 *Disassemblabilità – Materia recuperata o riciclata*: verifica delle percentuali in peso dei materiali riciclabili a fine vita e del contenuto di materia riciclata.

Proprio in relazione all'importanza riconosciuta alla scelta dei materiali, in funzione delle loro caratteristiche, al loro ciclo di vita e alla necessità di recupero e riutilizzo, seguendo i principi dell'economia circolare ed in funzione della potenzialità offerta dal software Termolog per la valutazione dei Criteri Ambientali Minimi, nasce l'idea di provare ad eseguire una verifica sulla *Disassemblabilità* e la *Materia recuperata o riciclata*, con un progetto studio di bioedilizia, che è stato oggetto del Laboratorio di Progetto, Tecnologia e Ambiente nell'anno 2018/2019.

5.2 _ Il caso studio

Caratteristiche e qualità del pacchetto firmato Novello

Il progetto sfrutta la tecnologia proposta dall'azienda Novello, che ha interamente industrializzato il processo di costruzione di telai prefabbricati in legno che utilizzano paglia di riso come coibente di riempimento del pannello prefabbricato, riducendo i tempi di costruzione in cantiere e garantendo non solo elevate prestazioni del sistema prefabbricato, ma anche un approvvigionamento e un'elevata qualità del materiale grazie ai flussi controllati di raccolta e stoccaggio.

“La stratigrafia del telaio in legno e paglia (..) si compone unicamente di materiali di origine naturale e sfrutta, come elemento principale, le caratteristiche isolanti termiche ed acustiche della paglia di riso, – come si legge direttamente dal sito dell'azienda – la paglia di riso infatti, oltre ad essere un ottimo isolante, garantisce la perfetta traspirabilità delle pareti in cui viene utilizzata ed evita pertanto fenomeni di condensa superficiale assicurando un ottimo comfort negli spazi abitativi e un ambiente di vita più sano. La paglia di riso è un materiale biodegradabile, annualmente rinnovabile, maneggiabile con facilità ed il suo costo in termini di energia combustibile per la raccolta, l'imballaggio e il trasporto in cantiere (energia “grigia”) è di gran lunga più basso di qualsiasi altro materiale utilizzato in edilizia; inoltre, poiché le piante assorbono l'anidride carbonica, è un materiale capace di ridurre le emissioni nell'atmosfera.”⁷⁴

Seguendo dunque i principi dell'edilizia sostenibile, Novello risponde adeguatamente, con la soluzione proposta, come da loro dichiarato, alle prescrizioni e alle norme vigenti in materia di energetica, antisismica e resistenza al fuoco e vanta:

- Certificato di approvazione qualità ISO 9001:2008;
- Attestato di conformità S.A.L.E. – “Sistema Affidabilità Legno Edilizia”;
- Certificato di produzione Zero CO₂;
- Attestazione Ministeriale Trasformazione di Strutture in Legno;
- Certificato di lavorazione e prodotti PEFC.

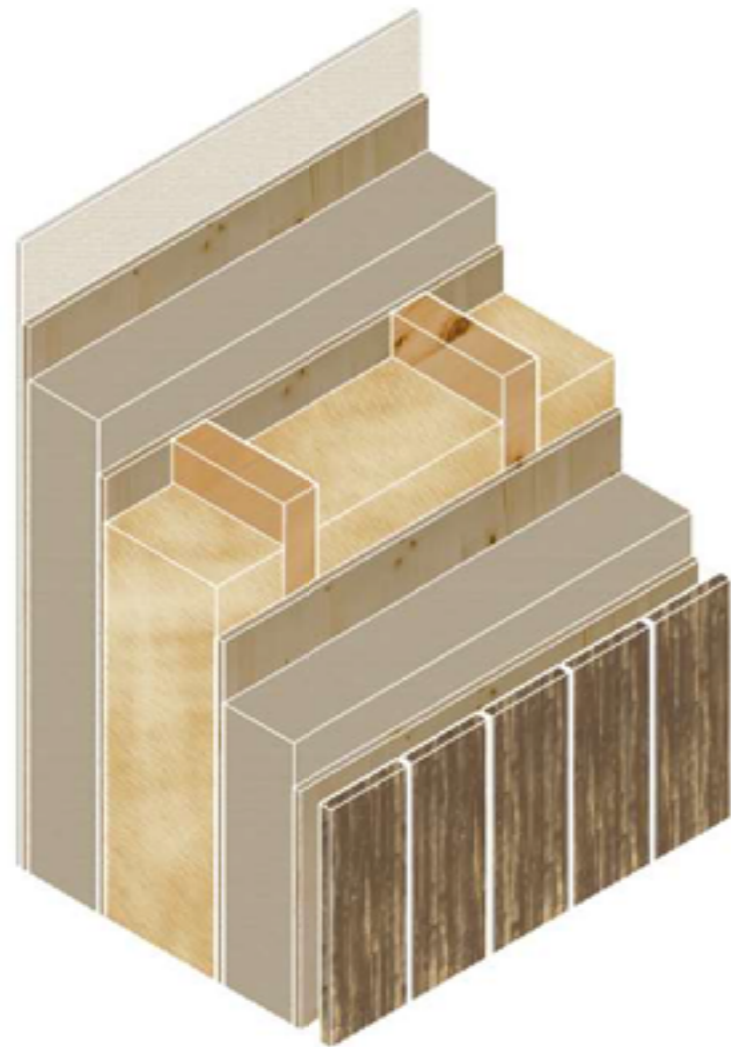
Certificazioni

L'azienda si dimostra inoltre al passo con i tempi, offrendo al progettista, che vuole intraprendere un progetto di bioedilizia, i modelli BIM, in formato .ifc, delle sue principali soluzioni tecnologiche.

Con questi strumenti cerchiamo pertanto adesso di capire come avviene la verifica all'interno del Modulo CAM del software Termolog e, se e quali problematiche si possono riscontrare.

74 «TECNICA COSTRUTTIVA: TELAIO IN LEGNO E PAGLIA», Novello - le migliori case in paglia, consultato 17 luglio 2020, <http://www.novellousedipaglia.it/tecnologia/tecnica-costruttiva-telaio-in-legno-e-paglia>.

5.3 _ Applicazione e considerazioni



STRATIGRAFIA TIPO
Parete ventilata, con telaio di legno e paglia di riso

Poiché il progetto di laboratorio viene adoperato come strumento utile per fare delle riflessioni, e non per verificare realmente l'intero edificio, si procederà, in questo caso, con la sola realizzazione dell'involucro edilizio.

Generalmente, per la definizione del modello di progetto, si hanno due possibilità. È possibile creare il modello direttamente con TERMOLOG, tramite il modellatore BIM integrato, seguendo i moduli sequenziali che propone il software nella toolbar in alto o importare, nel caso in cui si disponesse di un modello BIM dell'edificio, il formato .ifc del progetto, così da condividere tutte le informazioni già presenti all'interno del modello stesso e procedere con l'integrazione dei dati mancanti per effettuare le specifiche verifiche. In questo caso, non disponendo del modello BIM del progetto ho deciso di appoggiarmi direttamente al modellatore di TERMOLOG.

Dopo aver selezionato dalla schermata principale la tipologia di intervento ("Nuova costruzione o demolizione e ricostruzione") e l'ubicazione, poiché ai fini della verifica sulla Disassemblabilità e sul contenuto di Materia recuperata o riciclata le indicazioni relative alle tipologie di impianti presenti, alle pratiche edilizie e alla compilazione dell'APE (Attestato di Prestazione Energetica) e dell'AQE (Attestato di Qualificazione Edilizia) non sono necessarie, passo direttamente al menù involucro di TERMOLOG per la definizione della geometria del progetto. [FIG.1]

Dal momento che l'azienda Novellocase ha messo a disposizione il file di interscambio .ifc del suo prototipo di parete perimetrale con facciata ventilata e finitura a secco, simile alla soluzione progettuale individuata all'interno del progetto di laboratorio, procedo con l'importazione del file .ifc così da poter utilizzare per le verifiche direttamente i dati forniti dall'azienda. Al momento dell'importazione si apre una schermata che consente di selezionare le modalità con cui si intende procedere con l'importazione IFC, nello specifico indico a TERMOLOG di importare le stratigrafie delle strutture con tutti i materiali presenti, così che la stratigrafia venga inserita automaticamente all'interno del menù strutture per poterla poi utilizzare nel passaggio successivo per la definizione dell'involucro edilizio. [FIG.2]

Tramite l'input grafico di TERMOLOG è possibile inoltre importare anche mappe catastali (.jpg o .pdf) da poter ricalcare o piante CAD (.dwg o .dxf), da cui il software è in grado di riconoscere direttamente i profili dei locali o la geometria dell'involucro disperdente, questo tipo di importazione, da file .dwg o .dxf, necessita però di una preparazione specifica per poter sfruttare le piante CAD correttamente, per tanto ho deciso di procedere con l'importazione della pianta di progetto in formato pdf, scalata inserendo la misura in metri di due punti di cui conosco la distanza.

A questo punto è possibile definire l'involucro edilizio tramite lo strumento parete, selezionando tra le pareti preimpostate quella appena inserita con il file IFC. [FIG.3]

Successivamente, per poter effettuare qualsiasi tipo di verifica, viene richiesto di individuare i locali all'interno del progetto, che in questo caso supporremo come un unico grande locale, utilizzando il comando di riconoscimento automatico locale da punto interno. [FIG.4]

Il passo successivo da compiere per effettuare la verifica è quello di controllare, all'interno del menù struttura, che i materiali della stratigrafia della parete, per i quali voglio eseguire la verifica, siano completi oltre che delle caratteristiche termofisiche anche di quelle relative alla percentuale di materia disassemblabile, riciclata e recuperata.

Aperto il suddetto riquadro notiamo subito che l'unica informazione fornita insieme allo spessore dei singoli strati all'interno del file IFC è il valore della resistenza termica del materiale, pertanto dovremmo provvedere ad inserire personalmente le informazioni mancanti per poter procedere con la verifica ma, poiché per poterlo fare è necessario conoscere i dati reali dei singoli strati, che solo l'azienda produttrice è in grado di fornire, tale strumento non potrà produrre alcun tipo di risultato. [FIG.5/6/7]

Per dimostrare quanto preannunciato è necessario entrare nella schermata della parete, sotto il modulo Criteri Ambientali e settare i materiali, o tutta la struttura, per i quali si vuol procedere con la verifica, salvare le modifiche apportate al riquadro ed entrare a questo punto nel Modulo CAM. [FIG.8]

All'interno del Modulo CAM richiedo a questo punto la verifica del criterio 2.4.1 e mi sposto, non appena effettuata, sulla schermata risultati. Come preannunciato ovviamente i criteri risultano non verificati in assenza di dati sufficienti. [FIG.9]

Ciò implica inevitabilmente che io debba sostituire i miei materiali di progetto con altri certificati, completi di tutte le informazioni necessarie per poter eseguire la verifica.

La ricerca di materiali con caratteristiche simili a quelle inizialmente individuate all'interno del progetto studio, necessari per definire e successivamente verificare "la nuova" stratigrafia dell'edificio, può avvenire sia all'interno dell'archivio di TERMOLOG, controllando sempre però che i materiali individuati in archivio contengano questa volta tutte le informazioni utili per quel tipo di verifica, sia attraverso l'inserimento manuale dei materiali, delle specifiche tecniche e delle relative informazioni in merito al contenuto di riciclato e alla riciclabilità a fine vita.

Dopo una prima ricerca effettuata all'interno dell'archivio stesso è emerso che da un lato non vi sono ancora sufficienti materiali per "coprire" il settore della bioedilizia con i suoi principali componenti e dall'altro risultano comunque insufficienti i dati associati ai materiali presenti in archivio. Pertanto, per avere la certezza di individuare questa volta dei materiali completi di tutte le informazioni, ho deciso di cercare direttamente su internet i prodotti dotati di certificazione di tipo III (EPD), che può essere inoltre allegata all'interno del Modulo CAM, così da consentire una stampa completa dei documenti richiesti dalla Stazione Appaltante per la verifica dei Criteri Ambientali Minimi.

Anche la ricerca di materiale certificato EPD o equivalente, come ad esempio ReMade in Italy, ha evidenziato attualmente ancora una limitata casistica, che mette in evidenza il periodo di transizione e di adattamento che stiamo vivendo rispetto all'effettiva qualità prestazionale ed oggettiva del prodotto.

Per tanto se da un lato la mancanza di certificazioni e di dati utili per la verifica dei Criteri Ambientali può limitare la libertà di scelta del progettista, dall'altro può essere un ulteriore incentivo per le aziende produttrici di materiali bioedili ad adeguarsi ad ogni tipo di certificazione richiesta così da poter essere sempre più competitivi all'interno del mercato.

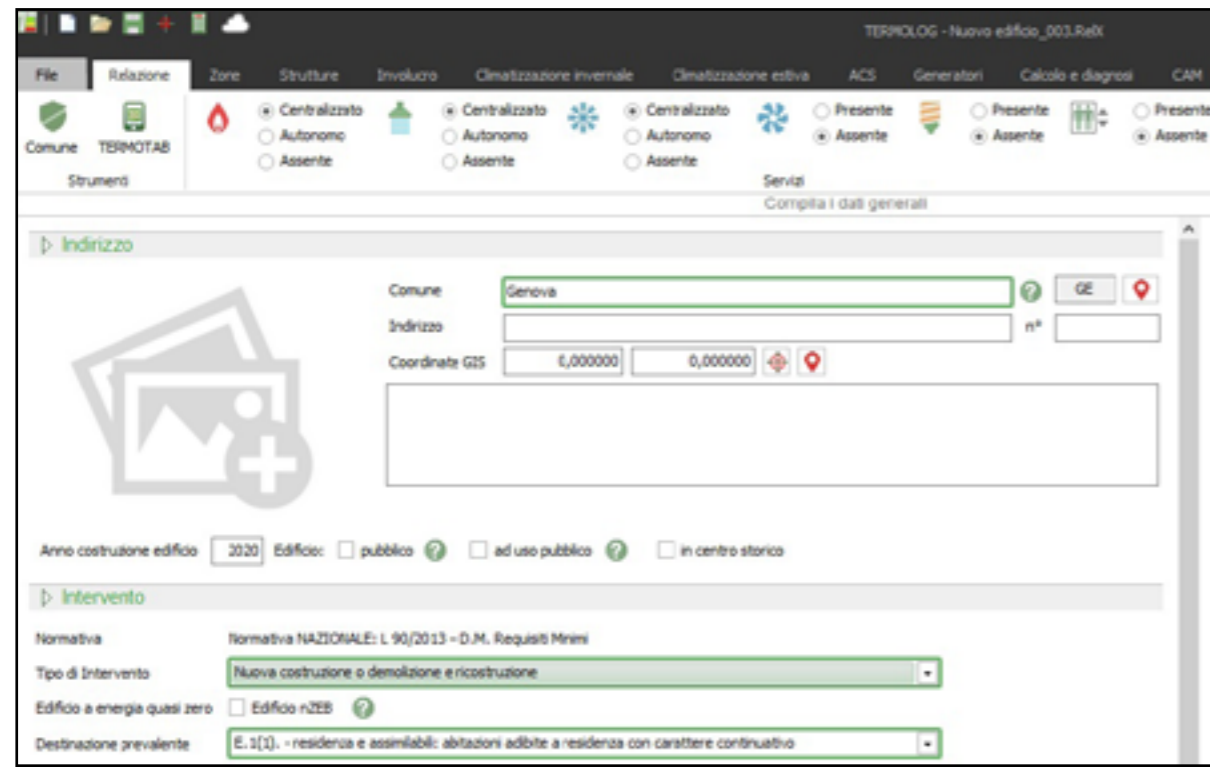


FIG.1

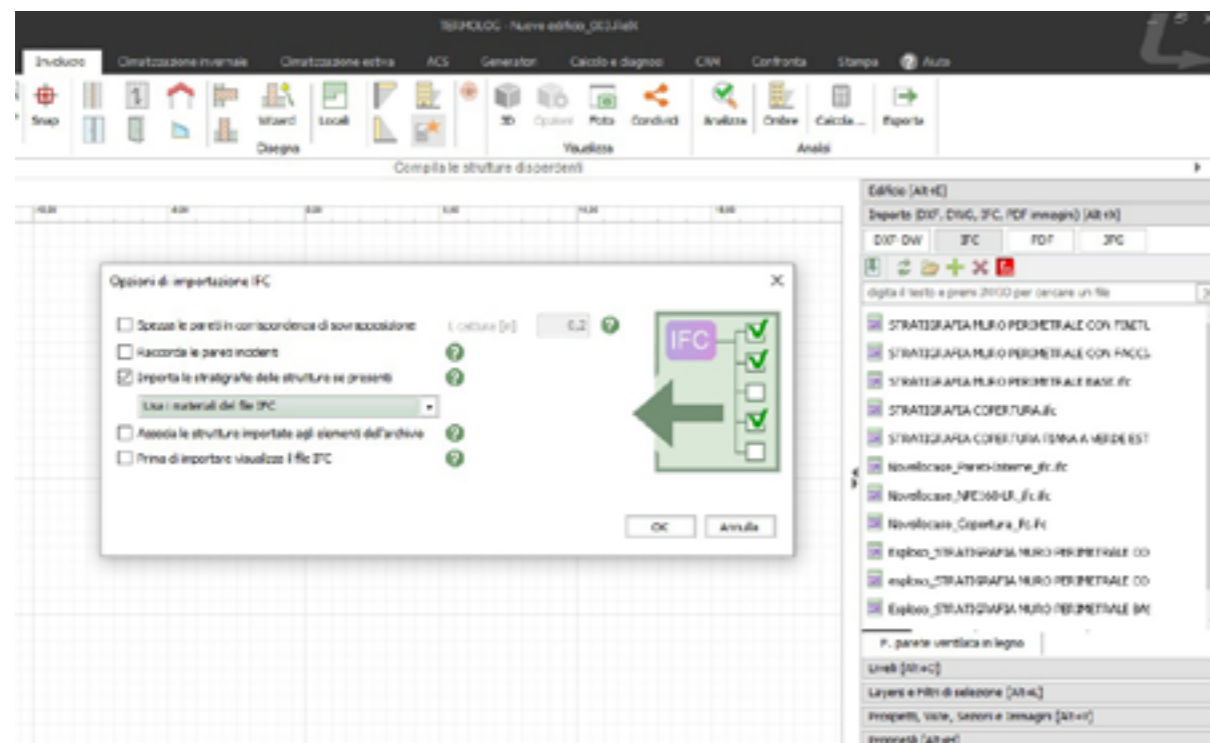


FIG.2

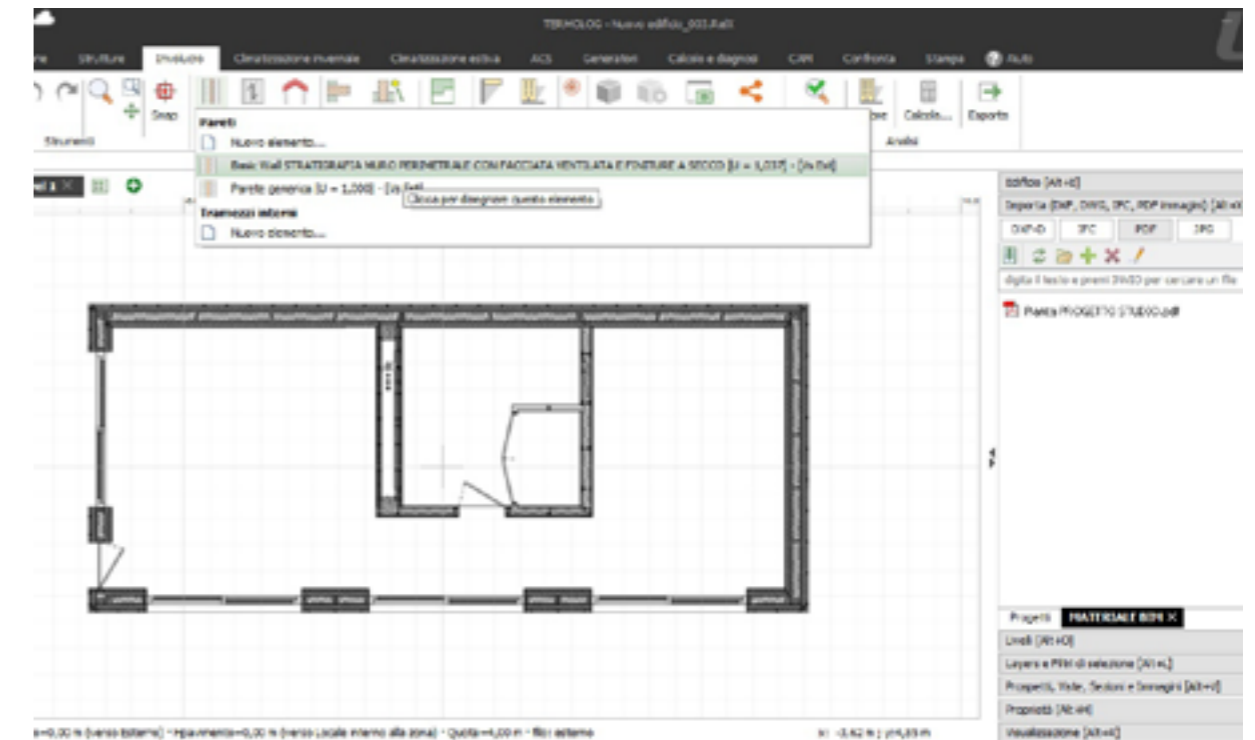


FIG.3

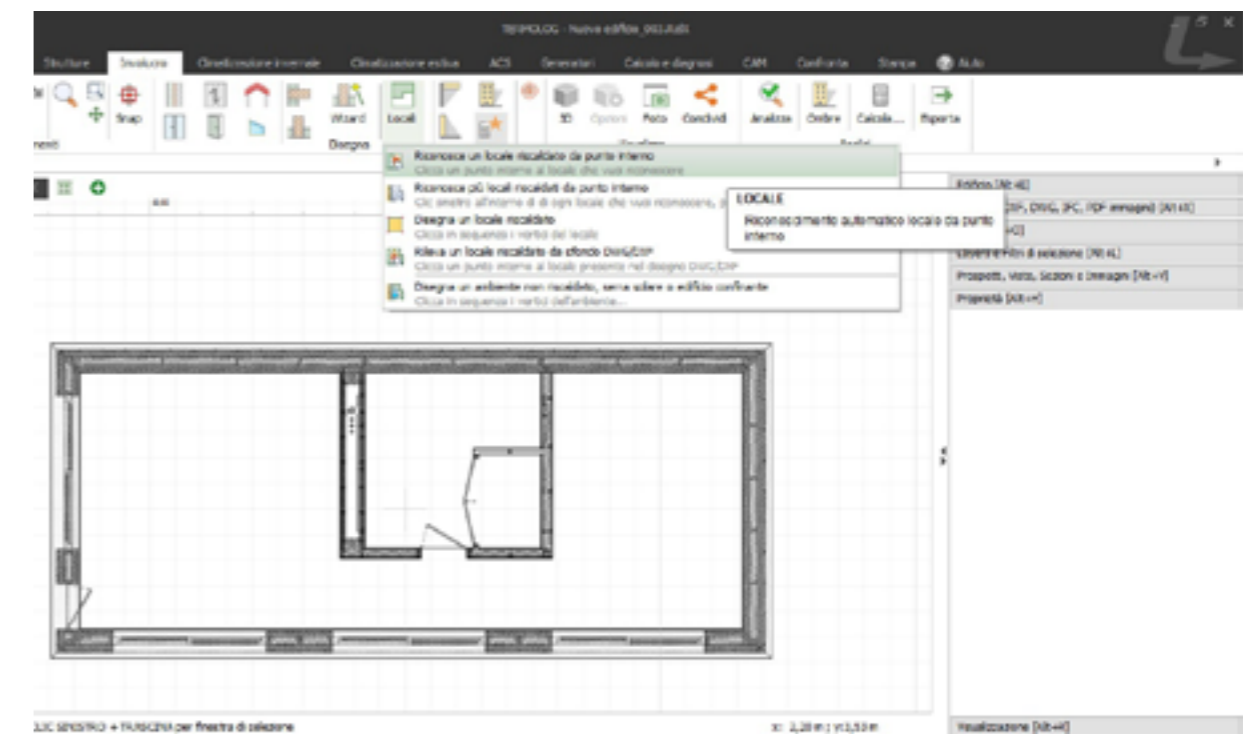


FIG.4

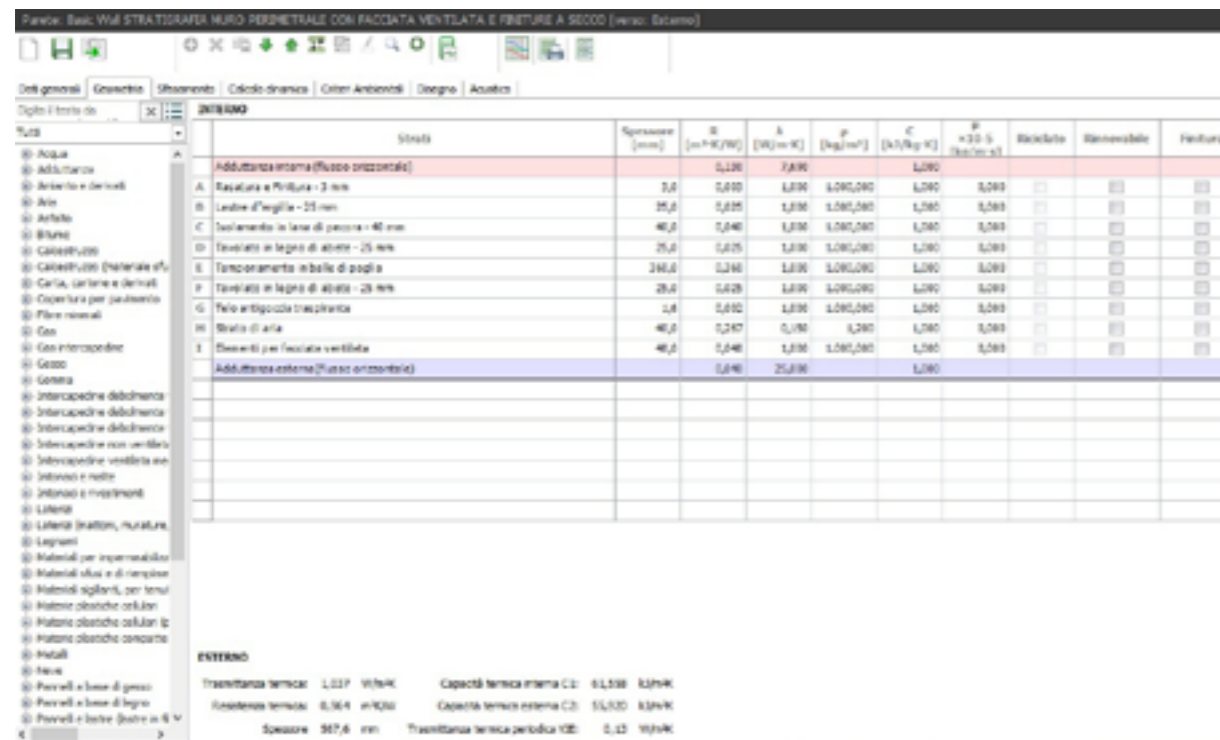


FIG.5

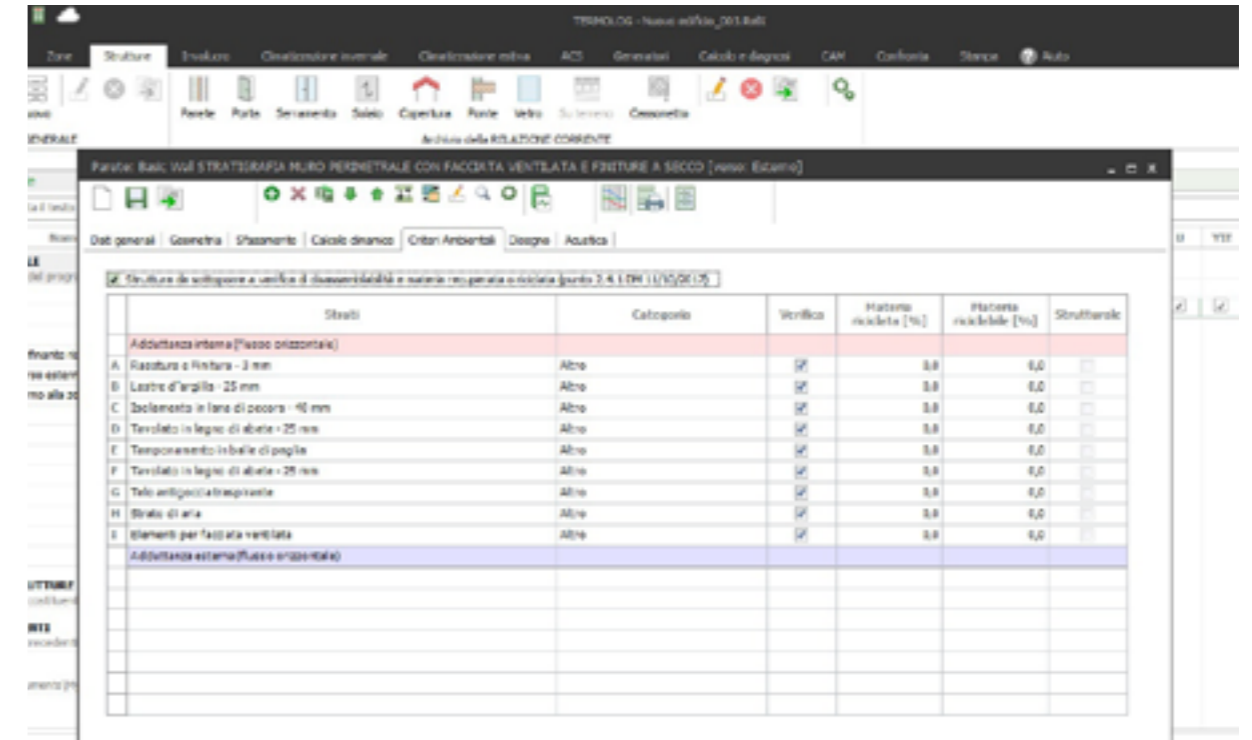


FIG.8

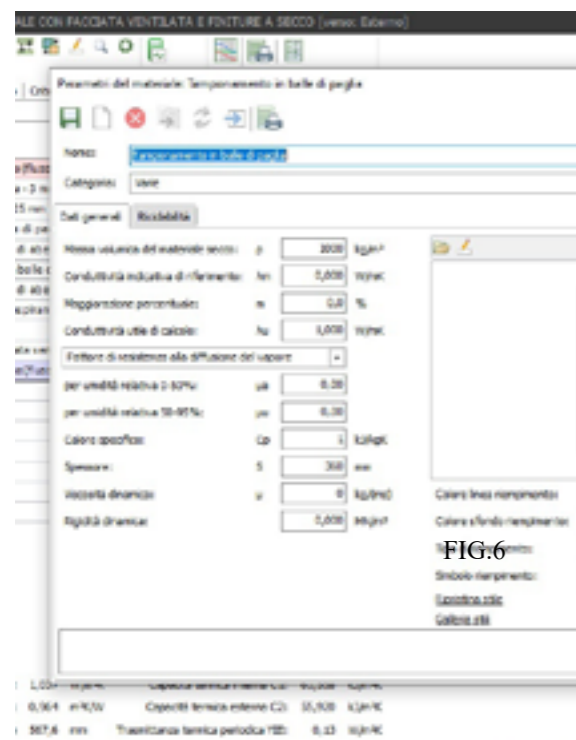


FIG.6



FIG.7

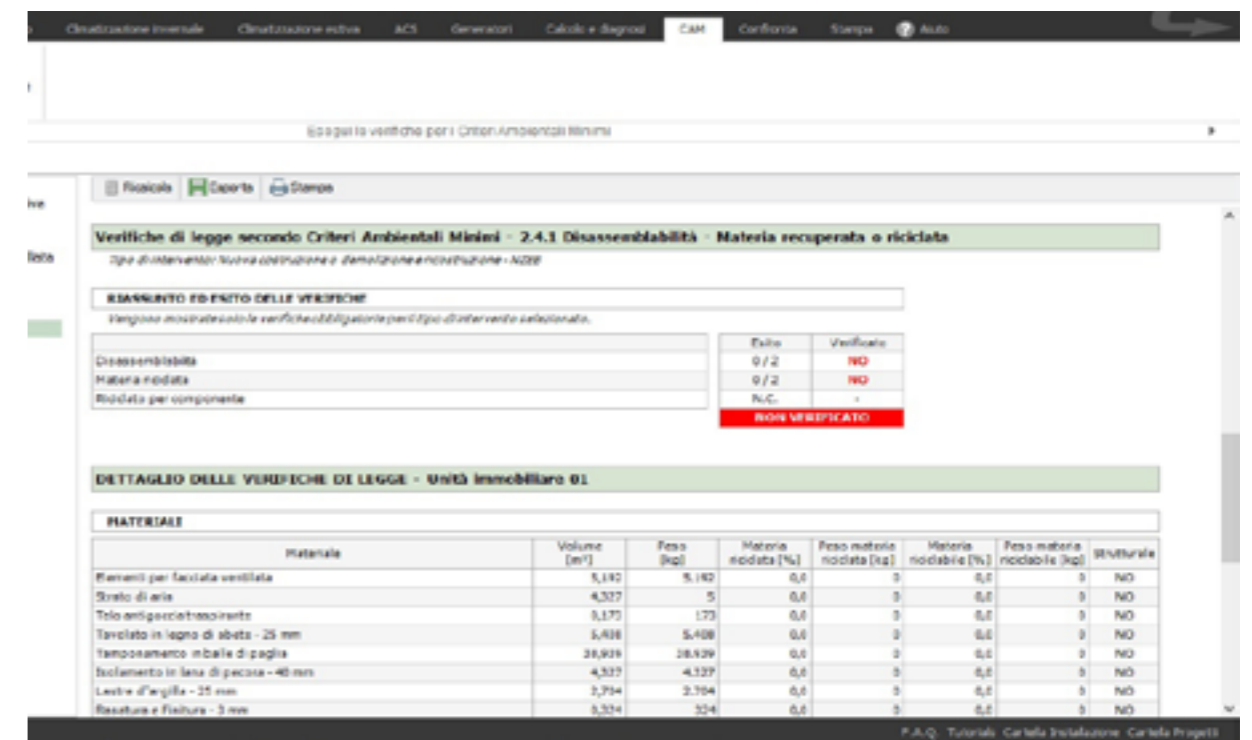


FIG.9

CONCLUSIONI

I risultati emersi dall'applicazione del caso studio con l'ausilio dello strumento offerto da TERMOLOG, per la verifica dei Criteri Ambientali Minimi, evidenziano chiaramente quelle che sono le condizioni proprie del periodo di transizione che stiamo vivendo.

In particolar modo, la mancanza di dati dovuta o ad una limitata condivisione e accessibilità delle informazioni o ad un'assenza di certificazioni, propria del periodo di transizione, evidenzia la contraddizione secondo cui, da una parte si vuole orientare verso l'uso di prodotti più sostenibili e circolari, dall'altra però, finché non si va a regime, i pochi prodotti certificati limitano la libertà di scelta del progettista e condizionano l'utilizzo e la verifica di materiali che possono presentare comunque caratteristiche adeguate ai Criteri Ambientali Minimi e funzionali ai principi dell'economia circolare proprio in virtù della loro stessa natura.

Fare bioedilizia oggi significa quindi doversi anche confrontare con tale periodo di transizione e con le problematiche ad esso connesse, con la consapevolezza però che il percorso verso l'innovazione andrà a compimento solo in virtù di una serie di adeguamenti che vedono fondamentale il processo di formazione e accrescimento delle competenze da parte di tutti gli attori coinvolti (progettisti, tecnici delle Pubbliche Amministrazioni, produttori, costruttori, committenti) attraverso una permanente formazione che investe le tematiche normative, ambientali e digitali.

I percorsi che conducono verso una più elevata formazione e informazione alimentano dunque domande consapevoli che sollecitano processi di innovazione, dentro i quali si definiscono nuove figure professionali specializzate con accreditamento delle competenze ottenute, che dominando il tema ambientale e specializzando le proprie competenze digitali, potranno concorrere a rinnovare l'intero settore edilizio elevando la qualità complessiva dell'abitare, accrescendo la cultura ambientale, progettuale e del costruire.

Dentro tale quadro di riferimento, sarà indispensabile per giungere a compimento di un efficace ed efficiente processo di innovazione, l'utilizzo degli strumenti offerti dalle tecnologie digitali, che dimostrano il loro grande potenziale se alimentati da virtuosi processi di connessione e di sana collaborazione.

Perché tutto funzioni c'è pertanto bisogno di un adeguamento complessivo capace di concretizzare gli obiettivi prefissati dalle norme per l'affermazione dei principi e delle politiche di sostenibilità ambientale e di innovazione.

APPROFONDIMENTI

[1] *Innovazione*

Come si legge dal dizionario Treccani l'innovazione (dal latino tardo *innovatio-onis*) è l'atto, l'opera di innovare, cioè di introdurre nuovi sistemi, nuovi ordinamenti, nuovi metodi di produzione. In senso concreto, ogni novità, mutamento, trasformazione che modifichi radicalmente o provochi comunque un efficace svecchiamento in un ordinamento politico o sociale, in un metodo di produzione, in una tecnica, ecc.

[2] *Ecologia*

Il termine ecologico, cioè che si riferisce all'ecologia (dal greco: οἶκος, *oikos*, "casa" o anche "ambiente"; e λόγος, *logos*, "discorso" o "studio") è stato coniato nel 1866 dallo scienziato e biologo tedesco E. Haeckel ed indica lo studio delle interazioni tra tutti gli organismi e il loro ambiente naturale, "inteso sia come l'insieme dei fattori chimico-fisici (clima, tipo di suolo, luce, nutrimento, ecc.) sia come l'insieme dei fattori biologici (parassitismo, competizione, simbiosi, ecc.), che influiscono o possono influire sulla vita degli organismi stessi."⁷⁵ Trattando dunque dei legami tra gli organismi viventi e l'ambiente in cui essi vivono e si sviluppano, l'ecologia ci porta ad effettuare delle riflessioni sul rapporto uomo-ambiente, che interessano la produttività e lo sfruttamento delle risorse naturali, la conservazione e protezione della natura dal depauperamento ambientale, la tutela del paesaggio, la razionalizzazione degli insediamenti umani e non solo. Tali riflessioni sono riassumibili nelle parole di Gregory Bateson, che attraverso il suo orientamento sistemico fondò alcuni principi imprescindibili per un nuovo concetto di ecologia in cui l'unità di sopravvivenza, che fino alla metà dell'800 era stata individuata da Darwin, nella sua teoria della selezione naturale e dell'evoluzione, nella famiglia, o nella specie, o nella sottospecie, doveva trovare risposta nel complesso "organismo più ambiente" difatti, come lui stesso ricorda " stiamo imparando sulla nostra pelle che l'organismo che distrugge il suo ambiente distrugge se stesso".⁷⁶

⁷⁵ «ecologia in Vocabolario - Treccani», consultato 21 gennaio 2020, <http://www.treccani.it/vocabolario/ecologia/>.

⁷⁶ «Bateson, Gregory. *Verso un'ecologia della mente*. Milano: Adelphi, 1990, cit. pag. 503».

Pertanto una progettazione che mira all'applicazione di criteri ecologici deve essere concepita in funzione e in rispetto delle specifiche caratteristiche ambientali (climatiche, fisiche, sociali, culturali...) del luogo di intervento e delle sue risorse.

[3] *Sostenibile*

Il concetto di sostenibilità, il cui principio guida è lo sviluppo sostenibile, sebbene presente già da tempi più antichi, trova ufficiale definizione nel 1987, con la pubblicazione del cosiddetto Rapporto Brundtland. Tale rapporto è il risultato della Commissione Mondiale per l'Ambiente e lo Sviluppo, (World Commission on Environment and Development, WECD) istituita nel 1983 per volere dell'Assemblea Generale delle Nazioni Unite, che aveva l'obiettivo di elaborare un'"agenda globale per il cambiamento".

Quando l'allora primo ministro norvegese Gro Harlem Brundtland presentò il rapporto "Our Common Future" sottolineava la necessità di attuare una strategia, capace di integrare le esigenze dello sviluppo con quelle dell'ambiente, detta "sustainable development" o "sviluppo sostenibile" definito come "quello sviluppo che consente alla generazione presente di soddisfare i propri bisogni senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri"⁷⁷.

Si può dunque comprendere, partendo da questa definizione, che in realtà il concetto di sviluppo sostenibile sia un concetto multidisciplinare che mira a tenere insieme le sfere ambientali, sociali ed economiche sia a livello locale che globale. Come ricordato da Tiezzi e Marchettini (Roma, 1999, p.24)

"non sarà mai superfluo ricordare che la teoria dello sviluppo sostenibile è l'integrazione di economia, ecologia e termodinamica e non appartiene a nessuna di queste tre discipline di per sé"⁷⁸, pertanto non è possibile individuare una definizione che guardi ad un unico comparto culturale ma bisogna tener conto della sua interdisciplinarietà.

Poiché lo sviluppo non è solo un concetto legato esclusivamente alla crescita ma è connesso alla conservazione delle risorse ed equa distribuzione di costi e benefici fra generazioni, ne consegue che ognuno dovrebbe impegnarsi per il miglioramento della qualità della vita e dell'ambiente, tenendo ben presente

⁷⁷ «Rapporto "Our Common Future", World Commission on Environment and Development, 1987».

⁷⁸ Enzo Tiezzi e Nadia Marchettini, *Che cos'è lo sviluppo sostenibile? Le basi scientifiche della sostenibilità e i guasti del pensiero unico*, Saggi Donzelli Natura e artefatto (Roma: Donzelli, 1999).

quelli che sono i principi fondamentali alla base della sostenibilità, riassumibili come segue nei seguenti punti:

a) L'esistenza dei vincoli in un pianeta "finito" o, meglio, il riconoscimento che esiste una carrying capacity del pianeta Terra (cioè la capacità di un ambiente di portare, di sostenere la popolazione e tutte le altre forme viventi di cui l'uomo e la natura hanno bisogno per sopravvivere);

b) La consapevolezza che la seconda legge della termodinamica pone dei limiti agli usi e alle trasformazioni energetiche;

c) L'economia dello "stato stazionario" di Herman Daly, padre della teoria della sostenibilità", che basandosi a sua volta sulla seconda legge della termodinamica dichiara che:

- l'utilizzo delle risorse rinnovabili non deve superare il loro tasso di rigenerazione;

- l'immissione di sostanze inquinanti (solide, aeree o liquide) nell'ambiente non deve superare la capacità dell'ambiente stesso di metabolizzarle;

- l'uso di risorse non rinnovabili (es. i combustibili fossili) deve ridursi progressivamente fino ad arrestarsi per essere sostituito da risorse di tipo rinnovabili.

In ambito architettonico dunque, così come ricordato da Federico Soriano nel dizionario *The Metapolis Dictionary of Advanced Architecture*, il concetto di sostenibilità interessa tutto il processo di costruzione di un edificio, che inizia con la scelta dei materiali e termina con il riuso degli stessi, non tollerando sprechi. Questo accade come risultato del rendersi conto dell'esistenza di un mondo con limitate risorse e limitata capacità di assorbire le perdite, con la consapevolezza che ogni azione porta con sé future conseguenze.⁷⁹

Si parla pertanto di *Architettura sostenibile* per indicare piuttosto che un ambito disciplinare, un approccio culturale al progetto che fa proprio il principio della decrescita e di limite, inteso come risparmio di risorse e minima

⁷⁹ Manuel Gausa, Susanna Cros, e Metapolis, a c. di, *The Metapolis Dictionary of Advanced Architecture: City, Technology and Society in the Information Age* (Barcelona: ACTAR, 2003).

produzione di inquinamento in tutte le fasi del ciclo di vita, ed è infatti attraverso la quantificazione dell'energia e dei carichi ambientali che un edificio consuma durante tutti i processi che coinvolgono il suo ciclo di vita, che è possibile misurare la sostenibilità dello sviluppo edile

[4] *Sick Building Syndrome*

L'espressione "sindrome dell'edificio malato", Sick Building Syndrome, è stata coniata di recente dalla letteratura scientifica (SBS) e connota la sintomatologia, statisticamente rilevata e significativa, di gruppi di persone che dimorano prevalentemente in gradi edifici. Un esempio tipico di sindrome dell'edificio malato si può ritrovare nel palazzo di vetro del Berlaymont, sede della Commissione Europea, dove nel 1991, una commissione di esperti ha annunciato che dovesse essere distrutto e ricostruito, perché tutto imbottito di amianto, possibile generatore di patologie cancerose. Esso rappresentava un reale pericolo, per gli oltre 3000 funzionari che vi lavoravano che, difatti, si stavano progressivamente ammalando.

Come ricorda Mauro Bertagnin, autore di "*Bioedilizia, progettare e costruire in modo ecologicamente consapevole*", il problema dell'inquinamento degli ambienti interni si è presentato in modo evidente nei primi anni '70 in stretta relazione con la crisi energetica. Leggi e norme per contenere i consumi prescrivevano l'adozione di materiali per il contenimento energetico, come isolanti termici sintetici e una sostanziale sigillatura degli edifici, hanno causato un incremento delle concentrazioni di inquinanti e uno scadimento della qualità dell'aria negli edifici. Inoltre, l'adozione di componenti e materiali sintetici nel ciclo edilizio hanno portato, negli ultimi decenni, alla crescente dannosità degli edifici per la salute dei loro abitanti.

[5] *Bioarchitettura*

La Bioarchitettura, secondo la definizione dell'INBAR⁸⁰ [Istituto Nazionale di Bioarchitettura], tratto dal suo stesso statuto, è l'insieme delle discipline che presuppongono un atteggiamento ecologicamente corretto nei confronti

80 L'INBAR è un'associazione no-profit di professionisti iscritti nei relativi albi professionali che operano nel campo delle discipline territoriali, dell'urbanistica, dell'architettura e dell'ecologia applicata. Nato nel 1988 è presente in tutto il territorio nazionale con iscritti, Sezioni Provinciali, Coordinamenti Regionali; è punto di incontro tra discipline diverse e convergenti nel proporre una modalità di sviluppo, ecologicamente corretta per il nostro pianeta.

dell'ecosistema. In una visione caratterizzata dalla più ampia interdisciplinarietà e da un utilizzo razionale e ottimale delle risorse, la bioarchitettura tende a integrare le attività dell'uomo alle preesistenze ambientali ed ai fenomeni naturali, al fine di realizzare un miglioramento della qualità della vita attuale e futura.⁸¹ Essa progetta e costruisce ponendo attenzione al tema delle risorse ambientali, alle questioni relative al comfort e alla salute, al rendimento energetico, al controllo di tecnologie e processi costruttivi e all'uso di materiali e soluzioni alternative ecocompatibili, acquisendo i temi principali dell'*architettura bioecologica* [5], *bioclimatica* [6] e della *bioedilizia* con un atteggiamento che coinvolge dunque tutti gli aspetti progettuali.

La novità programmatica della Bioarchitettura non risiede infatti nella specificità delle singole discipline, bensì nel loro collegamento in una prospettiva capace di rivoluzionare la stessa percezione della qualità architettonica.

[6] *Architettura bioecologica*

Facendo riferimento al termine Architettura (dal greco ἀρχιτέκτων, *architéktōn* "architetto" attraverso il latino Architectūra) si intende richiamare l'insieme dell'arte e della tecnica del costruire gli edifici, considerandoli però in maniera bioecologica, cioè come elementi "vivi" che si inseriscono nell' "ambiente". Come indicato infatti dall'ANAB [Associazione Nazionale Architettura Bioecologica], "l'Architettura Bioecologica considera l'edificio come un organismo vivo, che deve inserirsi naturalmente nello spazio e non costituire una barriera sigillata tra l'esterno e l'interno, consentendo all'uomo di vivere in quell'equilibrio universale a cui il suo organismo si è conformato nel corso dei millenni. Inoltre, essa è "totale" intendendo con ciò che deve occuparsi non solo della edificazione, ma anche della ristrutturazione e dell'intervento sul territorio."⁸²

Secondo ANAB⁸³ è necessario portare al centro del confronto sulla sostenibilità

81 «INBAR Istituto», consultato 29 gennaio 2020, <http://www.bioarchitettura.it/istituto/inbar/istituto/>.

82 ANAB, «Manifesto per un'architettura bioecologica», 1989, http://www.anab.it/documento/download/id/249/MANIFESTO_PER_UNARCHITETTURA_BIOECOLOGICA_-_ANAB_1989.pdf.

83 Come si può leggere dal loro sito ufficiale www.anab.it ANAB (Associazione Nazionale Architettura Bioecologica) è la prima e più importante associazione italiana nel campo del costruire sostenibile e coinvolge, a vario titolo, circa 5000 tra professionisti ed operatori in tutto il territorio nazionale. Nasce nel 1989, da un gruppo di progettisti consapevoli delle sfide che la situazione ambientale pone alla cultura e alla pratica del costruire. Da oltre 30 anni lavora alla proposta e all'aggiornamento di modelli progettuali, oltre che alla diffusione di interventi esemplificativi ispirati all'Architettura Bioecologica e all'Architettura Naturale.

il rapporto tra l'Architettura stessa e tutto quel campo di relazioni complesse e di instabili equilibri che vi sono tra tutti gli organismi e il loro ecosistema, proponendo come *modus operandi* dell'agire architettonico interventi che richiedano un minimo o nullo impiego di energie e/o risorse ambientali, con modalità e strumenti tali da poter essere assimilati il più possibile a processi "naturali".

Proprio per questo motivo ANAB ha coniato il termine *Architettura Naturale*, volendo segnare una profonda distanza da chi propone una sostenibilità solo di facciata, che realizza solo in modo parziale e inefficace, banalizzando un serio e completo approccio bio-ecologico.

[7] *Architettura bioclimatica*

Può essere definita Architettura bioclimatica quel modello di architettura che mette in relazione l'essere vivente, dal greco βίος, *bios* = "vita" ma anche "viventi"⁸⁴, come fruitori dell'architettura, nei confronti dell'ambiente esterno, il "clima", essendo l'architettura un risultato della reciprocità fra entrambi. Essa usa gli elementi naturali del luogo di intervento come il sole, il vento, l'acqua, il terreno e la vegetazione per realizzare edifici termicamente efficienti, che sono in grado di soddisfare i requisiti di comfort termico, indipendentemente dall'uso di impianti di climatizzazione. Lo scopo dell'architettura bioclimatica è infatti quello di controllare il microclima interno dell'edificio, con strategie progettuali "passive" che, minimizzando l'uso di impianti meccanici, massimizzano l'efficienza degli scambi termici tra edificio e ambiente.

Pertanto un edificio progettato e costruito secondo i criteri bioclimatici esige non solo meno energia, ma offre anche un comfort climatico più elevato del solito.

[8] *Impronta ecologica*

Il concetto di impronta ecologica è stato introdotto da Mathis Wackernagel e William Rees nel loro libro *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, pubblicato nel 1996, essa misura l'area biologicamente

84 «DIZIONARIO GRECO ANTICO - Greco antico - Italiano», consultato 27 gennaio 2020, <https://www.grecoantico.com/dizionario-greco-antico.php?parola=bios>.

produttiva di mare e di terra necessaria a rigenerare le risorse consumate da una popolazione umana e ad assorbire i rifiuti prodotti. Utilizzando l'impronta ecologica è possibile *stimare quanti "pianeta Terra" servirebbero per sostenere l'umanità*, qualora tutti vivessero secondo un determinato stile di vita. Come evidenziato da vari studi il nostro stile di vita ci porta a consumare più risorse di quante il Pianeta Terra sia in grado di rigenerare. Il *Global Footprint Network* periodicamente aggiorna le stime sulla velocità di consumo delle risorse rispetto alla capacità del Pianeta di rigenerarle e nel 2019 il cosiddetto "Earth Overshoot Day", giorno in cui sono state consumate dall'umanità interamente le risorse prodotte dal pianeta nell'intero anno, è stato calcolato il 29 luglio.

[9] *Performance Economy*

Walter Stahel è un architetto svizzero considerato uno dei padri dell'economia circolare, fondatore e direttore del Product-Life Institute di Ginevra, dal 1983, ha svolto ruoli di rilievo per la Commissione Europea e collabora attivamente con la Ellen MacArthur Foundation. Oltre ad aver lavorato allo sviluppo dell'approccio a "circuiti chiusi" nei processi di produzione, ha da sempre insistito sull'importanza che riveste a livello economico la vendita di servizi piuttosto che di prodotti. Tale idea viene definita "economia funzionale dei servizi" ed è integrata nel concetto più ampio di "economia delle prestazioni". Tale concetto non è però innovativo, come lui stesso ha dichiarato in un'intervista concessa a Business Insider, *"Ogni volta che prendete un taxi o prenotate un albergo, un volo aereo o un biglietto del treno, ciò che state acquistando è l'utilizzo dell'oggetto, non l'oggetto stesso. E il fleet manager — il gestore della flotta, cioè la compagnia aerea o il tassista — vi garantisce che viaggerete in tutta sicurezza. Lo stesso vale per i parchi comunali, le sale da concerti, gli stadi e così via. In tutti questi cosiddetti spazi pubblici, si compra l'utilizzo di qualcosa per un determinato periodo di tempo. E se vendi a qualcuno un risultato garantito, e sei in grado di offrirlo senza consumare risorse, realizzi un profitto maggiore di prima. In questo senso la performance economy va ben oltre la circular economy"*⁸⁵. Dunque, anche se non consapevolmente, viviamo già in parte in un'economia delle prestazioni,

85 «Addio globalizzazione, è l'ora della performance economy, chi lo capisce farà grandi profitti», *Business Insider Italia* (blog), 18 novembre 2019, <https://it.businessinsider.com/walter-stahel-papa-delleconomia-circolare-addio-globalizzazione-e-lora-della-performance-economy-chi-lo-capisce-fara-grandi-profitti/>.

ma è l'estensione di questo concetto ad altri campi come ad esempio quello automobilistico, tessile, industriale, agricolo, chimico, di sistemi di gestione ingegneristica che può portare ad uno traguardo rivoluzionario, ad uno sviluppo dell'economia circolare. La vendita di servizi e non di prodotti, comporta da parte del produttore un'internalizzazione delle responsabilità, sia da punto di vista del funzionamento di tali prodotti, sia dello smaltimento dei suoi rifiuti, pertanto in un'ottica di profitto il produttore sarà spinto ad investire sul funzionamento, sulla riduzione della manutenzione, sulla facilità di utilizzo e sulla possibilità di recuperare facilmente i componenti dei prodotti a fine vita per poterli riutilizzare, riducendo in questo modo la produzione di prodotti, il consumo di nuove risorse e chiudendo così "il cerchio" di questo nuovo modello economico.⁸⁶

[10] Cradle to Cradle

Filosofia progettuale sviluppata dal chimico e visionario tedesco Michael Braungart insieme all'architetto americano Bill McDonough, che considera i processi produttivi del "metabolismo biologico" della natura come modello da seguire per lo sviluppo del "metabolismo tecnico" industriale. Come accade in natura tutto deve poter essere metabolizzato; i prodotti e i suoi componenti vengono progettati per il continuo recupero e riutilizzo, diventando veri e propri nutrienti nei processi industriali e commerciali. In questo modo il valore dei materiali viene raccolto e recuperato anche dopo il loro utilizzo.

Eliminando il concetto di rifiuto, vengono progettati prodotti e materiali sicuri per la salute umana e per l'ambiente che massimizzano l'utilizzo di energia rinnovabile.⁸⁷

L'efficacia di questa tipologia di progettazione si valuta attraverso gli impatti positivi che essa produce. L'obiettivo dell'industria diventa difatti quello di preservare e valorizzare gli ecosistemi e i cicli biologici della natura mantenendo i cicli produttivi efficienti ma compatibili a livello ambientale.

86 The Performance Economy, consultato 26 marzo 2020, <https://www.youtube.com/watch?v=o0LTo0r-9ZM>.

87 «Circular Economy Schools Of Thought», consultato 8 marzo 2020, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/schools-of-thought>.

[11] Biomimetica

Janine Benyus autrice di *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature* ("Biomimetica: innovazione ispirata dalla natura") vede la natura come un modello e una guida da seguire nella progettazione degli oggetti e dei manufatti, come lei stessa dichiara definisce il suo approccio come "una nuova disciplina che studia - e imita - le migliori idee della natura (..) per risolvere i problemi umani".

La natura come modello rappresenta uno dei tre principi chiave su cui si basa la biomimetica, tra gli altri troviamo: la natura presa come misura, in cui viene giudicata la sostenibilità delle nostre innovazioni prendendo come riferimento uno standard ecologico e la natura come mentore, in cui si guarda alla natura non come riserva di risorse a cui dobbiamo attingere ma come mondo da cui possiamo imparare.⁸⁸ E' possibile dunque definire la biomimetica come "lo studio consapevole dei processi biologici della natura come fonte di ispirazione per il miglioramento delle attività e tecnologie umane".

[12] Ecologia industriale

"L'ecologia industriale è lo studio dei flussi di materiali ed energia attraverso i sistemi industriali", tale disciplina scientifica nasce negli anni 90 con l'obiettivo di studiare il sistema produttivo, sociale e culturale umano, inserito nel suo contesto ambientale.⁸⁹ Concentrandosi sugli impatti che le attività industriali hanno sulla disponibilità di risorse naturali, sulla capacità dell'ambiente di assorbire gli scarti e le emissioni, sugli ecosistemi in cui viviamo, gli ecologisti industriali, mirano a creare processi a circuito chiuso in cui i rifiuti possano diventare nuovi input. L'attenzione è posta fin da subito sugli impatti globali e i processi di produzione sono progettati in conformità con i vincoli ecologici in maniera tale da comportarsi il più similmente possibile ai sistemi viventi, così che l'ecologia industriale viene talvolta definita anche "scienza della sostenibilità".

88 «Circular Economy Schools Of Thought».

89 «L' ECONOMIA CIRCOLARE.pdf», consultato 25 marzo 2020, <http://docenti.unimc.it/maria.zifaro/teaching/2017/17858/files/presentazioni-lavori-di-gruppo-economia-circolare>.

[13] Capitalismo naturale

Nel libro “Capitalismo naturale: creare la prossima rivoluzione industriale” di Paul Hawken, Amory Lovins e L. Hunter Lovins, viene descritta un’economia globale che riconosce le interdipendenze esistenti tra produzione, uso del capitale prodotto dall’uomo e flussi di capitale naturale, un’economia dunque in cui gli interessi commerciali e gli interessi ambientali si sovrappongono. Tale economia si pone come obiettivo quello di: aumentare radicalmente la produttività delle risorse naturali; passare a modelli e materiali di produzione di ispirazione biologica; creare modelli di business “service - and - flow”; reinvestire nel “capitale naturale”, cioè nelle scorte mondiali di risorse naturali rappresentate dal suolo, dall’aria, dall’acqua e da tutti gli esseri viventi.⁹⁰

[14] Economia blu

L’economia blu è un modello di business a livello globale iniziato dall’ex CEO di Ecover e dall’imprenditore belga Gunter Pauli, che si dedica alla creazione di un ecosistema sostenibile trasformando sostanze precedentemente sprecate in merce redditizia. Come afferma il manifesto ufficiale, “utilizzando le risorse disponibili nei sistemi a cascata (...) lo spreco di un prodotto diventa l’input per creare un nuovo flusso di cassa”.⁹¹ Basata su 21 principi fondanti, è considerata uno sviluppo della green economy in quanto l’obiettivo diventa non più quello di ottenere una riduzione di anidride carbonica (CO₂) ma di raggiungere un’emissione pari a 0. Il raggiungimento di tale obiettivo si fonda sull’utilizzo delle innovazioni in tutti i settori dell’economia che sfruttano le sostanze già presenti in natura e non tramite investimenti a tutela dell’ambiente.⁹²

[15] .IFC⁹³

Per poter garantire l’interoperabilità, e dunque lo scambio di dati tra attori e applicazioni diverse, uniformando i flussi di lavoro, è stato sviluppato industrialmente un *product data model*, che prende il nome di IFC (Industry

90 «Circular Economy Schools Of Thought».

91 «Circular Economy Schools Of Thought».

92 «L’ECONOMIA CIRCOLARE.pdf».

93 «GLOSSARIO.pdf», consultato 12 luglio 2020, https://2018.aulaweb.unige.it/pluginfile.php/226423/mod_resource/content/1/GLOSSARIO.pdf.

Foundation Classes). L’IFC è sia un modello di dati che contiene entità geometriche (estrusioni, solidi, forme, superfici), relazioni (che connettono tra di loro gli oggetti), proprietà (che definiscono materiali, prestazioni, dati di contesto) e metadati (che raggruppano gli oggetti in classi di dettaglio ben definite, necessari per gestire gli IFC stessi), sia un *open file format*, ossia un formato di dati aperti che consente a tutti gli operatori del settore coinvolti di condividere le proprie informazioni, tramite un linguaggio neutrale e non vincolato, quindi indipendentemente dal software utilizzato. Riconosciuto come standard ISO è il principale elemento collaborativo di un processo BIM. Da esso si possono estrarre diversi tipi di informazioni in differenti formati, come ad esempio il formato COBie (Construction Operation Building information exchange), un formato semplice e chiaro per lo scambio di informazioni tra il team di costruzione e il proprietario, che contiene tutta la documentazione necessaria alla fase di gestione del patrimonio immobiliare costruito.

[16] LOD⁹⁴

Con l’acronimo LOD (o LoD) si identificano due termini ben distinti che è importante non confondere, ovvero i *Level of Detail* e i *Level of Development*.

Il primo, *Level of Detail* stabilisce la quantità di informazioni essenzialmente grafico/geometriche degli oggetti modellati ed è pensabile come una serie di input che vengono forniti dal progettista al modello; il secondo, *Level of Development* indica invece il grado informativo complessivo associato agli elementi del modello e può rappresentare il livello di affidamento degli output, forniti dal BIM, per la progettazione. È importante comprendere questa distinzione poiché un modello, con un dettaglio grafico elevato, non implica un equivalente livello di “maturità” delle informazioni non grafiche associate ai suoi elementi.

Nello specifico vediamo come siano stati definiti, nel protocollo standard BIM G202-2013, dell’AIA (American Institute of Architects), i 5 livelli di sviluppo del progetto (Level of Development) che seguono ed incrementano i tradizionali documenti progettuali (preliminare, definitivo, esecutivo):

- LOD 100, *Concettuale*: può essere associato ad un progetto preliminare, in cui l’elemento viene rappresentato sottoforma di

94 «GLOSSARIO.pdf»; Lorenzo Nissim, «Cosa indicano i LOD? | IBIMI», consultato 12 luglio 2020, <https://www.ibimi.it/lod-livello-di-dettaglio-per-il-bim/>.

simboli o altra generica rappresentazione, mostra l'esistenza di un componente ma non la sua forma, dimensione o localizzazione, ogni informazione derivata dal LOD 100 è indicativa;

- LOD 200, *Geometria approssimata*: può essere associato ad un progetto definitivo, in cui gli elementi sono rappresentati come segnaposti generici, le quantità, le forme, le dimensioni e le posizioni sono approssimative, anche in questo caso le informazioni derivanti dal LOD 200 sono indicative;
- LOD 300, *Geometria precisa*: associabile ad un progetto esecutivo, l'elemento inizia ad essere rappresentato come un oggetto preciso in termini di ingombri, collocazione, quantità ed orientamento, le diverse entità possono essere misurate direttamente sul modello, le informazioni che ne derivano sono precise;
- LOD 400, *Costruzione*: può essere identificato come il progetto costruttivo, che arricchisce le informazioni contenute nel LOD 300, con indicazioni circa il prodotto, l'installazione e la manutenzione, il progetto è modellato con sufficiente dettaglio e precisione da consentirne la fabbricazione;
- LOD 500, *As-built*: come costruito, può essere realizzato in cantiere dall'impresa di costruzione, per tenere una traccia verificata di tutto ciò che appartiene all'edificio.

Successivamente è stato aggiunto un ulteriore livello di definizione:

- LOD 350, *Documenti costruttivi*: può essere collocato tra un progetto esecutivo e un progetto costruttivo, all'interno di questo livello rientra la modellazione delle parti necessarie per il coordinamento degli elementi vicini o in aderenza, serve per evitare problemi tra la resa grafica e il costruito.

Sempre all'interno del protocollo standard BIM AIA, G202-2013, sono stati individuati 5 step di definizione del progetto grafico, i quali, se accompagnati da un giusto livello di maturità di informazioni correlate, vanno di pari passo con il Level of Development.

La normativa di riferimento britannica invece PAS 1192-2, in merito ai Level of Detail, introduce una distinzione, suddividendo il LOD(etail) in Level of Defination e cioè livello di informazione grafica (detto anche LOG) e Level of Information, livello di informazione non grafica (LOI), sviluppando uno standard parallelo con 7 setp di dettaglio grafico del progetto così definiti:

- 1) *Brief*: se esiste un modello grafico, questo, è una derivazione da un asset information model (AIM), in cui le informazioni presenti possono riferirsi ad altri edifici o strutture esistenti, anche sottoforma di tabelle o richieste di dati da fornire;
- 2) *Concept*: modello grafico contenente solo volumetrie schematiche e simboli 2D che rappresentano gli elementi;
- 3) *Defination*: gli oggetti sono basati su rappresentazioni generiche, con specifiche e attributi che consentono la selezione dei prodotti;
- 4) *Design*: gli oggetti sono rappresentati in 3D e corredati di informazioni sulla collocazione spaziale, sull'accessibilità, l'installazione, la manutenzione e l'eventuale sostituzione;
- 5) *Build and commission*: gli oggetti generici sono sostituiti con i prodotti commerciali scelti
- 6) *Handover and close-out*: il modello rappresenta la realtà e tutte le informazioni necessarie (commissionamento oggetti, operatività, manutenzione, installazione e sostituzione) sono incluse nella documentazione consegnata;
- 7) *Operation and in-use*: le prestazioni richieste sono verificate a posteriori e aggiornate con eventuali modifiche nel modello dell'edificio.

Bibliografia

- ACCA software. *GUIDA AL BIM - La rivoluzione digitale dell'edilizia - II edizione*. 2.2 del 5/11/2018., s.d.
- Attura, Mauro, Associazione nazionale architettura bioecologica (Milano), e Convegno nazionale sul costruire bioecologico, a c. di. *Architettura bioecologica: atti del primo convegno nazionale sul costruire bioecologico, Udine, Università degli studi, 31 marzo 1990*. Monfalcone: Edicom, 1998.
- Bertagnin, Mauro. *Bioedilizia: progettare e costruire in modo ecologicamente consapevole*. Ecologia dell'ambiente, corpo e mente. Padova: GB, 1996.
- Bruno, Stefano. *Manuale di architettura per la progettazione bioclimatica e la bioedilizia per progettare e costruire edifici sani e vivibili*. Milano: Il sole 24 ore, 1999.
- Bruno, Stefano. *Manuale di bioarchitettura: bioedilizia e fonti alternative di energia rinnovabile*. Palermo: DFlaccovio, 2009.
- Canepa, Maria. *Riflessioni sullo sviluppo sostenibile in architettura: a trent'anni dal rapporto Brundtland*. Architettura, n. 30. Milano: Mimesis, 2018.
- Colli, Luigi. *Architettura della bioedilizia*. Bussolengo: Demetra, 1995.
- Colli, Luigi. *Bioedilizia: dal progetto alla realizzazione*. Bussolengo: Demetra, 1995.
- Deubner, Helmut, e Sigrid Peitz. *Bioarchitettura: un'ipotesi di bioedilizia*. Ambiente Territorio Edilizia Urbanistica 89. Rimini: Maggioli, 1993.
- European Commission. *L'economia circolare: collegare, generare e conservare il valore*. Lussemburgo: Ufficio delle pubblicazioni dell'Unione europea, 2014.
- Gausa, Manuel, Susanna Cros, e Metápolis, a c. di. *The Metapolis Dictionary of Advanced Architecture: City, Technology and Society in the Information Age*. Barcelona: ACTAR, 2003.
- Le regioni italiane e la bioedilizia: le esperienze e le proposte per una normativa in materia*. Architettura sostenibile. Documenti. Monfalcone: Edicom, 2002.
- Pearson, David W, Malcom Wells, e Enzo Scampi. *La casa ecologica: progetti, materiali, usi, cautele*. Milano: Touring Club Italiano, 1990.
- Pedrotti, Walter. *Materiali e materiali*. Bioedilizia. Bussolengo: Demetra, 1994.
- Reyneri, Carlo Amedeo. *Fondazioni e strutture portanti in bioedilizia*. Architettura sostenibile. Quaderni di Naturopolis. Monfalcone: Edicom, 2002.
- Reyneri, Carlo Amedeo. *Solai, pareti e serramenti in bioedilizia*. Architettura sostenibile. Quaderni di Naturopolis. Monfalcone: EdicomEdizioni, 2002.
- Stahel, Walter R. *Economia circolare per tutti: concetti base per cittadini, politici e imprese*. Milano: Edizioni Ambiente, 2019.
- Tiezzi, Enzo, e Nadia Marchettini. *Che cos'è lo sviluppo sostenibile? Le basi scientifiche della sostenibilità e i guasti del pensiero unico*. Saggi Donzelli Natura e artefatto. Roma: Donzelli, 1999.
- Verso un'ecologia della mente*, s.d.
- Wienke, Uwe. *Manuale di bioedilizia: Uwe Wienke*. 4. ed. aggiornata e ampliata. Roma: Dei, 2008.

Sitografia e Documenti

- Redshift IT. «5 tendenze da seguire per le tecnologie di bioedilizia», 1 maggio 2018. <http://enewsletters.constructionexec.com/techtrends/2017/10/five-trends-to-watch-for-green-construction-technology/>.
- Civico 5.0. «100 MATERIALI per una nuova edilizia», 12 aprile 2016. <https://civicocinquepuntozero.it/documenti/100-materiali-per-una-nuova-edilizia/>.
- «About Us - GBC Italia». Consultato 19 aprile 2020. <http://www.gbitalia.org/web/guest/about-us>.
- Business Insider Italia. «Addio globalizzazione, è l'ora della performance economy, chi lo capisce farà grandi profitti», 18 novembre 2019. <https://it.businessinsider.com/walter-stahel-papa-delleconomia-circolare-addio-globalizzazione-e-lora-della-performance-economy-chi-lo-capisce-fara-grandi-profitti/>.
- «allegato_tec_CAMedilizia.pdf». Consultato 16 giugno 2020. https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/GPP/allegato_tec_CAMedilizia.pdf.
- «all.to_19_PAN_GPP_definitivo__21_12_2007.pdf». Consultato 11 giugno 2020. https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/GPP/all.to_19_PAN_GPP_definitivo__21_12_2007.pdf.
- «Anac sospende le linee guida sui CAM edilizia - News - GBC Italia». Consultato 29 maggio 2020. <http://gbitalia.org/web/guest/-/anac-sospende-le-linee-guida-sui-cam-edilizia>.
- «Appalti pubblici verdi - Ambiente - Commissione europea». Consultato 12 giugno 2020. https://ec.europa.eu/environment/gpp/index_en.htm.
- Barbagallo, ing Vincenzo. «Il BIM e le sue Dimensioni -secondo le UNI 11337- |». Consultato 7 luglio 2020. <https://www.progettiamobim.com/blog/approfondimenti/il-bim-e-le-sue-dimensioni-secondo-le-uni-11337/>.
- «Bioarchitettura in "Enciclopedia Italiana"». Consultato 19 gennaio 2020. [http://www.treccani.it/enciclopedia/bioarchitettura_\(Enciclopedia-Italiana\)](http://www.treccani.it/enciclopedia/bioarchitettura_(Enciclopedia-Italiana)).
- «Bioedilizia in "Lessico del XXI Secolo"». Consultato 14 gennaio 2020. [http://www.treccani.it/enciclopedia/bioedilizia_\(Lessico-del-XXI-Secolo\)](http://www.treccani.it/enciclopedia/bioedilizia_(Lessico-del-XXI-Secolo)).
- Edilizia Namirial. «CAM Edilizia ed EPD - Progettazione ecocompatibile dell'edificio», 13 giugno 2017. <https://www.edilizianamirial.it/criteri-ambientali-minimi-progettazione-edilizia-ecocompatibile/>.
- Campioli, Andrea, Anna Valle, Sara Ganassali, e Serena Giorgi. «Progettare il ciclo di vita della materia: nuove tendenze in prospettiva ambientale». *Techne* 16, n. 16 (2018): 86-95. <https://doi.org/10.13128/Techne-23016>.
- «Che cosa è il GPP | Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare». Consultato 7 giugno 2020. <https://www.minambiente.it/pagina/che-cosa-e-il-gpp>.
- «Circular Economy - Principles for Building Design - DocsRoom - European Commission». Consultato

8 luglio 2020. <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/39984>.

«CircularEconomySchoolsOfThought». Consultato 8 marzo 2020. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/schools-of-thought>.

Agi. «Come è nata l'idea di economia circolare e quali opportunità offre all'Italia». Consultato 21 febbraio 2020. https://www.agi.it/economia/ellen_macarthur_economia_circolare-4480262/news/2018-10-13/.

«Commissione Europa, 2008. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives.» Consultato 14 febbraio 2020. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&-from=EN>.

«COMUNICAZIONE DELLA COMMISSIONE AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSIGLIO, AL COMITATO ECONOMICO E SOCIALE EUROPEO E AL COMITATO DELLE REGIONI - Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare Per un'Europa più pulita e più competitiva». Consultato 2 luglio 2020. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0020.02/DOC_1&format=PDF.

«Contesto normativo e legislazione | Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare». Consultato 11 giugno 2020. <https://www.minambiente.it/pagina/contesto-normativo-e-legislazione>.

«Conto annuale : Investimenti fissi lordi per sottosettore». Consultato 15 giugno 2020. <http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=18249>.

«CORSO BIM - Materiale didattico.pdf». Consultato 12 luglio 2020. https://2018.aulaweb.unige.it/pluginfile.php/226403/mod_resource/content/6/Materiale%20didattico/CORSO%20BIM%20-%20Materiale%20didattico.pdf.

European Commission - European Commission. «Cos'è il Green Deal europeo?» Text. Consultato 6 aprile 2020. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/fs_19_6714.

Economia Circolare. «Cos'è l'Economia Circolare». Consultato 24 marzo 2020. <https://www.economicircolare.com/cose-leconomia-circolare/>.

«Criteri Ambientali Minimi (CAM): cosa sono e a cosa servono». Consultato 6 giugno 2020. <https://www.ingenio-web.it/25642-i-criteri-ambientali-minimi-cam-negli-appalti-pubblici-cosa-sono-e-a-cosa-servono>.

Cumo, Fabrizio, Adriana Sierra, e Elisa Pennacchia. «Patrimonio edilizio della "Sapienza": strumenti digitali integrati per il progetto esecutivo». *Techne* 18, n. 18 (2019): 191–198. <https://doi.org/10.13128/techne-7530>.

«d39210f0-dac2-48d8-b7ab-bd2bb5f761fb.pdf». Consultato 1 aprile 2020. http://gbcitalia.org/documents/20182/565254/GBC+Italia_Position+Paper+EC_04.pdf/d39210f0-dac2-48d8-b7ab-bd2bb5f761fb.

«dlgs_18_04_2016_50.pdf». Consultato 11 giugno 2020. https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/GPP/dlgs_18_04_2016_50.pdf.

«dlgs_19_04_2017_56.pdf». Consultato 11 giugno 2020. https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/GPP/dlgs_19_04_2017_56.pdf.

«docDownload.pdf». Consultato 15 giugno 2020. <http://www.ance.it/docs/docDownload.aspx?id=53496>.

Nordtex. «Download». Consultato 13 luglio 2020. <https://www.nordtex.it/download/>.

«DRCE_-_Executive_summary1.pdf». Consultato 20 aprile 2020. https://wms.flexious.be/editor/plugins/imagemanager/content/2140/PDF/2020/DRCE_-_Executive_summary1.pdf.

«ecologia in Vocabolario - Treccani». Consultato 21 gennaio 2020. <http://www.treccani.it/vocabolario/ecologia/>.

«Edilizia circolare per adempiere alla nuova legge sul clima: il monito dei GBC europei e di grandi aziende - News - GBC Italia». Consultato 31 marzo 2020. <http://www.gbcitalia.org/-/edilizia-circolare-per-adempiere-alla-nuova-legge-sul-clima-il-monito-dei-gbc-europei-e-di-grandi-aziende>.

edoardowp2016. «CHI SONO». *Edoardo Croci* (blog). Consultato 13 aprile 2020. https://www.edoardocroci.it/?page_id=4.

«Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf». Consultato 2 marzo 2020. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>.

«Gazzetta Ufficiale». Consultato 11 maggio 2020. https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=2016-04-19&atto.codiceRedazionale=16G00062.

«GBC+Italia_Advocacy+Manifesto_Website.pdf». Consultato 26 marzo 2020. http://www.gbcitalia.org/documents/20182/1400845/GBC+Italia_Advocacy+Manifesto_Website.pdf.

«Glossario - Bioedilizia - Il Portale Della Bioedilizia». Consultato 24 giugno 2020. <https://www.portaledellabioedilizia.it/glossario/bioedilizia>.

«GLOSSARIO.pdf». Consultato 12 luglio 2020. https://2018.aulaweb.unige.it/pluginfile.php/226423/mod_resource/content/1/GLOSSARIO.pdf.

Gouardères, Frédéric. «Politica dell'innovazione», 2020, 6.

«GPP sostenibile - Ambiente - Commissione europea». Consultato 12 giugno 2020. https://ec.europa.eu/environment/gpp/versus_en.htm.

Guardigli, Luca. «Dallo storico rapporto naturale con il luogo alla consapevolezza ambientale di oggi», 9–52. Firenze: Alinea, 2012. [https://doi.org/Guardigli, Luca \(2012\) Dallo storico rapporto naturale con il luogo alla consapevolezza ambientale di oggi. DOI 10.6092/unibo/amsacta/3574](https://doi.org/Guardigli, Luca (2012) Dallo storico rapporto naturale con il luogo alla consapevolezza ambientale di oggi. DOI 10.6092/unibo/amsacta/3574). In: . Firenze: Alinea, pp. 9-52.

Circularity City. «Homepage». Consultato 12 aprile 2020. <http://www.circularitycity.dk/>.

«I Criteri ambientali minimi | Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare». Consultato 11 giugno 2020. <https://www.minambiente.it/pagina/i-criteri-ambientali-minimi#3>.

BIM Strutturale. «Il BIM e le dimensioni digitali», 7 giugno 2019. <https://www.bimstrutturale.org/bim-dimensioni-digitali/>.

«Il cambiamento climatico è in corso: ecco come rendersene conto | National Geographic». Consultato 2 febbraio 2020. <https://www.nationalgeographic.it/ambiente/2019/12/il-cambiamento-climatico-e-corso-ecco-come-rendersene-conto>.

«Il gas radon in case e uffici è la seconda causa di tumore ai polmoni (e c’è in tutti gli edifici) - Corriere.it». Consultato 14 febbraio 2020. https://www.corriere.it/salute/sportello_cancro/cards/gas-radon-case-uffici-seconda-causa-tumore-polmoni-c-tutti-edifici/che-cos-radon_principale.shtml.

Forum Compraverde Buygreen. «Il GPP obbligatorio». Consultato 2 maggio 2020. <https://www.forumcompraverde.it/il-gpp-obbligatorio/>.

Il Post. «Il Green Deal europeo, spiegato bene», 2 febbraio 2020. <http://www.ilpost.it/2020/02/02/green-deal-europeo/>.

«INBAR Architetture che comunicano con l’ambiente». Consultato 11 febbraio 2020. <http://www.bioarchitettura.it/network/c38-blog/architetture-che-comunicano-con-lambiente/>.

«INBAR Istituto». Consultato 29 gennaio 2020. <http://www.bioarchitettura.it/istituto/inbar-istituto/>.

«Informazioni su GPP - Ambiente - Commissione europea». Consultato 11 giugno 2020. https://ec.europa.eu/environment/gpp/what_en.htm.

«Innovazione digitale, la leva chiave per sviluppare l’economia circolare in Europa - Eunews», 18 marzo 2020. <https://www.eunews.it/2020/03/18/innovazione-digitale-leva-chiave-economia-circolare-europa/127805>.

Laborad. «Inquinamento domestico da composti organici volatili (VOC o SOV) e formaldeide», 13 febbraio 2012. <https://www.laborad.com/inquinamento-domestico-da-composti-organici-volatili-voc-o-sov-e-formaldeide/>.

«Inquinamento domestico da composti organici volatili (VOC o SOV) e formaldeide - Laborad». Consultato 14 febbraio 2020. <https://www.laborad.com/inquinamento-domestico-da-composti-organici-volatili-voc-o-sov-e-formaldeide/>.

«Italian Handbook – EU BIM Task Group». Consultato 9 luglio 2020. <http://www.eubim.eu/handbook-selection/italian-handbook/>.

«Karl Lotz Ernt». Consultato 5 febbraio 2020. http://www.librisalus.it/autori/karl_lotz_ernt.php.

Kirchherr, Julian, Denise Reike, e Marko Hekkert. «Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions». *Resources, Conservation and Recycling* 127 (1 dicembre 2017): 221–32. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.

«L’ ECONOMIA CIRCOLARE», s.d., 35.

Lascio, Andrea Di. «GLI APPALTI VERDI: ATTUALITA’ E PROSPETTIVE», s.d., 33.

Lavagna, Monica, Alessandra Bessi, Andrea Meneghelli, e Paola Moschini. «La dimensione ambientale del progetto esecutivo. Esperienze e prospettive future». *Techne* 18, n. 18 (2019): 138–146. <https://doi.org/10.13128/techne-7520>.

Infobuild Energia. «Le costruzioni e l’economia circolare». Consultato 12 aprile 2020. <https://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/economia-circolare-edilizia-407.html>.

«Le imprese | Consultazione pubblica sull’Economia Circolare». Consultato 30 giugno 2020. <http://consultazione-economiacircolare.minambiente.it/le-imprese>.

European Environment Agency. «Lo stato dell’ambiente in Europa nel 2020: urge un cambio di rotta per affrontare le sfide poste dai cambiamenti climatici, investire il processo di degrado e assicurare il benessere alle generazioni future». Notizie. Consultato 2 giugno 2020. <https://www.eea.europa.eu/it/highlights/lo-stato-dell-ambiente-in-europa>.

Lombardini, Giampiero, e Giorgio Mor. «Modellazione B.I.M. per l’architettura Il B.I.M. nel Processo Edilizio», s.d., 151.

«Manuale per l’introduzione del BIM da parte della domanda pubblica in Europa». Consultato 9 luglio 2020. <http://www.eubim.eu/wp-content/uploads/2018/02/GROW-2017-01356-00-00-IT-TRA-00.pdf>.

Martinella, Vera. «Il gas radon (in case e uffici) è la 2° causa di tumore ai polmoni». Corriere della Sera, 26 gennaio 2020. https://www.corriere.it/salute/sportello_cancro/cards/gas-radon-case-uffici-seconda-causa-tumore-polmoni-c-tutti-edifici/che-cos-radon_principale.shtml.

Civico 5.0. «Materiali INNOvativi e sostenibili per una nuova edilizia», 10 febbraio 2019. <https://civicocinquelpuntozero.it/documenti/materiali-innovativi-e-sostenibili-per-una-nuova-edilizia/>.

Matta, Marianna, Francesco Prizzon, e Manuela Rebaudengo. «BUILDINGS MINIMUM ENVIRONMENTAL CRITERIA: CALL FOR TENDERS AND PROCEDURAL ISSUES». In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference : SGEM*, 19:389–396. Sofia: Surveying Geology & Mining Ecology Management SGEM, 2019. <https://doi.org/10.5593/sgem2019V/6.3/S10.050>.

«new_circular_economy_action_plan.pdf». Consultato 17 aprile 2020. https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf.

Nissim, Lorenzo. «Cosa indicano i LOD? | IBIMI». Consultato 12 luglio 2020. <https://www.ibimi.it/lod->

livello-di-dettaglio-per-il-bim/.

«Nuova strategia per l'economia circolare - Ambiente - Commissione europea». Consultato 6 aprile 2020. <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/>.

«Our world is now only 8.6% circular - Circle Economy». Consultato 7 aprile 2020. <https://www.circle-economy.com/news/our-world-is-now-only-8-6-circular>.

«PDF.pdf». Consultato 3 marzo 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098&-from=EN>.

«PDF.pdf». Consultato 7 aprile 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0029>.

«Piano d'Azione nazionale sul GPP | Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare». Consultato 12 giugno 2020. <https://www.minambiente.it/pagina/piano-dazione-nazionale-sul-gpp>.

European Commission - European Commission. «Piano d'azione per l'economia circolare». Text. Consultato 6 aprile 2020. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/it/fs_20_437.

«Politica dell'innovazione | Note tematiche sull'Unione europea | Parlamento Europeo». Consultato 3 giugno 2020. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/it/sheet/67/politica-dell-innovazione>.

«porosità in Vocabolario - Treccani». Consultato 13 febbraio 2020. <http://www.treccani.it/vocabolario/porosita>.

Logical Soft. «Progettare edifici pubblici: BIM e CAM - BIM». Consultato 16 giugno 2020. <https://www.logical.it/progettazione-approfondimenti/efficienza-energetica-degli-edifici/progettare-edifici-pubblici-bim-e-cam>.

«Pubblicato il Manifesto di GBC Italia - News - GBC Italia». Consultato 17 aprile 2020. http://gbcitalia.org/en_US/web/guest/-/pubblicato-il-manifesto-di-gbc-italia.

«Public Procurement Indicators 2017 - DocsRoom - European Commission». Consultato 12 giugno 2020. <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/38003>.

Civico 5.0. «Rapporto Civico 5.0 - monitoraggi estivi», 4 dicembre 2019. <https://civicocinquepuntozero.it/documenti/rapporto-civico-5-0-monitoraggi-estivi/>.

«RapportoRifiutiSpecialiEd.2019n.311_DatiDiSintesi_Rev24Settembre2019.pdf». Consultato 10 aprile 2020. http://www.isprambiente.gov.it/files2019/pubblicazioni/rapporti/RapportoRifiutiSpecialiEd.2019n.311_DatiDiSintesi_Rev24Settembre2019.pdf.

«Salviamo l'ambiente con la bioedilizia | Italia e mondo». Consultato 14 gennaio 2020. <http://www.unina.it/-/1323394-salviamo-l-ambiente-con-la-bioedilizia>.

«sick building syndrome». Consultato 16 febbraio 2020. <https://ifg.uniurb.it/static/lavori-fine-corso-2002/zani/sindrome.htm>.

«Sistema economico lineare - Okpedia». Consultato 28 febbraio 2020. https://www.okpedia.it/sistema_economico_lineare.

Soft, Logical. «Logical Soft - non solo software | Logical Soft». Logical. Consultato 13 luglio 2020. <https://www.logical.it/logical-soft>.

Novello - le migliori case in paglia. «TECNICA COSTRUTTIVA: TELAIO IN LEGNO E PAGLIA». Consultato 17 luglio 2020. <http://www.novellocasedipaglia.it/tecnologia/tecnica-costruttiva-telaio-in-legno-e-paglia>.

«The Keeling Curve | A daily record of atmospheric carbon dioxide from Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego». Consultato 2 febbraio 2020. <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>.

The Performance Economy. Consultato 26 marzo 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=o0LT0r-9ZM>.

«The Product-Life Institute | Cradle to Cradle». Consultato 26 marzo 2020. <http://product-life.org/>.

«Treccani, il portale del sapere». Consultato 14 gennaio 2020. <http://www.treccani.it/index.html>.

«Tutti i moduli | Logical Soft». Consultato 11 luglio 2020. <https://www.logical.it/software-per-la-termotecnica/tutti-i-moduli>.

Commissione europea - European Commission. «Un Green Deal europeo». Text. Consultato 2 aprile 2020. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it.

«UN'ISTANTANEA DELLA SITUAZIONE ATTUALE | Consultazione pubblica sull'Economia Circolare». Consultato 28 febbraio 2020. <http://consultazione-economicacircolare.minambiente.it/un-istantanea-della-situazione-attuale-0>.

«Verso un'ecologia della mente (Libro, 1990) [WorldCat.org]». Consultato 21 gennaio 2020. <https://www.worldcat.org/title/verso-unecologia-della-mente/oclc/797918175?referer=br&ht=edition>.

«verso-un-nuovo-modello-di-economia-circolare_HR.pdf». Consultato 1 luglio 2020. http://consultazione-economicacircolare.minambiente.it/sites/default/files/verso-un-nuovo-modello-di-economia-circolare_HR.pdf.

Treccani, l'Enciclopedia italiana. «Vorrei avere qualche informazione sull'etimologia del termine "biomimesi". È un termine divenuto di uso comune?» Consultato 28 marzo 2020. http://www.treccani.it/magazine/lingua_italiana/domande_e_risposte/lessico/lessico_194.html.

«What is a Circular Economy? | Ellen MacArthur Foundation». Consultato 8 marzo 2020. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept>.