

ANALISI DEI SISTEMI E DELLE STRATEGIE DI ECONOMIA CIRCOLARE NEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI

Progetto Circular.Buildings, codice: ITA-SI0600152

WP: 1.1

Data di pubblicazione: aprile 2025

Autori:

Alice Bolzan

Damiana Chinese

Paola D'Agaro

Anna Frangipane

Nicola Baldo



Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

www.ita-slo.eu/circularbuildings



Circular.buildings



Circular.buildings

INDICE

1. INTRODUZIONE

2. GESTIONE DELLA FILIERA CIRCOLARE DELL'EDILIZIA

- 2.1. Revisione della letteratura
- 2.2. Driver di circolarità della filiera
- 2.3. Strategie di economia circolare nelle fasi della catena di fornitura

3. BUONE PRATICHE DI CIRCOLARITÀ PER IL SETTORE DELLE COSTRUZIONI TRANSFRONTALIERO

- 3.1. Revisione della letteratura
- 3.2. Best Practices

4. PATRIMONIO EDILIZIO TRANSFRONTALIERO

- 4.1. Dati statistici per gli stock di edifici
 - 4.1.1. Italia
 - 4.1.2. Slovenia
- 4.2. Confronto tra le tipologie edilizie italiane e slovene
 - 4.2.1. Periodo 1
 - 4.2.2. Periodo 2
 - 4.2.3. Periodo 3
 - 4.2.4. Periodo 4
- 4.3. Circolarità negli interventi

5. LACUNE NELLE BEST PRACTICES DEI PROGETTI COMUNITARI

- 5.1. Ricerca sui progetti di economia circolare
- 5.2. Lacune nelle Best Practices

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

APPENDICE - SCHEDE DI CARATTERIZZAZIONE DELLE BEST PRACTICES

CAP. 1 - INTRODUZIONE

Questa analisi è stata sviluppata nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia, per il progetto Circular.Buildings. L'obiettivo principale della ricerca condotta dal DPIA Uniud è stato l'analisi di sistemi di gestione della filiera edile nel suo complesso.

Lo studio si è concentrato sulle modalità con cui i principi dell'economia circolare possono essere integrati nelle fasi del ciclo di vita degli edifici; inoltre, l'attenzione si è rivolta al contesto transfrontaliero, al fine di evidenziare lacune e possibilità di migliorare l'approccio alla circolarità nel settore edilizio locale.

L'industria delle costruzioni ha il maggiore impatto sull'ambiente: in primo luogo, è responsabile, a livello mondiale, dell'utilizzo di oltre il 40% delle risorse [1], con il consumo specifico del 60% del totale degli aggregati, del 20% dei metalli [2] e del 25% del legno vergine [3]. Contribuisce inoltre tra il 30% e il 40% alle emissioni di CO₂ [2] e al consumo globale di energia e acqua, rispettivamente per il 40% e il 16% [3]. Tuttavia, l'impatto maggiore è legato alla produzione di enormi quantità di rifiuti da costruzione e demolizione, che rappresentano circa il 40% dei rifiuti solidi globali [1], mentre per l'Unione Europea la percentuale è del 36% [4].

Questi dati dimostrano la necessità di un cambiamento di approccio nel settore delle costruzioni per limitare il consumo di risorse e la produzione di rifiuti: negli ultimi decenni, l'introduzione del paradigma dell'economia circolare (CE) nell'industria ha dimostrato di essere un modo ottimale per ottenere significativi miglioramenti ambientali.

La Ellen MacArthur Foundation (EMF) [5] ha definito l'economia circolare come "un sistema in cui i materiali non diventano mai rifiuti e la natura si rigenera", in cui "i prodotti e i materiali sono mantenuti in circolazione attraverso processi come la manutenzione, il riutilizzo, la rimessa a nuovo, la rifabbricazione, il riciclaggio e il compostaggio" e che "affronta il cambiamento climatico e altre sfide globali, come la perdita di biodiversità, i rifiuti e l'inquinamento, disaccoppiando l'attività economica dal consumo di risorse limitate". L'EMF ha schematizzato perfettamente il concetto con il Diagramma a farfalla dell'economia circolare (Figura 1): si distinguono chiaramente il ciclo biologico, in verde, per i materiali biodegradabili, e il ciclo tecnico, in blu, per i prodotti artificiali.

Questo sistema economico si contrappone alla tradizionale economia lineare, basata sullo schema "take-make-waste", e prevede che le risorse si muovano su cicli chiusi governati da tre principi fondamentali, noti come le "3R", Ridurre, Riutilizzare e Riciclare, che permettono di gestirle in modo efficiente e di conservarne sempre il massimo valore possibile; per fare ciò, sono state introdotte altre "R" tra i principi fino a definire un quadro di "9Rs", ovvero Rifiutare, Ripensare/Riproporre/Riprogettare, Riparare, Rimettere a nuovo, Rifabbricare e Recuperare, in

parte citati nella definizione della EMF [6]. Le opportunità di evitare i rifiuti possono quindi essere riclassificate in tre livelli, con un grado di circolarità decrescente dal primo al terzo, consentendo l'allineamento con la gerarchia dei rifiuti dell'UE [7]:

- un primo livello di azione preventiva, che comprende i principi di Rifiuto, Riduzione e Rivalutazione;
- un secondo livello di conservazione del prodotto e di estensione della sua vita utile, anche con possibili interventi, che comprende il Riutilizzo, la Riparazione, il Rinnovamento e la Rifabbricazione;
- un terzo livello, come soluzione estrema e meno circolare, che cerca di massimizzare il valore dei materiali a fine vita attraverso il Riciclo e il Recupero.

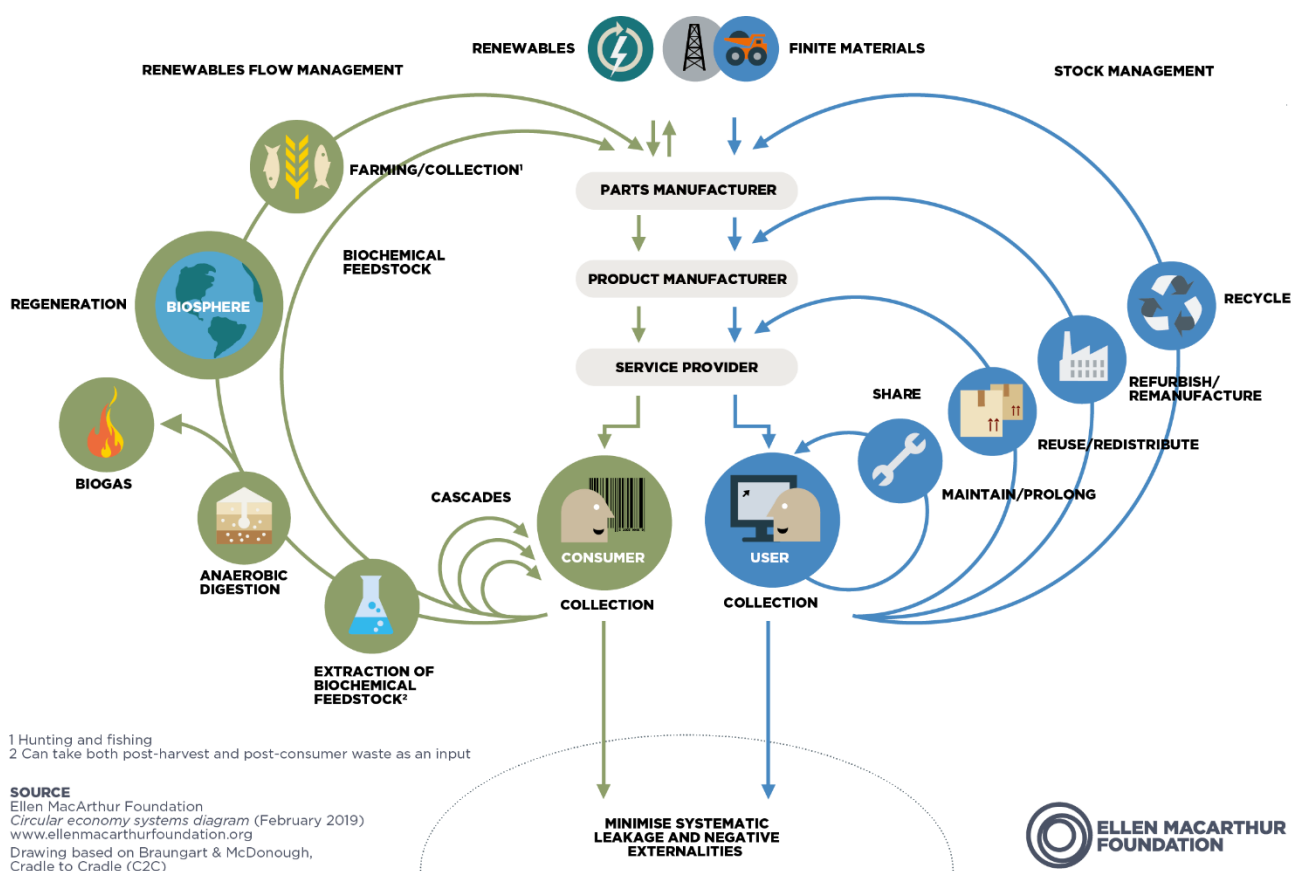


Figura 1 : Diagramma a farfalla dell'economia circolare [5]

Per ottenere miglioramenti nella sostenibilità dell'industria delle costruzioni, appare chiaro che i principi delle 9R devono essere implementati, ma sempre considerando tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio, così come definito per il Life Cycle Assessment nella UNI EN 15978 in Figura 2. Gli obiettivi per questo settore specifico rimangono quelli generici del CE [8]:

- ridurre l'uso delle risorse attraverso una migliore ed efficiente pianificazione, progettazione, costruzione, utilizzo e gestione degli edifici;
- rallentare l'uso delle risorse prolungando la durata della vita di materiali, componenti e interi edifici;

- *closing-the-loop*, escludendo lo smaltimento in discarica a favore del riutilizzo e del riciclaggio.

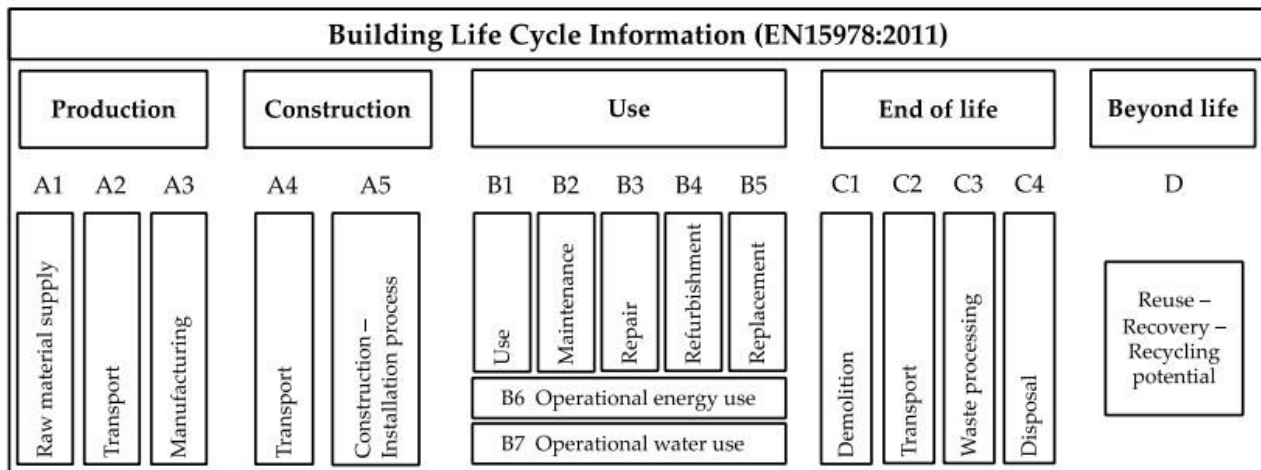


Figura2 : Fasi del ciclo di vita dell'edificio (UNI EN 15978)

Si può quindi parlare di edificio circolare: un edificio può essere definito come tale quando "viene sviluppato, utilizzato e riutilizzato senza inutile esaurimento delle risorse, inquinamento ambientale e degrado dell'ecosistema", "è costruito in modo economicamente responsabile e contribuisce al benessere delle persone e della biosfera" e in cui "gli elementi tecnici sono smontabili e riutilizzabili, e anche gli elementi biologici possono essere reimmessi nel ciclo biologico" [9].

Sebbene da questa definizione il concetto appaia molto semplice, uno sguardo, allo stesso tempo, a tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio, mostra che la questione è molto più complessa: infatti, l'intera filiera delle costruzioni deve essere coinvolta nella transizione circolare per realizzarne appieno il potenziale, e il problema risiede nella sua natura estremamente frammentata e articolata, tra innumerevoli stakeholder diversi.

Il concetto di supply chain circolare è stato finora esplorato da diversi studi, tuttavia la sua attuazione non è così diffusa perché richiede un cambiamento radicale nel modo in cui i processi sono gestiti nell'industria delle costruzioni: sarebbe necessario che tutti gli stakeholder coinvolti nel ciclo di vita dell'edificio avessero un'adeguata capacità tecnologica, fossero disposti a collaborare attivamente tra loro e condividessero la stessa prospettiva di circolarità.

In risposta a questo problema, la presente ricerca analizza i sistemi di gestione, le strategie e gli strumenti che possono essere adottati per garantire una transizione da una filiera lineare tradizionale a una circolare.

Utilizzando la vasta letteratura accessibile per il partner DPIA Uniud tramite i database dedicati alla ricerca accademica quali Scopus e Science Direct, è stato effettuato uno scouting a livello globale di sistemi virtuosi/buone prassi di gestione in ottica di circolarità per l'industria delle costruzioni seguendo l'approccio più sotto descritto.

In accordo con il ruolo affidato al partner Uniud e con i risultati attesi per il progetto Circular.Buildings, questo rapporto presenta:

1. una sintesi delle evidenze della letteratura sui sistemi di gestione della filiera delle costruzioni, con un focus sulle filosofie ritenute di maggiore impatto sulla transizione verso le filiere circolari e di cui si ritiene possibile l'applicabilità nel contesto italiano e sloveno, come la simbiosi industriale, la logistica inversa, il concetto *cradle-to-cradle*, ecc;
2. uno scouting globale per identificare le best practices di circolarità che possono essere facilmente ed efficacemente introdotte all'interno della filiera transfrontaliera delle costruzioni, con la successiva produzione di schede riassuntive che forniscono descrizioni e informazioni pratiche per gli stakeholder target del progetto;
3. un'analisi del patrimonio edilizio transfrontaliero per identificare le tipologie di edifici esistenti più comuni e gli interventi necessari sugli stessi, nonché il modo in cui le migliori pratiche identificate possono migliorare la loro sostenibilità e la gestione circolare;
4. una selezione di progetti europei in corso o recentemente conclusi incentrati sulla circolarità nel settore delle costruzioni, con particolare attenzione a quelli in cui sono coinvolti partner italiani o sloveni, al fine di individuare i gap in relazione alle best practice individuate nel contesto globale.

CAP. 2 – SISTEMI DI GESTIONE CIRCOLARE DELLA FILIERA DELL'EDILIZIA

Per comprendere meglio come i principi dell'economia circolare possano essere introdotti nella filiera delle costruzioni, è stata condotta una *meta-literature review*. L'obiettivo era quello di ottenere un numero limitato di articoli che fossero essi stessi delle rassegne sulle catene di fornitura circolari nel settore delle costruzioni, in quanto questo argomento è già molto dibattuto e ampio in termini di argomenti che comprende. Dalla loro lettura sono stati individuati i driver per estendere il paradigma circolare lungo tutta la filiera e, successivamente, le pratiche e le strategie per ogni fase della filiera.

2.1 - REVISIONE DELLA LETTERATURA

La selezione dei lavori di interesse è iniziata nel luglio 2024, con l'ultimo aggiornamento nel marzo 2025, sempre all'interno della banca dati Scopus, scelta per il gran numero di risorse in essa disponibili; il criterio di ricerca "limited to journal" per "source type" è stato utilizzato per una migliore autorevolezza e affidabilità dei risultati. Il problema principale è stato quello di trovare una stringa di parole chiave per la ricerca che restringesse il campo e permettesse di ottenere articoli il più possibile pertinenti allo scopo della revisione: è stata quindi scelta la combinazione ("*construction*" OR "*build**" OR "*built*") AND "*circular economy*" AND "*literature review*" AND "*supply chain*".

Anche in questo caso, per migliorare la specificità dei risultati, la ricerca di questa stringa è stata limitata al titolo dell'articolo, all'abstract e alle parole chiave: In questo modo sono stati ottenuti 81 articoli; l'applicazione della limitazione agli articoli in lingua inglese ha portato all'esclusione di un solo articolo. Da una prima analisi dei titoli e delle parole chiave suggerite dall'autore di ciascun articolo, sono stati esclusi tutti i testi il cui focus non erano le filiere dell'edilizia o particolari filosofie di circolarità ad esse applicabili, riducendo il numero di articoli rilevanti a 27; di questi abbiamo proceduto alla lettura dell'abstract, eliminandone altri 3 perché poco

indicativi ai fini della nostra ricerca. Le fasi di selezione sono schematizzate in

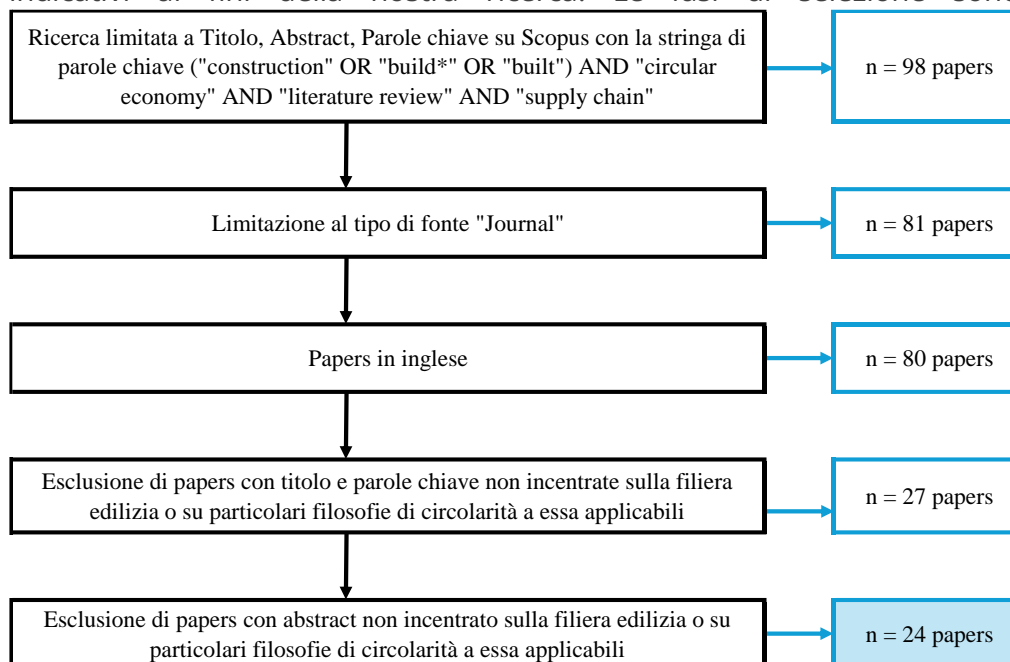


Figura 3.

Già dalla lettura degli abstract dei diversi lavori, la selezione appare soddisfacente, in quanto comprende sia testi con una visione più ampia, sia testi più specifici sulle pratiche di circolarità applicabili alle filiere, in modo da poter fornire un quadro il più possibile completo sull'argomento, in accordo con il nostro scopo.

Osservando le date di pubblicazione degli articoli, si può notare come l'argomento sia di recente interesse: come si può vedere nella Figura 4, a partire dal 2023 si registra una notevole crescita del numero di articoli sul tema in analisi.

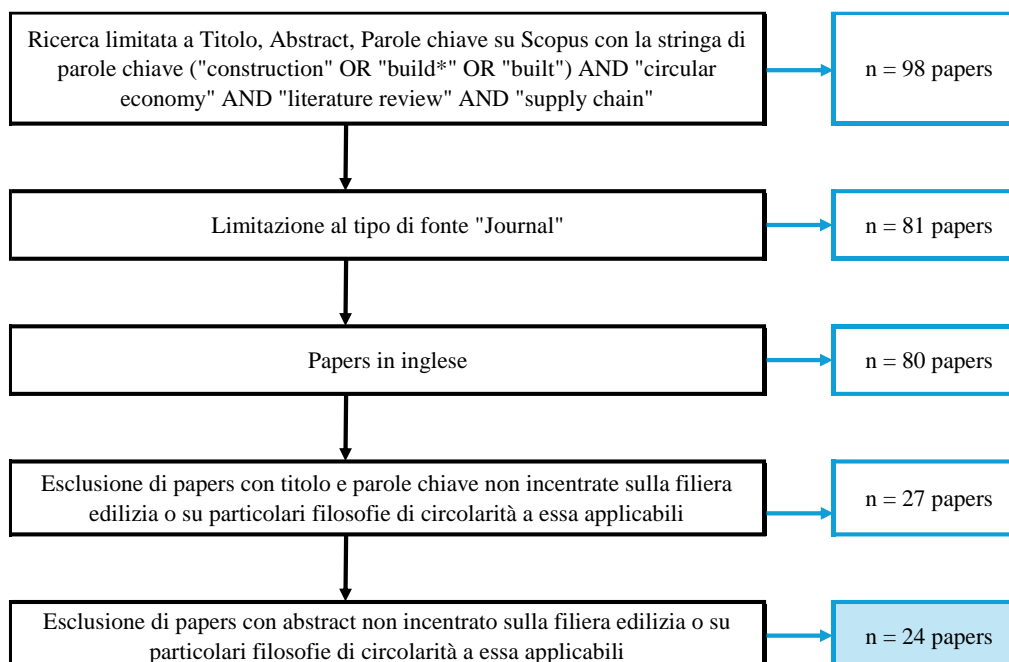


Figura 3 : Percorso di selezione dei documenti

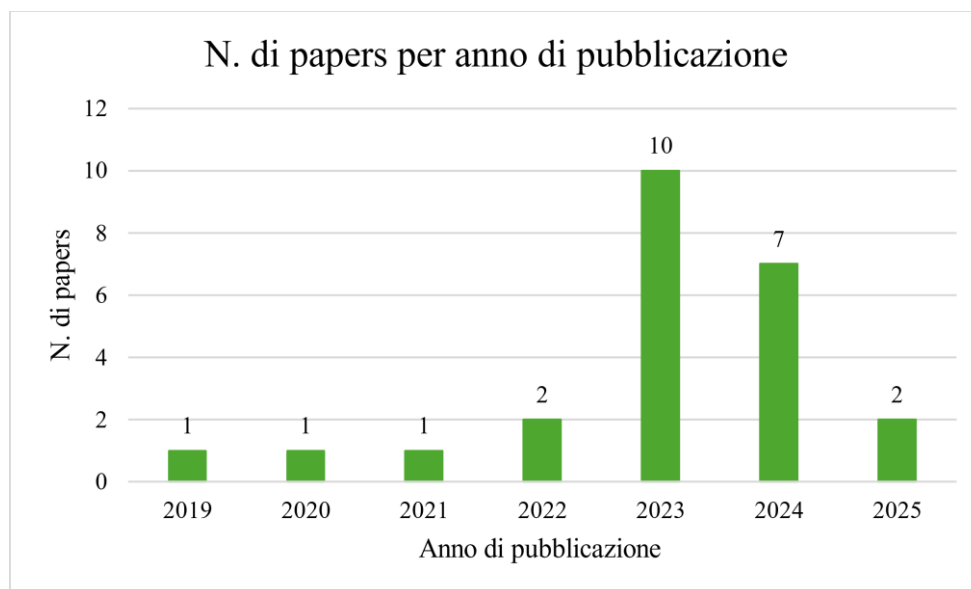


Figura 4 : Numero di pubblicazioni selezionate per anno

Va notato che, per gli articoli selezionati come rilevanti, è stato tentato l'inserimento di un ulteriore filtro di ricerca per isolare eventuali testi per cui comparissero autori italiani o sloveni, ma questa ricerca non ha prodotto alcun risultato; si è poi provato a ricercare all'interno dei

testi completi degli articoli, riferimenti diretti ad applicazioni o studi dei due Stati di interesse, anche in questo caso senza ottenere alcun riscontro. Questo non significa che in letteratura non esistano pubblicazioni sull'argomento, ma solo che in questo campione di revisioni della letteratura analizzate non sono emersi studi o esempi italiani/sloveni particolarmente rilevanti da citare secondo gli autori.

La seguente analisi delle filiere circolari nel settore delle costruzioni presenterà i modi in cui la CE può essere implementata in sistemi di gestione non esplicitamente legati al contesto transfrontaliero, ma che possono essere introdotti nello stesso, così come in qualsiasi altro contesto globale, poiché la loro applicabilità universale è riconosciuta dagli stessi esperti.

Shishehgarkhaneh et al. [10] hanno definito la supply chain come una rete di soggetti che trasportano merci, servizi, pagamenti e informazioni da un fornitore a un cliente; nel particolare contesto del settore delle costruzioni, come già accennato, la questione è ancora più complessa perché per ogni edificio la catena di fornitura abbraccia numerosi stakeholder, molteplici funzioni e tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio, da quella progettuale, allo scenario di fine vita (EoL). La transizione da una filiera lineare a una circolare richiede il passaggio da un approccio "cradle-to-grave" a uno "cradle-to-cradle", in cui, dopo la fase EoL, se idonei, i componenti o i materiali dell'edificio possono essere direttamente riutilizzati o riciclati per nuovi progetti: alle fasi della filiera tradizionale dell'edilizia, ossia Progettazione, Fabbricazione (o Produzione), Costruzione (o Installazione), Manutenzione, Gestione, se ne aggiungono altre due, Demolizione e/o Decostruzione [8].

Per ogni fase, gli stakeholder sono numerosi, come illustrato anche nella Figura 5, ma i partecipanti maggiormente coinvolti nel processo circolare sono il committente, i progettisti (architetti e ingegneri), gli appaltatori e i subappaltatori, le imprese di fornitura e distribuzione, le imprese di demolizione e gli impianti di riciclaggio [11].

In primo luogo, l'attenzione si concentrerà sulle pratiche di circolarità che agiscono sull'intera filiera, ovvero sulle filosofie di progettazione della filiera e sugli strumenti tipici per la sua gestione, mentre le best practices per ogni fase della filiera edilizia saranno evidenziate in seguito. Le strategie sono presentate qui separatamente, ma dobbiamo sottolineare che la transizione verso la filiera circolare richiede la combinazione di tutte le strategie per sfruttarne appieno il potenziale.

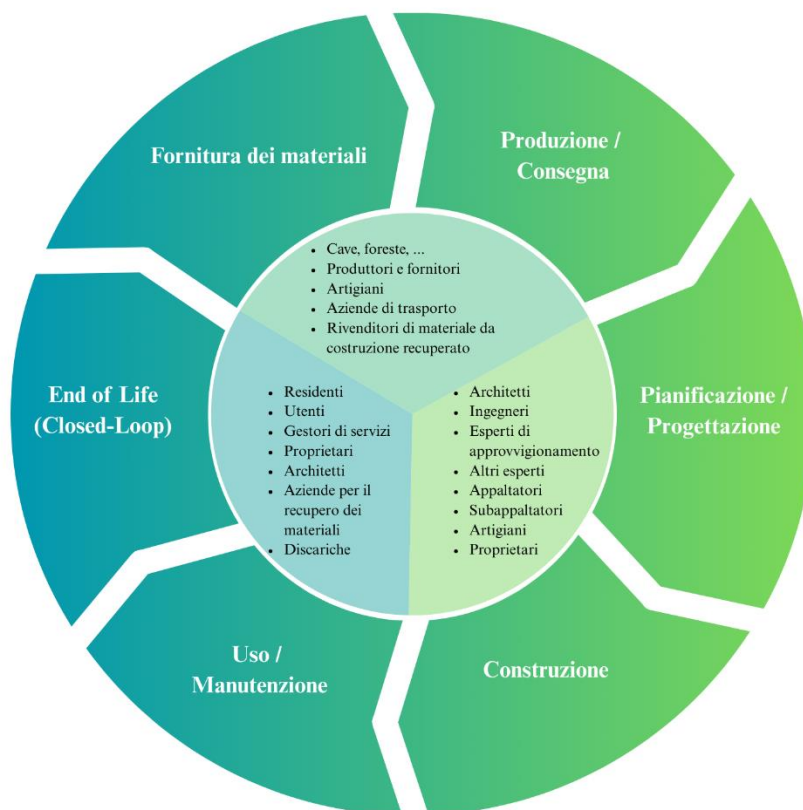


Figura 5 : Fasi della filiera circolare dell'edilizia e stakeholders (elaborazione ispirata a [12])

2.2 - DRIVER DI CIRCOLARITÀ DELLA FILIERA

La prima strategia di circolarità che può essere adottata nella gestione di una filiera edilizia è l'**integrazione della logistica inversa (Reverse Logistic - RL) con la tradizionale logistica (Forward Logistic - FL)** creando così una logistica circolare, per garantire un sistema *closed-loop* e ridurre al minimo la perdita di risorse; da Ding et al. [13] la logistica è definita "come il processo di pianificazione, esecuzione e controllo di flussi efficienti di materiali e prodotti, nonché di informazioni rilevanti attraverso il ciclo di vita del progetto di costruzione, in entrambe le direzioni: per la FL, dal punto di estrazione dei materiali alla fase di utilizzo dei progetti di costruzione, e RL, dalla fine dell'utilizzo dei progetti o dei prodotti al punto di recupero del valore delle risorse o al loro corretto smaltimento". Nel caso specifico del settore delle costruzioni, la RL è meglio delineata come "l'intero processo di raccolta dei rifiuti da costruzione e demolizione (CDW) dai siti di produzione di CDW per il riciclaggio, il trattamento, la rifabbricazione e la rivendita al fine di recuperare il valore del CDW o assicurarne il corretto trattamento ... ridando vita a un edificio che ha perso il suo valore attraverso la ristrutturazione e il riutilizzo".

Figura 6 fornisce uno schema semplice ed esaustivo di come dovrebbe avvenire l'integrazione di FL e RL per garantire la circolarità in edilizia, con l'indicazione degli attori coinvolti nelle

diverse fasi, nonché delle pratiche e degli strumenti che garantiscono una migliore gestione dell'intera filiera. Va sottolineata la stretta collaborazione che deve esistere tra gli attori coinvolti: un ruolo fondamentale è svolto da progettisti, designer e fornitori di materiali e componenti edilizi nella filiera a monte, in quanto le loro scelte determinano la possibilità di scendere o meno nella filiera a valle, invece di dover smaltire direttamente in discarica [14].

La filiera inversa può essere di due tipi, a ciclo chiuso (*close-loop*) o a ciclo aperto (*open-loop*): la prima si attua quando il prodotto, al termine della sua vita utile, torna direttamente al sito di produzione originario, dove viene eventualmente rielaborato per diventare sufficientemente performante da poter essere riutilizzato, con la stessa funzione o con una nuova; questo approccio è molto meno diffuso del secondo, a ciclo aperto: in questo caso, il CDW non torna al produttore originario, ma viene solitamente reintrodotta in altre industrie, consentendo maggiori possibilità di riutilizzo [15]. Proprio in questo contesto è fondamentale l'adesione a una nuova filosofia di circolarità della filiera, la **simbiosi industriale**, definita dalla Commissione economica per l'Europa delle Nazioni Unite (UNECE) come "la collaborazione di diversi settori per far coincidere i rifiuti prodotti da uno con il fabbisogno di materie prime di un altro". Tale collaborazione intersettoriale consente un flusso equilibrato di materiali nell'industria delle costruzioni, ma soprattutto di trovare molteplici opzioni per il riutilizzo e il riciclaggio dei CDW e di introdurre negli edifici anche materiali provenienti da rifiuti di altre industrie che altrimenti dovrebbero essere smaltiti. In relazione a ciò, ne consegue che, per avere circolarità nel settore delle costruzioni, è necessario che lo stesso paradigma si diffonda alle varie altre industrie [4].

La simbiosi industriale in questo contesto è la migliore applicazione di una filosofia più ampia, a sua volta centrale nell'economia circolare, ovvero l'**ecologia industriale**: questo approccio prevede lo sviluppo dei sistemi produttivi come fossero sistemi naturali, in cui la produzione di rifiuti non è assolutamente contemplata; ciò integra quanto già detto sul concetto di *cradle-to-cradle* (C2C), ma dà ancora più rilevanza all'eliminazione dell'impatto ambientale che si può ottenere con una progettazione e realizzazione sistematica dell'edificio e dei suoi componenti, soprattutto quando si utilizzano materiali naturali e/o compostabili al posto di soluzioni più inquinanti [16].

Così come abbiamo detto essere importante la collaborazione tra i diversi settori, per integrare al meglio la circolarità all'interno della filiera delle costruzioni è necessario che ci sia la massima collaborazione anche tra gli attori delle diverse fasi del ciclo di vita dell'edificio: una delle strategie ad oggi più efficaci per farlo è l'**integrazione verticale dei diversi partner della SC**, che prevede una collaborazione e una fiducia a lungo termine tra le diverse figure professionali coinvolte per tutta la durata del progetto. In questo modo è possibile, ad esempio, che l'appaltatore gestisca il flusso dei materiali da costruzione e dei macchinari in cantiere e garantisca una movimentazione efficiente in loco, oppure che coordini le operazioni logistiche per ridurre al minimo i mezzi di trasporto, il consumo di carburante e, di conseguenza, le emissioni di anidride carbonica [13].

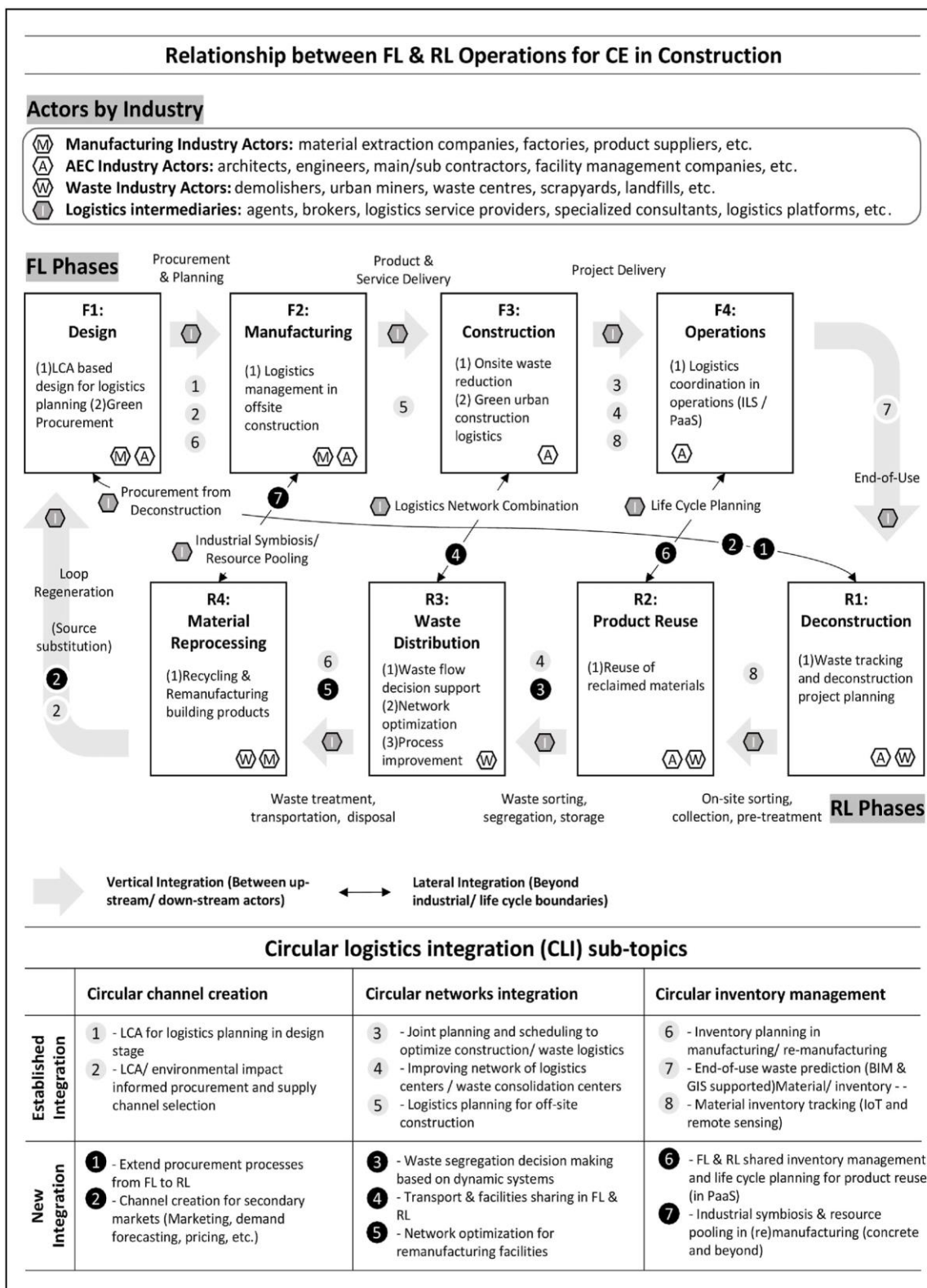


Figura 6 : Framework dell'integrazione logistica circolare per le operazioni FL e RL nel settore delle costruzioni (tratto da [13])

L'integrazione verticale, tuttavia, per essere realizzabile, necessita di strumenti che garantiscano una continua **condivisione di informazioni** tra gli attori delle diverse fasi della filiera: come afferma Wuni [14], questo tipo di comunicazione "consente agli stakeholder e ai membri del team di progetto di sviluppare obiettivi condivisi di circolarità, di coordinare le decisioni di circolarità a monte e a valle e di garantire che le funzioni di tutti i membri abbiano un effetto positivo cumulativo e complementare sul successo dei progetti di costruzione circolare". Il problema principale è legato alla complessità, ma soprattutto alla durabilità della SC di un edificio: ad esempio, le scelte costruttive fatte in fase di progettazione devono essere disponibili nella fase di decostruzione per garantire l'ottimizzazione delle operazioni e la minimizzazione della produzione di rifiuti. La collaborazione è alla base di approcci progettuali come il *co-design* (o *participated design*), in cui lo scambio continuo di informazioni consente il coinvolgimento attivo di tutti i progettisti e dei committenti per garantire il soddisfacimento delle esigenze ed evitare problemi di integrazione tra le diverse parti del progetto.

Attualmente, a causa della mancanza di interesse o di conoscenza di queste pratiche, gli stakeholder tendono ad agire autonomamente, per lo più per massimizzare i propri guadagni: questo approccio crea i cosiddetti *structural holes*, cioè collegamenti mancanti tra le diverse figure coinvolte nel ciclo di vita dell'edificio; una soluzione individuata per colmare queste lacune, è l'introduzione nel progetto di attori intermediari chiamati "**broker di informazioni**": il loro ruolo consiste nel facilitare lo scambio di informazioni, adattandole, organizzandole e interpretandole, fino a renderle di volta in volta disponibili agli attori da mettere in comunicazione. Wijewickrama et al. [17], con il loro studio, hanno identificato tre possibili broker di informazioni, ossia gli organismi di **governo**, le comunità professionali e le piattaforme digitali. Il primo dei tre è forse il più fondamentale per rendere circolare qualsiasi filiera delle costruzioni, e di conseguenza l'intero settore: il suo ruolo consiste nell'introduzione di leggi e politiche incentrate su una transizione verso la CE, ma anche di incentivi, agevolazioni fiscali e benefici economici che spingano gli stakeholder verso scelte circolari.

Le comunità professionali sono fondamentali per la formazione e l'educazione di progettisti e costruttori sulle pratiche di circolarità e sulle modalità di progettazione collaborativa e di partecipazione ai progetti; non solo è necessario che i professionisti siano costantemente aggiornati sulle nuove tecniche e tecnologie di progettazione, ma anche e soprattutto che le nuove generazioni di stakeholder apprendano dai percorsi universitari e professionali come integrare i principi della CE nel proprio lavoro. Allo stesso modo, non va trascurato il ruolo che le comunità professionali possono svolgere nel condurre campagne di sensibilizzazione dell'opinione pubblica in grado di innescare un cambiamento nella mentalità di committenti e costruttori, che oggi prendono decisioni quasi esclusivamente su base economica [2].

Il terzo broker di informazioni sono le **piattaforme digitali**, che svolgono il triplice ruolo di condivisione, connessione e collaborazione: in primo luogo, sono utili per migliorare l'azione degli altri due broker, in quanto consentono la diffusione al maggior numero possibile di

professionisti sia delle iniziative governative che delle comunità professionali. Inoltre, consentono ai progettisti e alle imprese del settore edile di connettersi tra loro per realizzare la co-progettazione, ma anche a quelli di settori diversi per migliorare la simbiosi industriale e garantire la minimizzazione dei rifiuti; allo stesso modo, possono mettere in contatto l'azienda che genera CDW con le aziende che si occupano della raccolta, del trasporto, dello stoccaggio e del trattamento, al fine di tenere costantemente traccia dei flussi di materiali, della loro lavorazione, degli usi e delle proprietà [18]. In questo senso, non solo possono essere utilizzati per immagazzinare informazioni sui materiali da costruzione, ma anche come piattaforme per creare un mercato secondario in un'ottica di circolarità: gli appaltatori possono smaltire i loro rifiuti o acquistare materiali da costruzione ritrattati ogni volta che ne hanno bisogno da altri appaltatori, produttori o riciclatori a un costo contenuto [17].

Cai e Waldmann [19] hanno proposto una nuova strategia comunitaria in grado di racchiudere le pratiche di collaborazione, integrazione e connessione sopra descritte: si tratta di una **banca dei materiali e dei componenti**, descritta come "un gestore che organizza il trasferimento di materiali e componenti estratti da strutture demolite o decostruite a una nuova struttura, dalla pianificazione globale della demolizione e della decostruzione, all'estrazione e alla raccolta di materiali e componenti riciclabili e riutilizzabili, alla loro valutazione e al miglioramento della qualità, con la loro successiva certificazione, che ne consente la vendita in una fabbrica o in un negozio centrale della banca". Figura 7 schematizza i ruoli della banca dei materiali e dei componenti nei processi chiave dell'edilizia sostenibile: come si può notare, essa consente di coordinare numerose operazioni svolte sull'edificio, e di conseguenza le persone coinvolte, risolvendo il problema di una SC eccessivamente frammentata; non si esclude inoltre la possibilità di far certificare la banca dal governo per garantirne la validità.

Tuttavia, affinché la gestione del SC attraverso una banca dei materiali e dei componenti sia possibile, è necessario il supporto del **Building Information Modeling**, uno strumento universalmente considerato indispensabile per la transizione verso un'edilizia circolare. Il BIM può essere visto come una piattaforma digitale per la collaborazione e la gestione delle informazioni relative a un edificio in tutte le sue fasi di vita, a cui possono partecipare tutti gli stakeholder: ad esempio, consente la progettazione attraverso l'ottimizzazione multiparametrica per ottenere la minimizzazione dell'impatto ambientale o dei costi, o la creazione di layout per la scomposizione dell'edificio e il successivo riutilizzo dell'intero edificio o di parti di esso.

Per quanto riguarda i materiali, i vantaggi che si possono ottenere dall'implementazione di un modello BIM sono molteplici, tra cui:

- ottenere un inventario dei materiali incorporati per valutare la quantità di rifiuti che verrebbero prodotti con la demolizione dell'edificio;
- confrontare le diverse opzioni progettuali e i relativi tempi di costruzione, la produzione di rifiuti e l'impatto ambientale [8];

- raccogliere informazioni sul percorso e sulle prestazioni di ogni componente all'interno dei passaporti dei materiali, sia per facilitarne il riutilizzo in altri edifici sia per avere quantificazioni degli impatti utili a valutare la circolarità delle scelte progettuali [16].

Un'altra tecnologia digitale che si sta recentemente affermando per favorire la gestione circolare della supply chain, e che è applicabile anche al settore delle costruzioni, è la **tecnologia blockchain**: si tratta di un sistema di calcolo e archiviazione dati decentralizzato in cui la sicurezza e l'affidabilità dei dati sono garantite [8]; quando un oggetto viene creato nel database, viene associato a un token che, se autenticato dal destinatario di interesse, permette di tracciare la storia del componente fisico interamente a ritroso. Questa tecnologia è molto utile per gestire le relazioni tra gli stakeholder, così come per i contratti tra di loro: nessuna azienda può modificare unilateralmente le informazioni inserite nella rete blockchain, quindi l'autenticità dei documenti è sempre garantita, riducendo le controversie che a loro volta possono causare ritardi e rallentamenti nella SC [9]. Allo stesso modo, le piattaforme tecnologiche blockchain offrono opportunità per assicurazioni "usage-based", che alleggeriscono i vincoli assicurativi e aumentano le garanzie legali dei materiali riciclati e riutilizzati [8].

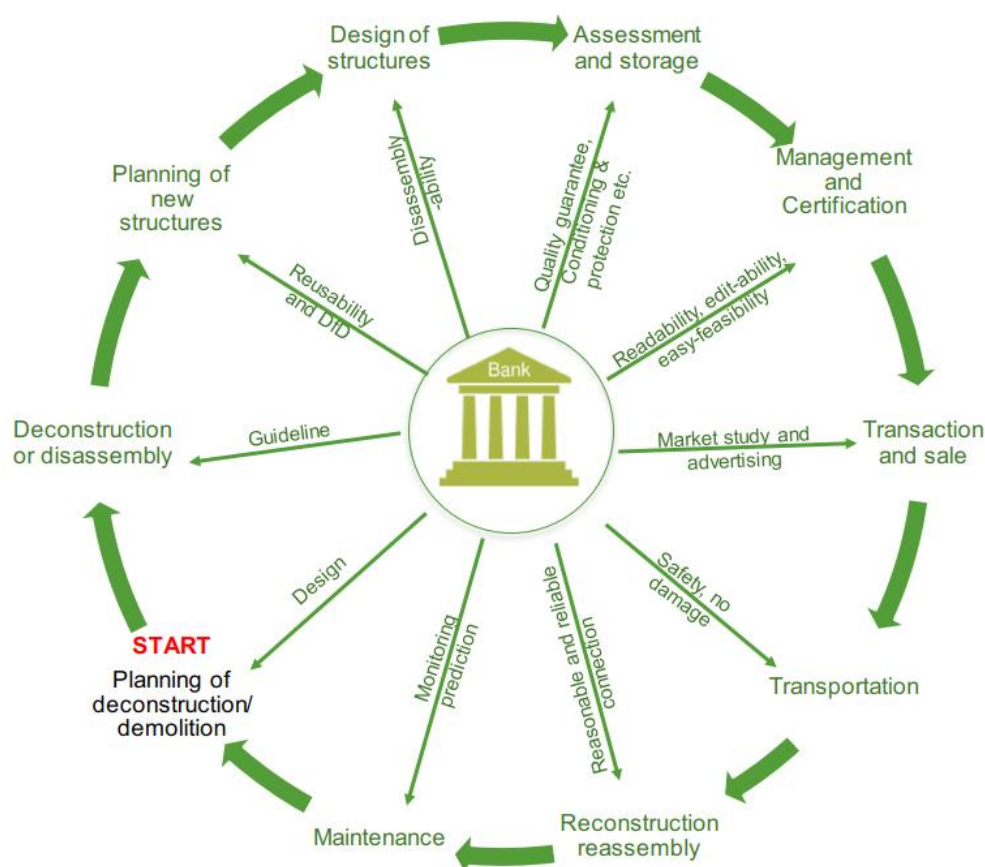


Figura 7 : Ruoli della banca dei materiali e dei componenti nei processi chiave della costruzione circolare (tratto da [19])

2.3 - STRATEGIE DI ECONOMIA CIRCOLARE NELLE FASI DELLA CATENA DI FORNITURA

Considerando le 6 fasi della filiera circolare delle costruzioni, come rappresentate nella Figura 5, esistono pratiche di circolarità basate sui principi delle 9R che possono essere implementate in ciascuna di esse, ma che allo stesso tempo hanno un impatto sulle altre fasi. In questa sezione verrà fornita una panoramica ampia e non troppo dettagliata, per dare un primo orientamento su cosa si intende per buone pratiche di circolarità: il capitolo successivo avrà lo scopo di identificare e approfondire quelle più efficaci e rilevanti.

Si precisa fin da subito che le pratiche individuate possono essere attuate sia nella costruzione di nuovi edifici che nell'intervento su edifici esistenti, anche di interesse culturale: chiaramente le modalità di applicazione non sono le stesse, ma devono invece essere adattate al contesto e alle possibilità disponibili.

La prima fase analizzata è quella dell'**approvvigionamento dei materiali** per i quali, nell'ottica dell'economia circolare, l'approvvigionamento può essere realizzato in due modi: il primo riguarda l'introduzione di materiali riutilizzati o riciclati, che quindi riducono l'uso di materie prime vergini e allo stesso tempo limitano gli sprechi; il secondo è da considerarsi solo quando, in relazione alle prestazioni richieste o ad altre esigenze tecnologiche, è necessario l'utilizzo di materiale vergine: in questo caso sono sempre da preferire i prodotti di origine naturale (*bio-based*) che, molto spesso, sono in grado di rigenerarsi da soli [11].

Per quanto riguarda la **produzione e la consegna**, un'applicazione del paradigma dell'economia circolare si attua scegliendo e acquistando prodotti locali, che quindi richiedono meno trasporti e di conseguenza generano meno emissioni; si deve dare la precedenza a produzioni in cui l'uso di energia da fonti fossili e di acqua, soprattutto potabile, parlando rispettivamente di *embodied energy* e di *embodied water*, è limitato al minimo indispensabile, e allo stesso tempo vi è l'integrazione di fonti rinnovabili e il recupero dell'acqua piovana. I progettisti e i committenti dovrebbero orientarsi maggiormente verso prodotti certificati C2C, oltre a favorire quelli le cui parti o materiali possono essere facilmente smontati per essere riutilizzati o riciclati [19]. D'altra parte, la responsabilità dei produttori è quella di garantire l'atossicità dei componenti, soprattutto se utilizzano parti riciclate da altri prodotti; per fare la loro parte nella circolarità della catena di fornitura, i loro sforzi possono includere la riduzione degli imballaggi e la preferenza per quelli ecologici, ma soprattutto il rispetto delle normative e degli standard ambientali. Cruciale è anche la pianificazione della logistica, che deve essere orientata a ottimizzare il numero di veicoli coinvolti e i trasporti da effettuare [14].

La fase di pianificazione e progettazione è senza dubbio centrale nella transizione verso un ambiente costruito circolare: i principi base da seguire sono *l'eco-efficiency* e *l'eco-effectiveness*, che di per sé racchiudono il concetto di C2C e hanno sempre come obiettivo il ciclo chiuso, guidando una progettazione focalizzata a garantire che i componenti dell'edificio possano

essere mantenuti in circolazione il più a lungo possibile e a minimizzare la parte di essi che diventa rifiuto [14]. La **fase di pianificazione** è fondamentale per definire un obiettivo di circolarità comune tra i vari stakeholder e per garantirne il coordinamento attraverso le diverse fasi del ciclo di vita dell'edificio; in questa operazione preliminare è opportuno individuare figure esperte nella valutazione dell'impatto ambientale, ma anche economico, che dovranno successivamente occuparsi di guidare le scelte progettuali e operative di figure non altrettanto esperte. Allo stesso tempo, sempre per una guida autorevole, già in questa fase iniziale è opportuno individuare un'impresa di demolizione competente che fornisca un audit pre-demolizione e pre-ristrutturazione del sito di progetto in anticipo [20]. La **fase di progettazione** è quella in cui si prendono decisioni pratiche per la circolarità non solo dei materiali, ma anche dell'energia e dell'acqua. Per quanto riguarda **i materiali e i componenti**, oltre all'applicazione di materiali *bio-based* e a basso impatto derivanti da pratiche di riciclo e riutilizzo, già discussi per la fase precedente, i concetti di progettazione più ricorrenti e la cui rilevanza è generalmente riconosciuta [2] sono:

- *Material-efficient design*: Progettazione efficiente dal punto di vista dei materiali per facilitare l'assemblaggio in loco, riducendo al minimo il numero di mezzi e operazioni da eseguire in cantiere, privilegiando componenti prefabbricati e standardizzati;
- *Design for adaptability and flexibility*: Progettare per l'adattabilità e la flessibilità, in modo che la configurazione dell'edificio possa essere modificata nel tempo secondo le necessità, in modo semplice ed economico, preferendo elementi standardizzati e modulari che possono essere riorganizzati tra loro;
- *Design for disassembly and dismantling*: Progettazione per lo smontaggio e la recuperabilità, per garantire che, al termine della vita utile di un edificio, questo possa essere facilmente scomposto nei suoi componenti o materiali, in modo da poterli immettere in un mercato secondario per il riutilizzo o il riciclaggio;
- *Design for durability*: Progettazione per la durevolezza in cui la minimizzazione della produzione di rifiuti viene perseguita adottando materiali e configurazioni in grado di mantenere elevate prestazioni per tutta la vita dell'edificio, anche dopo eventi catastrofici, o che possono essere ripristinate attraverso una manutenzione costante facilitata dal design stesso.

Non esiste un approccio universalmente migliore di un altro, ma solo in relazione alle esigenze del cliente e alla destinazione d'uso dell'edificio: pertanto, gli utenti finali e il cliente devono essere coinvolti nel processo di progettazione, per guidare il progettista nell'individuazione della migliore filosofia progettuale [19].

Per quanto riguarda la circolarità dell'**energia**, le soluzioni progettuali orientate all'efficienza energetica sono molto più consolidate e applicate globalmente rispetto a quelle per la circolarità dei materiali; l'idea rimane quella di un edificio in cui la dispersione di calore sia ridotta al minimo e si sfruttino il più possibile i meccanismi passivi: per fare questo, occorre garantire la tenuta all'aria dell'involucro edilizio e adeguati livelli di isolamento termico, sia per le chiusure opache che per quelle trasparenti, privilegiando materiali con ottime capacità

termiche, sempre prestando attenzione al loro impatto ambientale. Nella progettazione di nuovi edifici è necessario studiare attentamente l'orientamento e la configurazione dell'edificio per minimizzare i carichi termici, mentre per gli edifici esistenti l'attenzione si concentra su come integrare i sistemi di miglioramento energetico con la struttura esistente e i vincoli da essa derivanti, ma anche sull'ammodernamento degli impianti tecnici. Gli impianti, a loro volta, giocano un ruolo importante nell'efficienza energetica: in fase di progettazione, il dimensionamento deve essere fatto con attenzione, tenendo conto degli scenari di utilizzo e della destinazione d'uso dell'edificio, sempre nel rispetto delle normative vigenti, come la Energy Performance of Building Directive (EPBD), privilegiando sempre le alternative in cui i combustibili fossili sono sostituite da fonti energetiche rinnovabili, come l'energia solare o geotermica, meglio ancora se prodotta in loco per l'autoconsumo, e integrando soluzioni tecnologiche per il recupero del calore [11].

Per quanto riguarda la circolarità dell'**acqua**, le scelte progettuali si limitano all'integrazione nell'edificio di cisterne per la raccolta dell'acqua piovana ed eventuali sistemi per trattarla in modo da poterla riutilizzare come acqua potabile, ma questi sono spesso costosi e non vantaggiosi nel caso di edifici residenziali; altre precauzioni possono essere prese inserendo dispositivi per il risparmio idrico, come i regolatori di flusso, e per mantenere l'acqua potabile in circolazione continua per evitare la proliferazione di batteri e consentirne l'utilizzo più a lungo [11].

È evidente che i progettisti abbiano a disposizione molte alternative per integrare la circolarità nella progettazione di un edificio, il problema è individuare quali siano le migliori in relazione allo scopo dell'edificio o dell'intervento su di esso: nell'ottica di massimizzare la circolarità e minimizzare l'impatto ambientale, il metodo del *Life Cycle Assessment (LCA)* è senza dubbio lo strumento decisionale più valido, in quanto consente di confrontare le scelte progettuali e di individuare le migliori dal punto di vista, tra gli altri, del potenziale di riscaldamento globale (GWP), dell'emissione di gas serra o, nello specifico, dell'emissione di CO₂. L'integrazione con la valutazione del costo del ciclo di vita, il *Life Cycle Costing Assessment (LCC)*, consente inoltre di analizzare i costi, i risparmi e i benefici economici delle diverse opzioni progettuali, ponderando le scelte anche in base al loro valore monetario [8]. Un altro aiuto per i progettisti nell'orientarsi nel labirinto delle soluzioni progettuali sono i quadri di riferimento per il conseguimento delle certificazioni di bio-edilizia, come quelle di LEED, WELL e BREEAM: l'adozione di progetti che soddisfano le linee guida di queste certificazioni porta automaticamente a edifici sostenibili [10].

Per quanto riguarda la **fase di costruzione**, la circolarità può essere raggiunta attraverso un'attenta pianificazione del sito e dei tempi di lavoro e di consegna dei prodotti al sito. La progettazione del sito deve essere attenta a limitare l'impatto negativo sull'ambiente naturale, sul suolo e sull'habitat, evitando di intaccare gli spazi verdi dove non è necessario [10]. Come già accennato, è preferibile produrre parti di una struttura edilizia al di fuori del cantiere (*off-site*) per avere un migliore controllo dei processi di assemblaggio della costruzione: questo aiuta a ridurre i difetti dei prodotti assemblati in loco, ad eliminare gli sforzi non necessari per attività

di assemblaggio e di spostamento dei materiali, ma anche a ridurre il consumo di acqua e di energia [8]. Resta il fatto che la riabilitazione di edifici o siti esistenti dovrebbe essere preferita alle nuove costruzioni: in questo caso specifico, la fase di costruzione diventa la fase di riabilitazione o di adattamento; prima di qualsiasi altra operazione in loco, la bonifica dei rifiuti pericolosi e/o la rimozione dei rifiuti solidi (tossici o meno) dovrebbe essere realizzata [11].

La fase di utilizzo/esercizio è centrale per quanto riguarda l'efficienza energetica e l'efficienza idrica: il ruolo centrale è svolto dai proprietari e dagli utenti degli edifici, che devono essere educati e orientati a un uso consapevole delle risorse, adottando comportamenti che mirano a minimizzare i consumi di acqua ed energia, come ad esempio un uso oculato degli elettrodomestici, o massimizzando l'uso di energia prodotta da fonti rinnovabili, invece di quella prodotta da combustibili fossili. Nel caso degli edifici pubblici, tuttavia, il benessere degli utenti non deve mai essere trascurato: l'adozione di sistemi di controllo delle condizioni termigrometriche interne che agiscono sugli impianti termici consente di ottimizzare l'uso dell'energia. È fondamentale che sia garantita la qualità dell'aria interna: a questo scopo, la ventilazione meccanica controllata (VMC) è la scelta più vantaggiosa, soprattutto se dotata di un recuperatore di calore che consente la circolarità dell'energia termica [11]. Questa è anche la fase dedicata alla **manutenzione** dell'edificio e dei suoi impianti: il rispetto del piano di intervento redatto al momento della progettazione permette di garantirne o addirittura prolungarne la vita utile, evitando di dover sostituire i componenti perché danneggiati o malfunzionanti [2]. Nel caso in cui, invece, si debba procedere a un **adattamento** della configurazione dell'edificio a causa di una variazione delle esigenze spaziali o funzionali, è necessario verificare se tali modifiche siano state previste in fase di progettazione e, in caso affermativo, operare come indicato nel progetto.

In caso contrario, è necessario il riadattamento, che però rientra nella fase di **fine vita** della filiera edilizia, insieme alla demolizione; facendo riferimento al cambio di funzione dell'edificio, per integrare la circolarità in questa fase è necessario prima vagliare diverse soluzioni di trasformazione e riuso adattivo: si ipotizzano quindi scelte progettuali che ci riportano, in una filiera circolare, alla fase di pianificazione e progettazione. Quando si lavora su edifici del patrimonio edilizio esistente è raro incontrare esempi di *design for disassembly* o *for adaptability*, quindi la produzione di rifiuti è inevitabile: ciò che si può fare è creare dei passaporti dei materiali per i diversi componenti o materiali per facilitarne il riutilizzo e l'ingresso nel mercato dell'usato. Affinché i materiali siano riutilizzabili, lo smontaggio o la decostruzione dovrebbero essere sempre preferiti alla demolizione, in quanto facilitano la separazione dei materiali, identificando quali sono completamente recuperabili, quali sono destinati al riciclaggio e quali sono destinati alla termovalorizzazione o, nel peggiore dei casi, alla discarica [11]. In questa fase di fine vita della SC, se non è stata già individuata in fase di progettazione un'impresa per lo smantellamento dell'edificio e, di conseguenza, non è stato definito un piano da seguire nelle procedure e nella successiva movimentazione dei materiali, è necessario coordinare diversi soggetti in grado di occuparsi di estrarre i materiali, trasportarli eventualmente in centri di



selezione e poi individuare centri di raccolta/deposito, nonché, infine, renderli idonei e disponibili per un nuovo utilizzo, entrando così nella SC di un nuovo edificio [2].



CAP. 3 - BUONE PRATICHE DI CIRCULARITÀ PER IL SETTORE DELLE COSTRUZIONI TRANSFRONTALIERO

Mentre nel capitolo precedente sono state specificate le strategie di gestione circolare dell'intera filiera e le modalità di integrazione di tecniche specifiche per le fasi della filiera, in questo capitolo vogliamo approfondire le best practices di circolarità applicabili nel ciclo di vita dell'edificio, senza legarle a una fase della filiera, ma raccogliendo tutti i modi in cui possono portare benefici all'edilizia. È stato quindi effettuato uno scouting globale della letteratura per identificare queste pratiche generalizzate e di conseguenza è stato raccolto in schede sintetiche ciò che è stato ritenuto rilevante e utile per avvicinare ed educare gli stakeholder. Questi 15 documenti sono disponibili in appendice al report.

3.1 - REVISIONE DELLA LETTERATURA

La revisione della letteratura è stata condotta con l'obiettivo di individuare con quali pratiche di progettazione e gestione degli edifici è possibile migliorare e garantire la circolarità nel settore, non solo limitatamente a quelle relative alla circolarità dei materiali, ma anche di risorse come l'acqua e l'energia: per fare ciò, sono state individuate una serie di parole chiave ritenute significative ai fini della ricerca, ovvero "best practices", "construction", "circular economy", "building", "circular practices", come ad esempio "best practice" AND "building" AND "circular economy".

I database utilizzati per la ricerca bibliografica sono stati Science Direct e Scopus: le stesse combinazioni di parole chiave, o loro adattamenti, sono state utilizzate per individuare articoli, atti di conferenze e capitoli di libri (che d'ora in poi saranno in generale indicati semplicemente come "paper") su entrambe le piattaforme. Non sono stati utilizzati metodi di ricerca più avanzati per ottenere un quadro il più possibile completo degli studi attualmente disponibili sull'argomento.

A luglio 2024, data della prima ricerca, il numero totale di articoli che soddisfacevano i criteri sopra menzionati era superiore a 1200; una prima selezione degli articoli rilevanti è stata effettuata sulla base del titolo e dell'abstract: ciò ha ridotto la selezione a un numero più ragionevole di 140 articoli. I riferimenti bibliografici di questi ultimi sono stati esportati in un software di reference manager, Zotero, che ha permesso di eliminare gli articoli duplicati risultanti dall'unione dei risultati dei due database: il numero finale di articoli da leggere è stato quindi 133.

Da una lettura approfondita è stato possibile, innanzitutto, eliminare dalla bibliografia altri 14 articoli perché non esclusivamente legati al settore delle costruzioni o perché troppo incentrati

sulla sostenibilità anziché sulla circolarità o su singoli prodotti edilizi. La Figura 7 mostra il percorso seguito per la selezione degli articoli nella revisione della letteratura.

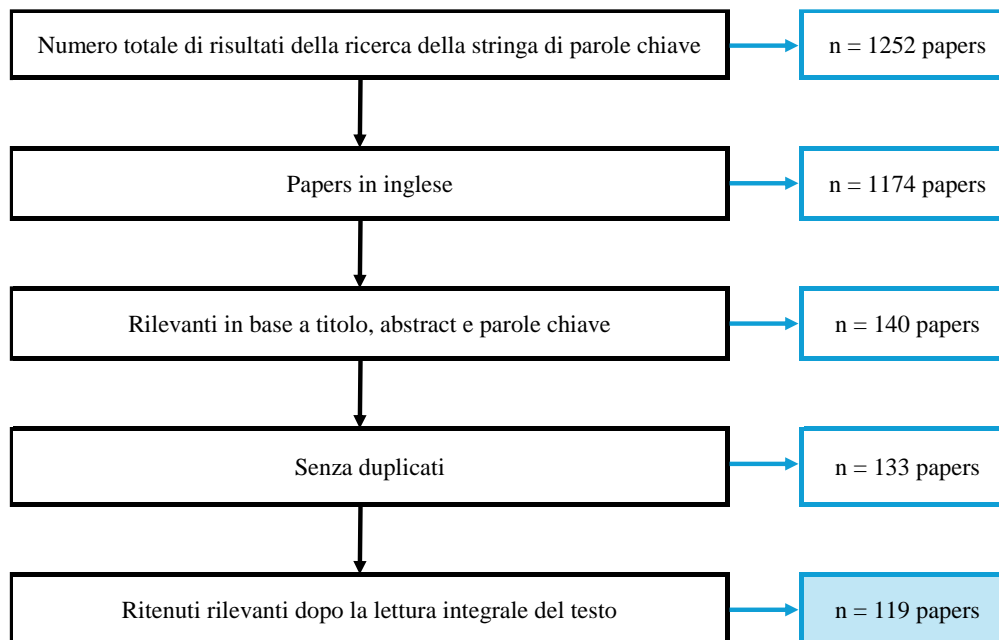


Figura 8 : Percorso seguito nella revisione della letteratura sulle best practices

Sulla bibliografia finale, è stato effettuato anche uno studio relativo all'andamento temporale del numero di articoli pubblicati per ogni anno (Figura 9) e al Paese indicato per il primo autore di ogni articolo (Figura 10).

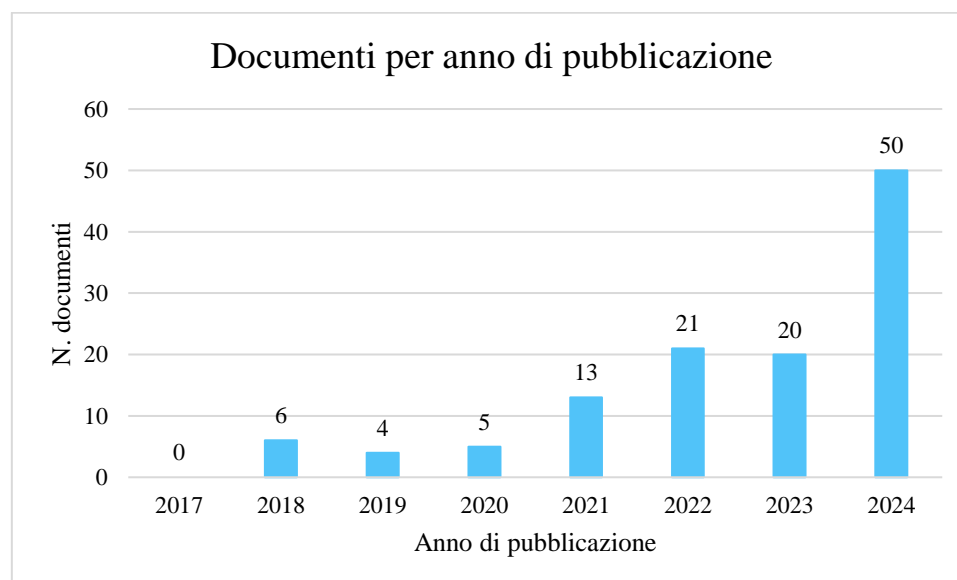


Figura 9 : Documenti sulle best practices per anno di pubblicazione

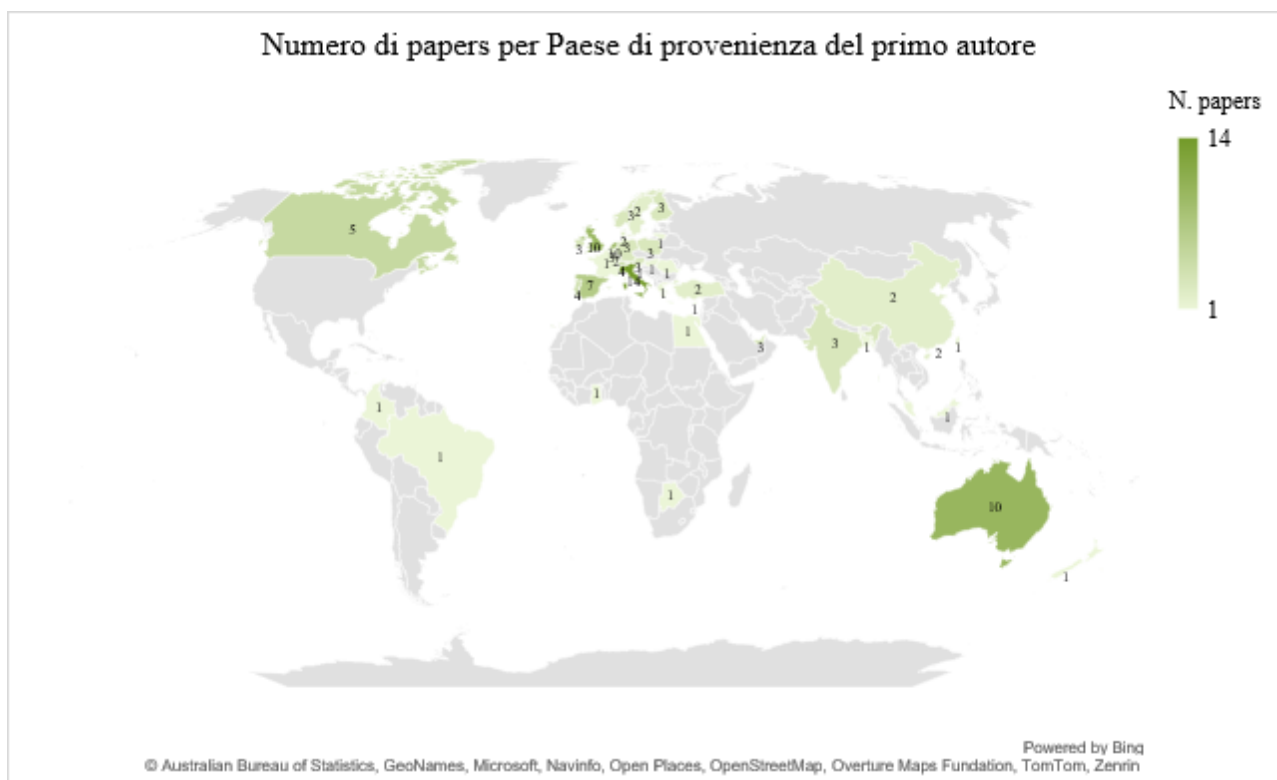


Figura 10 : Distribuzione geografica degli articoli per paese del primo autore

Per quanto riguarda la distribuzione negli anni del numero di articoli considerati rilevanti sull'argomento, valgono le stesse osservazioni già fatte per la revisione della letteratura nel Capitolo 2: infatti, la crescita delle pubblicazioni nell'ultimo anno è stata esponenziale rispetto agli anni precedenti. Dal punto di vista della provenienza geografica del primo autore, l'Europa mostra un impegno chiaramente maggiore nella ricerca sul tema, con un totale di 85 articoli sui 119 totali letti. Inoltre, l'Italia risulta essere il primo Paese per numero di pubblicazioni, con 14, seguita da Australia, Paesi Bassi e Regno Unito, tutti e tre con 10 pubblicazioni; la Slovenia, invece, ha all'attivo un solo articolo per provenienza del primo autore.

La lettura dei documenti è stata quindi orientata a individuare le pratiche basate sui principi dell'economia circolare più riconosciute per la transizione del settore delle costruzioni, per quanto riguarda la circolarità dei materiali, dell'energia e dell'acqua, in tutte le fasi della filiera edilizia. Per avere una panoramica iniziale il più possibile completa, i primi testi tra quelli raccolti a essere letti sono stati le revisioni della letteratura (ad esempio [7], [21], [22], [23], [24], [25]): durante la loro lettura si è tenuto conto degli argomenti più ricorrenti o, addirittura, delle best practices individuate e catalogate negli articoli stessi. Si è quindi proceduto alla lettura di tutti gli articoli, delineando gradualmente quali potessero essere le best practice, fino a individuarne 15.

3.2 - BEST PRACTICES

Le best practices di circolarità sono identificate e delineate in modo da essere rappresentative e comprendere tutte le tecniche di progettazione e gestione degli edifici; in particolare, si è voluto limitarne il numero includendo nella stessa strategia approcci diversi e/o approcci che avessero lo stesso obiettivo finale o la stessa filosofia di base della circolarità.

Qui di seguito viene fornita una breve descrizione delle best practices, ognuna delle quali è contrassegnata da una lettera maiuscola, mentre per una discussione più approfondita di ciascuna di esse si rimanda alle schede di raccolta dati riportate in appendice.

- A – MATERIAL-EFFICIENT DESIGN

Questa pratica consiste nel progettare l'edificio o intervenire su di esso per ridurre al minimo la produzione di rifiuti da costruzione e demolizione (C&DW), tecnica nota anche come *Designing-out waste*; questa pratica comprende tutti gli accorgimenti che servono a limitare non solo gli sprechi di materiale, ma anche l'uso di energia e acqua durante le fasi di costruzione: tra questi, l'uso di componenti prefabbricati o prodotti *off-site* e un'attenta pianificazione del cantiere e delle sue fasi sono i più diffusi.

- B - CIRCOLARITÀ DEI MATERIALI

Questo include tutte le azioni e le scelte che possono essere fatte per garantire un ciclo tecnico dei materiali il più chiuso possibile: ciò significa ridurre al minimo l'uso di materiali vergini, favorendo il riutilizzo di componenti edilizi o di materiali provenienti da procedure di riciclaggio. Allo stesso tempo, questa pratica comporta anche la pianificazione, nel caso in cui il ciclo chiuso non sia possibile, del trattamento di fine vita del C&DW.

- C - UTILIZZO DI MATERIALI BIO-BASED

Mentre la best practice B si proponeva di chiudere il ciclo tecnico, questa mira a percorrere il ciclo biologico: prevede l'utilizzo di materiali naturali, bio-based e autogeneranti, il cui uso non è dannoso per l'ambiente, ma anzi può diventare nutrimento a fine vita, senza generare rifiuti.

- D - UTILIZZO DI MATERIALI A BASSO IMPATTO

Questa pratica permette di ridurre l'impatto ambientale delle costruzioni scegliendo materiali a basso impatto, sia dal punto di vista dell'emissione di particelle tossiche durante la vita dei componenti, ma soprattutto nelle fasi di produzione: ciò significa materiali a bassa impronta di carbonio, oltre a ridurre l'energia e l'acqua incarnate; nel rispetto di questa pratica si prediligono materiali locali e materiali di decarbonizzazione.

- **E - PROGETTAZIONE PER LO SMONTAGGIO / DEMOLIZIONE / DECONSTRUZIONE**
Si tratta di una strategia di progettazione dell'edificio prendendo delle decisioni nel design iniziale per garantire il suo smontaggio, la decostruzione o la demolizione alla fine della sua vita utile; in questo modo, l'edificio può essere scomposto nelle sue parti, consentendo il recupero dei componenti e/o il riciclo dei materiali, evitando la produzione di C&DW.
- **F - PROGETTAZIONE PER L'ADATTABILITÀ / FLESSIBILITÀ**
È sempre una strategia di progettazione circolare che però punta prolungare il più possibile la vita utile di un edificio, garantendo modifiche di configurazione semplici e poco costose per adattarsi ai cambiamenti di spazio o alle esigenze funzionali degli utenti. Anche i design basati su elementi modulari fanno parte di questa pratica, poiché questi sono progettati appositamente per essere riorganizzati in base alle esigenze.
- **G - PROGETTAZIONE PER LA DURABILITÀ / RESILIENZA / MANUTENIBILITÀ**
Anche questa strategia progettuale si basa sul garantire una vita utile più lunga possibile all'edificio, non consentendo però cambiamenti di destinazione d'uso, ma massimizzando la qualità e l'accuratezza della progettazione in modo che l'edificio sia in grado di mantenere le sue prestazioni ottimali, anche in caso di eventi catastrofici. Prevede l'utilizzo di materiali ad alte prestazioni, tecniche di progettazione avanzate per la resistenza sismica e al fuoco e layout che consentano una manutenzione senza ostacoli.
- **H - IMPLEMENTAZIONE DELLE TECNOLOGIE DIGITALI**
Questa pratica comprende tutte le tecnologie digitali che possono essere implementate per migliorare la progettazione e la gestione dell'edificio in tutte le sue fasi di vita. Ciò include, ad esempio, l'uso del BIM per l'integrazione di diversi aspetti progettuali, la stampa 3D per la produzione di componenti, la sensoristica per il monitoraggio dell'edificio e la domotica per la regolazione ottimizzata delle condizioni interne all'edificio.
- **I - CREAZIONE O PARTECIPAZIONE A PIATTAFORME COLLABORATIVE / BANCHE DATI**
Questa strategia comprende tutte le soluzioni che possono essere utilizzate per garantire l'interazione tra i diversi stakeholder dello stesso progetto, dello stesso settore o anche di settori diversi, in modo da favorire la co-progettazione, la co-produzione e la circolarità dei materiali di riuso e riciclo. Tra queste rientrano i database online per la catalogazione e la vendita dei materiali, i siti web o le applicazioni per la condivisione di progetti e idee riguardanti l'introduzione dell'economia circolare nel settore delle costruzioni.
- **J - REDAZIONE E UTILIZZO DI PASSAPORTI DIGITALI E CERTIFICAZIONI DEI MATERIALI**
Questa pratica consente una scelta consapevole e attenta dei materiali: per quanto riguarda le certificazioni ambientali (ad esempio le Dichiarazioni Ambientali di Prodotto), esse permettono al produttore di dimostrare l'impegno a minimizzare l'impatto ambientale e agli

appaltatori di scegliere i materiali migliori non solo in base alle prestazioni meccaniche. I passaporti dei materiali sono maggiormente utili come garanzie per il riutilizzo, in quanto possono raccogliere informazioni sulla provenienza, sulle operazioni effettuate sui materiali e sulle prestazioni.

- **K - LIFE CYCLE ASSESSMENT E LIFE CYCLE COSTING ASSESSMENT**

LCA e LCC sono strumenti estremamente preziosi per confrontare le scelte progettuali: l'LCA in particolare permette di individuare gli interventi migliori dal punto di vista ambientale, mentre l'LCC può essere utilizzato come supporto per una valutazione del costo del progetto, ma anche per la quantificazione dei guadagni e dei benefici derivanti dall'adozione di scelte circolari nella progettazione e nella gestione dell'edificio. L'LCA, a sua volta, è utile per calcolare le prestazioni ambientali dei singoli prodotti e per dimostrare la validità della scelta.

- **L - PROGETTAZIONE PER L'EFFICIENZA ENERGETICA**

Questa strategia nella progettazione di nuovi edifici o negli interventi sugli edifici esistenti consente di minimizzare gli sprechi energetici riducendo le dispersioni di calore, massimizzando l'uso degli apporti gratuiti e garantendo un funzionamento efficiente degli impianti di condizionamento. Include anche l'introduzione di sistemi di monitoraggio delle condizioni interne e di meccanismi passivi.

- **M - TRANSIZIONE VERSO LE FONTI DI ENERGIA RINNOVABILI**

Per realizzare la circolarità dell'energia, è auspicabile che le fonti rinnovabili prendano il posto dei combustibili fossili: in quest'ottica, è rilevante l'introduzione di sistemi di produzione in loco per soddisfare le esigenze degli edifici, ma anche la scelta di materiali da costruzione prodotti con energia solare, eolica o geotermica.

- **N - RISPARMIO E GESTIONE DELL'ACQUA**

Questa pratica comprende tutte le soluzioni che possono essere adottate nelle fasi di produzione, progettazione, costruzione e utilizzo dell'edificio per il risparmio idrico e la circolarità dell'acqua; parliamo sia dell'introduzione di sistemi di raccolta e trattamento dell'acqua piovana negli edifici, sia della scelta di prodotti a ridotto contenuto di acqua incarnata. Allo stesso tempo, questo include anche l'attenzione che deve essere posta nella progettazione verso l'invarianza idraulica.

- **O - AFFIDAMENTO SULLE CERTIFICAZIONI EDILIZIE E SUGLI INDICATORI DI CIRCOLARITÀ**

Le certificazioni edilizie e gli indicatori di circolarità possono essere utili per dimostrare che le scelte progettuali rispondono a obiettivi di impatto, non solo ambientale. Progettare per ottenere le certificazioni fornisce anche un quadro di riferimento per orientare le decisioni. Affidarsi a queste misurazioni è l'unico modo per quantificare la circolarità di acqua ed energia.

Giunti alla definizione di queste 15 pratiche, la rilettura degli articoli ha permesso di individuare, per ciascuna di esse, il numero di testi che la indicano esplicitamente o di comportamenti ad essa indispensabili: in questo modo è stato possibile avere un'idea della rilevanza delle varie best practices individuate all'interno della letteratura scientifica sul tema; i risultati sono raccolti nella Tabella 1.

Tabella 1 : Citazioni di best practice e documenti rilevanti

ID	BEST PRACTICE (BP)	N. CITAZIONI	DOCUMENTI RILEVANTI PER LA COMPrensIONE DELLA PRATICA
A	MATERIAL-EFFICIENT DESIGN	65	[7]; [26]; [27]; [28]; [29]
B	CIRCULARITÀ DEI MATERIALI	96	[2]; [30]; [31]; [32]; [33]; [34]; [35]; [36]; [37]
C	UTILIZZO DI MATERIALI BIO-BASED	21	[38]; [39]; [40]; [41]
D	UTILIZZO DI MATERIALI A BASSO IMPATTO	40	[42]; [43]; [44]; [45]; [46]
E	PROGETTAZIONE PER LO SMONTAGGIO	79	[47]; [48]; [49]; [50]; [51]; [52]; [53]
F	PROGETTAZIONE PER L'ADATTABILITÀ	56	[39]; [54]; [55]
G	PROGETTAZIONE PER LA DURABILITÀ	28	[56]; [57]
H	IMPLEMENTAZIONE DELLE TECNOLOGIE DIGITALI	66	[58]; [59]; [60]; [61]; [62]; [63]; [64]
I	PARTECIPAZIONE A PIATTAFORME COLLABORATIVE E BANCHE DATI	50	[40]; [65]; [66]; [67]
J	REDAZIONE E UTILIZZO DI PASSAPORTI E CERTIFICAZIONI DEI MATERIALI	61	[68]; [69]; [70]
K	LCA / LCC	81	[41]; [71]; [72]; [73]; [74]; [75]; [76]; [77]
L	PROGETTAZIONE PER L'EFFICIENZA ENERGETICA	42	[78]; [79]; [80]; [81]
M	TRANSIZIONE VERSO LE FONTI DI ENERGIA RINNOVABILI	27	[54]; [56]; [82]; [83]
N	RISPARMIO E GESTIONE DELL'ACQUA	11	[84]; [85]
O	AFFIDAMENTO SULLE CERTIFICAZIONI EDILIZIE E SUGLI INDICATORI DI CIRCULARITÀ	40	[43]; [72]; [86]; [87]; [88]; [89]; [90]

Per la compilazione delle schede riassuntive sono state utilizzate le informazioni contenute nei vari documenti della tabella: poiché nessun documento si limitava a una specifica best practice, il lavoro complesso è stato quello di estrapolare da ognuno ciò che interessava; le informazioni



principali per la compilazione sono state, per ogni best practice, quelle contenute nei documenti della rispettiva riga, tuttavia, se si volesse approfondire, è consigliabile leggere anche gli altri documenti della bibliografia per avere un quadro completo.



CAP. 4 - PATRIMONIO EDILIZIO TRANSFRONTALIERO

L'analisi della letteratura sulle possibilità future di un settore edilizio circolare è stata integrata da un'analisi della situazione attuale del patrimonio edilizio transfrontaliero, al fine di comprendere come la circolarità possa essere introdotta attraverso interventi sul patrimonio edilizio esistente o attraverso una gestione circolare della relativa supply chain.

4.1 - DATI STATISTICI PER GLI STOCK DI EDIFICI

Per ottenere informazioni sugli edifici in Italia e in Slovenia, si è fatto inizialmente riferimento ai dati resi disponibili dagli ultimi censimenti degli edifici, realizzati per i due Stati rispettivamente dall'Istat [91] e dal SiStat [92]; i risultati ottenuti per ciascuno Stato saranno poi esaminati in dettaglio e verrà presentato un confronto tra i due.

4.1.1 - Italia

Al censimento del 2011, l'ultimo completo effettuato dall'Istat per il patrimonio edilizio, si contavano in Italia un totale di circa 14,5 milioni di edifici, di cui l'84% regolarmente utilizzati (circa 13,7 milioni di edifici); la distinzione tra le destinazioni d'uso è mostrata in Figura 11, con una netta prevalenza degli edifici residenziali, circa 12,2 milioni in totale. La maggior parte dei dati raccolti dai censimenti degli edifici si riferisce solo agli edifici residenziali, per cui ci concentreremo su questi ultimi, dato che sono anche, come abbiamo visto, la parte predominante; per avere una stima nelle regioni di interesse per il contesto transfrontaliero, in Veneto questa categoria conta poco più di un milione di edifici, il triplo rispetto al Friuli-Venezia Giulia (circa 300 mila).

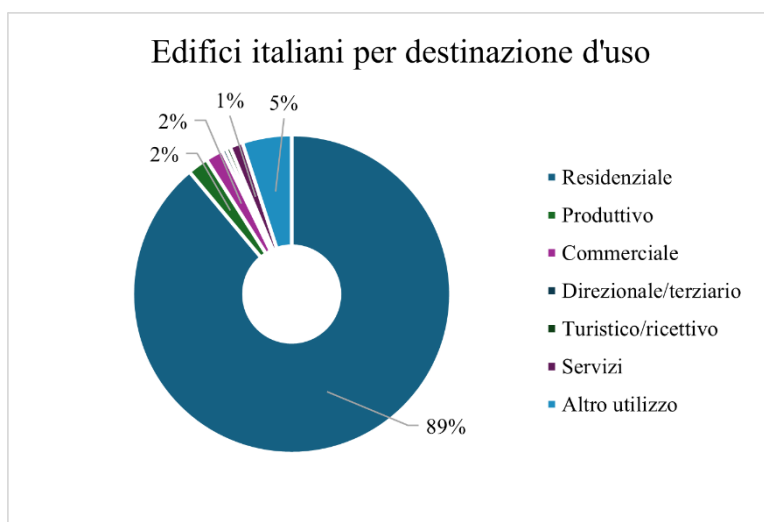


Figura 11 : Distribuzione degli edifici italiani nel 2011 per destinazione d'uso

L'ultimo censimento Istat che fornisce alcune informazioni sugli edifici risale al 2021, in cui il numero di edifici residenziali rispetto al 2011 è risultato aumentato di circa 230000 unità. Il grafico rappresenta il numero di nuovi edifici residenziali costruiti per ogni decennio o intervallo di anni riportato in Figura 12: si può facilmente notare che oltre il 50% degli edifici residenziali esistenti è stato costruito prima del 1970, quando non era in vigore alcuna normativa sull'efficienza energetica degli edifici. Altrettanto evidente è la diminuzione delle nuove costruzioni dal 1980 a oggi, con un drastico crollo nel decennio 2011-2021: dato l'esiguo numero di edifici costruiti in questi 10 anni e la mancanza di dati recenti più specifici, per un'analisi più approfondita del patrimonio edilizio italiano e delle regioni di interesse abbiamo utilizzato i dati del censimento Istat 2011.

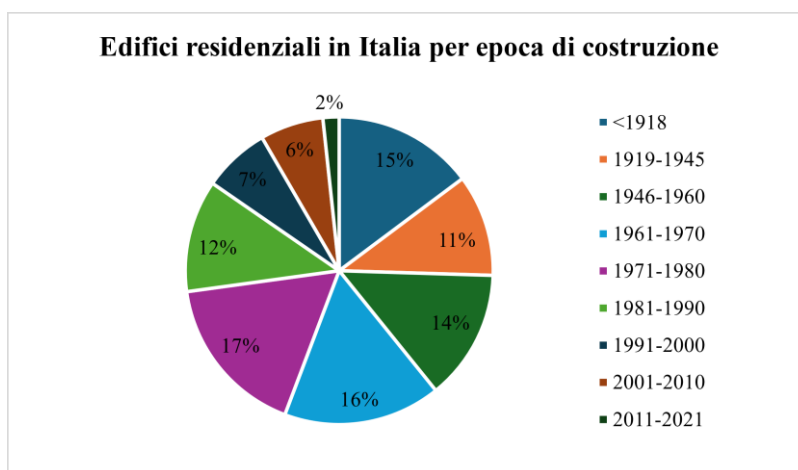


Figura 12 : Edifici residenziali italiani per periodo di costruzione

Dal censimento del 2011 è stato possibile ottenere anche un'indicazione generale sulla tecnica costruttiva utilizzata; in particolare, è stata fatta una classificazione sul materiale principalmente utilizzato per la struttura degli edifici residenziali, con una distinzione tra edifici in muratura portante, cemento armato e altri materiali: Figura 13 mostra un progressivo abbandono della muratura portante a favore dell'uso del cemento armato, già materiale di elezione per le costruzioni a partire dagli anni Settanta. Per quanto riguarda gli edifici realizzati con gli altri materiali, che comprendono l'acciaio e il legno, sono sempre meno numerosi di quelli in calcestruzzo e muratura, mentre sono molto più utilizzati negli edifici non residenziali con grandi luci.

Avendo a disposizione dati specifici per regione, ci siamo concentrati sul Veneto e sul Friuli-Venezia Giulia, che sono di interesse per questo studio sulla situazione transfrontaliera: confrontando i due grafici relativi in Figura 14, si può notare come in Veneto l'uso della muratura in proporzione agli altri materiali sia sempre stato maggiore rispetto al FVG; allo stesso tempo, la grande crescita dell'uso del cemento armato in FVG si nota a partire dagli anni '70, in concomitanza con la ricostruzione successiva al terremoto del Friuli del 1976 e il conseguente sviluppo di nuove tecniche costruttive più moderne e antisismiche.

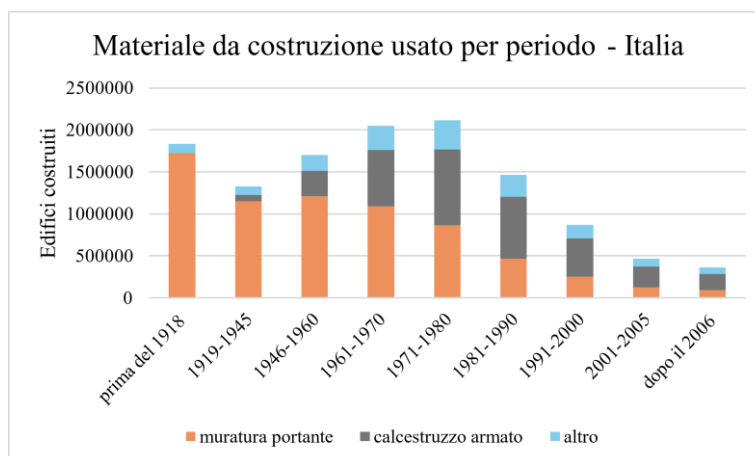


Figura 13 : Distribuzione degli edifici residenziali italiani per materiale utilizzato per la struttura portante e per periodo di costruzione

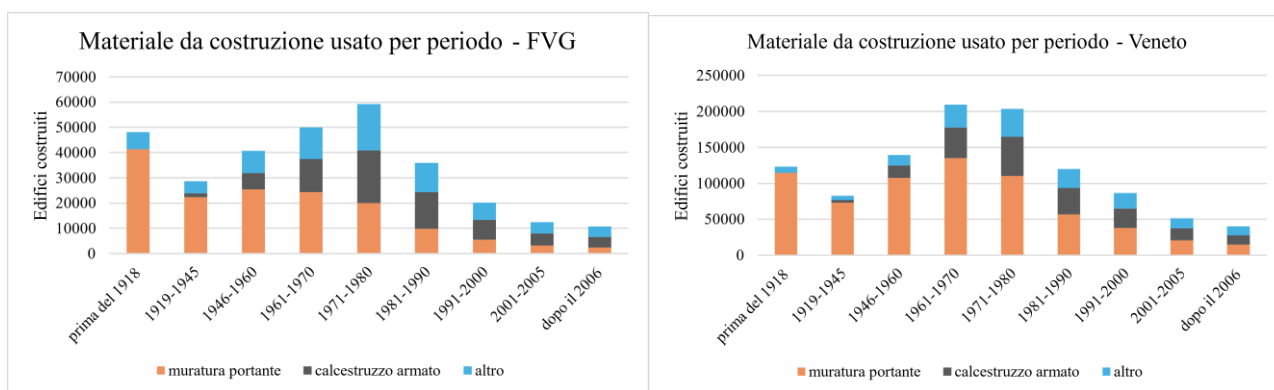


Figura 14 : Confronto tra edifici del FVG e del Veneto per materiale utilizzato per la struttura portante e per periodo di costruzione

L'Istat, tuttavia, non fornisce indicazioni sulla proporzione di tipologie edilizie presenti nel patrimonio italiano, ovvero sul numero di abitazioni unifamiliari o a schiera rispetto agli edifici plurifamiliari: una quantificazione approssimativa può essere ottenuta osservando la suddivisione degli edifici per numero di abitazioni; la percentuale corrispondente all'abitazione singola è da considerarsi un esempio di edilizia residenziale monofamiliare: Figura 15 mostra che in Italia, così come in Veneto e in FVG, questa tipologia rappresenta più della metà del patrimonio costruito, mentre poco meno di un quarto degli edifici è bifamiliare.

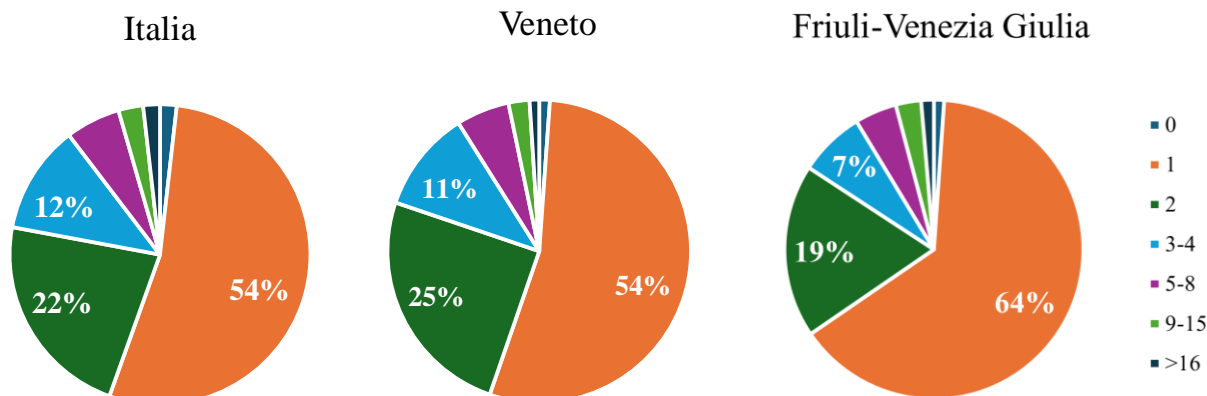


Figura 15 : Confronto delle percentuali di edifici per numero di abitazioni in Italia, Veneto e FVG

4.1.2 - Slovenia

Per quanto riguarda la situazione slovena, l'ultimo censimento degli edifici disponibile sul sito del SiStat in cui è stata effettuata una catalogazione in base al materiale della struttura portante e all'età della costruzione risale al 2002, con un successivo adeguamento nel 2007, che può in qualche modo fornire un'indicazione del patrimonio costruito. Poiché per l'Italia ci siamo limitati agli edifici residenziali, sebbene siano disponibili dati anche per altre tipologie edilizie, lo stesso verrà fatto per la Slovenia. Come si può vedere nella Figura16, come per l'Italia, anche per la Slovenia il picco di costruzioni si è verificato tra il 1970 e il 1980, mentre in modo diverso si è assistito a un notevole aumento di nuovi edifici residenziali a partire dagli anni 2000, con la costruzione di una media di 3000 edifici all'anno.

InFigura 17, viene poi effettuato un confronto rispetto ai materiali utilizzati per la struttura portante degli edifici residenziali, utilizzando la classificazione impiegata nel censimento italiano del 2011: nel caso sloveno, nella catalogazione sono stati distinti gli edifici in calcestruzzo e quelli in calcestruzzo armato, racchiusi per comodità di confronto all'interno della categoria italiana corrispondente al cemento armato, gli edifici in pietra e mattoni sono stati inseriti nella categoria muratura, e infine, nella sezione "altro", sono stati conteggiati sia gli edifici specificati come in legno sia quelli per i quali non sono stati forniti ulteriori dettagli. Oltre al confronto tra Veneto e FVG, si può notare che i tre quarti del patrimonio edilizio sloveno sono costituiti da edifici in muratura, con il calcestruzzo utilizzato per la struttura portante solo nel 6% del totale degli edifici.

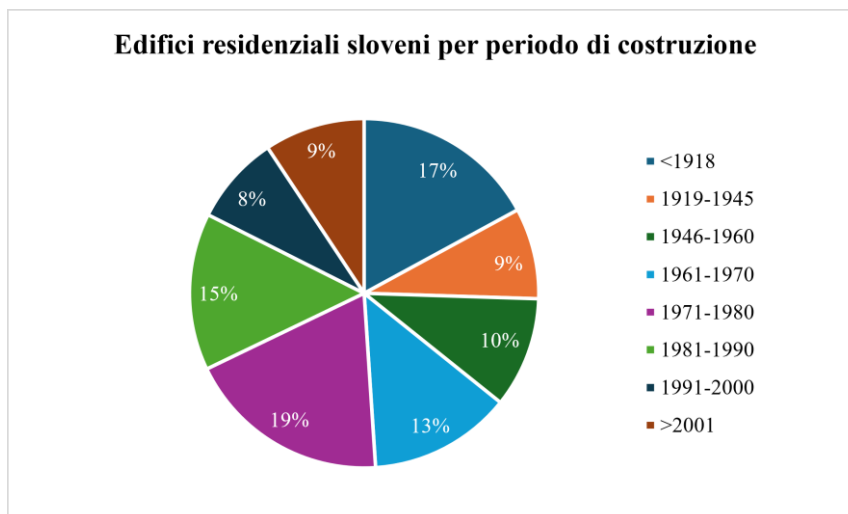


Figura16 : Edifici residenziali sloveni per periodo di costruzione

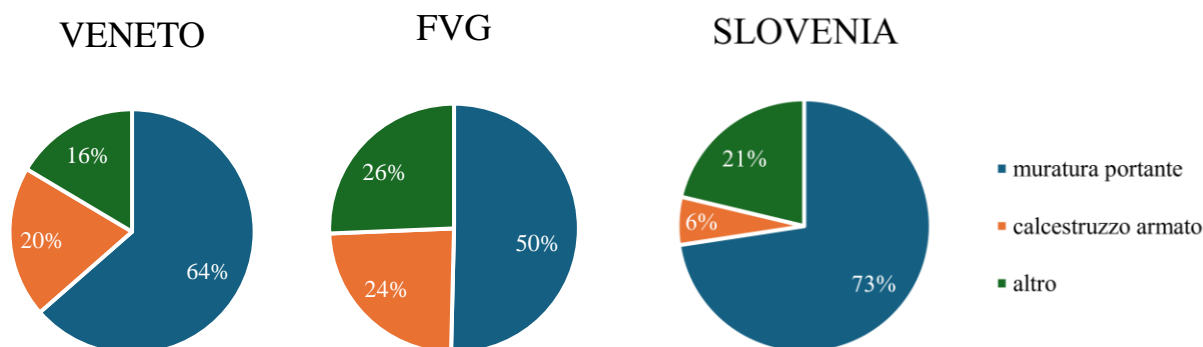


Figura 17 : Confronto del materiale utilizzato per la struttura portante tra Veneto, FVG e Slovenia

Quest'ultimo dato può essere tradotto nella presenza di pochi edifici multipiano, concentrati nelle grandi città, che sono allo stesso tempo i pochi edifici residenziali costruiti in cemento armato. A sostegno di ciò, la Figura 18 mostra le statistiche dell'edilizia residenziale slovena per tipologia, distinguendo case isolate, case contigue o a schiera e condomini.

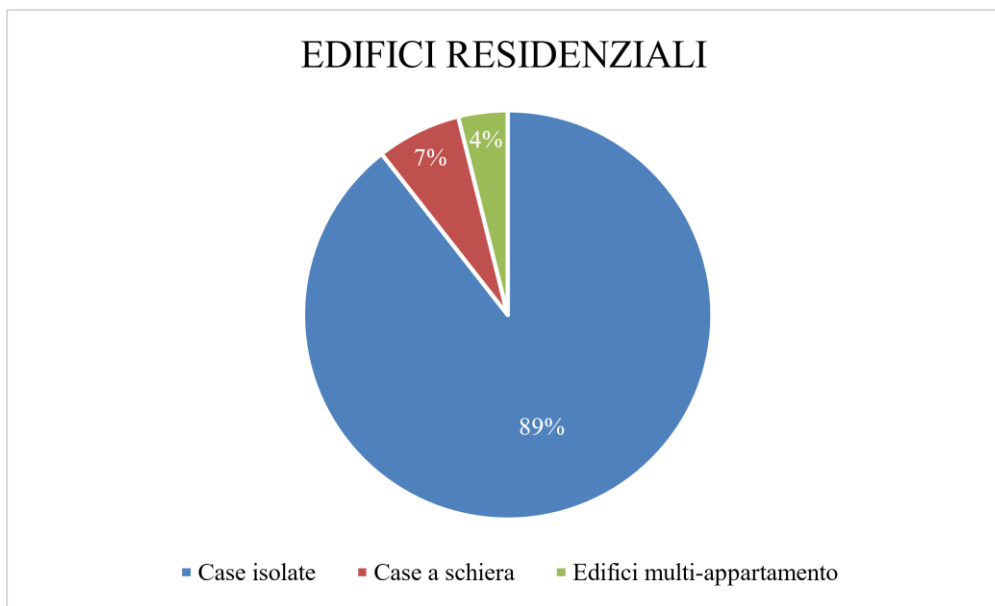


Figura 18 : Distribuzione delle tipologie edilizie in Slovenia

4.2 - CONFRONTO TRA LE TIPOLOGIE EDILIZIE ITALIANE E SLOVENE

Dal portale Eurostat [93], l'Ufficio Statistico dell'Unione Europea, è stato possibile realizzare dei grafici che mettono a confronto per l'UE, la Slovenia e l'Italia, la distribuzione della popolazione tra aree rurali, aree urbane/suburbane e città e, per ognuna di queste categorie, un'ulteriore suddivisione in base al tipo di edificio di residenza, tra case isolate, case a schiera, edifici con fino a 10 appartamenti e con più di 10 appartamenti. Figura19 è rappresentativa di come in Italia ci siano molti più edifici multi-appartamento, con una grande concentrazione della popolazione nelle città, mentre in Slovenia la tendenza è diametralmente opposta, con una maggiore densità di popolazione nelle aree rurali e una preponderanza di case unifamiliari, in cui vive più del 65% della popolazione.

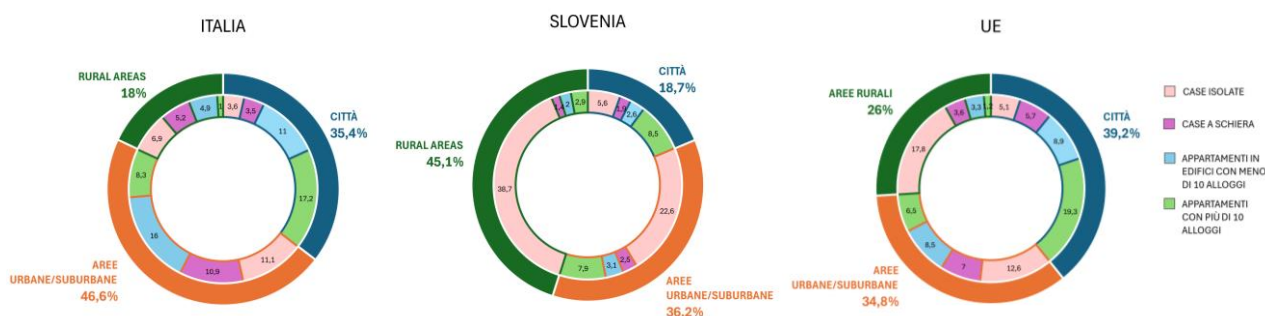


Figura19 : Confronto tra la distribuzione della popolazione e degli edifici in Italia, Slovenia e UE

Questa analisi preliminare ha permesso di osservare statisticamente quali edifici sono più o meno presenti nell'area di interesse, ma fornisce troppo poche informazioni sui dettagli costruttivi degli edifici che permettano di capire realmente quali interventi possono o meno essere effettuati su di essi in un'ottica di circolarità: a tal fine, ci si è avvalsi delle schede descrittive delle tipologie edilizie elaborate per i due Stati, Italia [94] e Slovenia [95] nell'ambito del progetto TABULA (*Typology Approach for BUiLding stock energy Assessment*), all'interno del programma europeo *Intelligent Energy Europe*. Questo progetto ha perseguito un'armonizzazione nella classificazione delle tipologie di edifici residenziali europei, sulla base delle caratteristiche energetiche, al fine di definire per ciascuna di esse le misure di riqualificazione standard o avanzate possibili per aumentare il risparmio energetico e aderire ai requisiti della Direttiva sul rendimento energetico degli edifici (EPBD, 2002/91/CE): sebbene il nostro focus sia diverso, i risultati ottenuti da questo progetto sono molto utili per avere una panoramica degli edifici e delle loro qualità. Si precisa che le tipologie individuate per l'Italia sono quelle individuate per la zona climatica E, la più estesa d'Italia, e che rappresenta gran parte del territorio del Veneto e del Friuli-Venezia Giulia, cioè quello di nostro interesse.

Il confronto diretto tra le tipologie edilizie di Italia e Slovenia previste dal programma è risultato complesso a causa dei diversi intervalli temporali in cui sono state studiate nei due Stati: nel caso degli edifici italiani, essi sono stati classificati in 8 diversi periodi di costruzione, a partire dagli edifici antecedenti al 1900, mentre nel caso degli edifici sloveni sono presenti solo 5 categorie temporali. Una serie di osservazioni ha permesso di raggruppare i diversi intervalli temporali in 4 grandi periodi, come mostrato in Figura 20:

- il primo riguarda tutti gli edifici costruiti prima del 1945, quindi la parte più storica di essi;
- il secondo è quello che comprende gli edifici derivanti principalmente dalle ricostruzioni del secondo dopoguerra, ma in assenza di normative speciali sull'efficienza energetica;
- il periodo 3 comprende gli edifici costruiti alla fine del secolo scorso, ma realizzati con una particolare attenzione alle prestazioni energetiche, a seguito della crisi energetica del 1973 e delle successive normative nazionali volte alla riduzione dei consumi energetici, del 1976 e del 1987 rispettivamente in Italia e in Jugoslavia;
- l'ultimo periodo comprende edifici più recenti, del XXI secolo, i cui gli aspetti energetici sono sempre più rilevanti e regolati dalle normative dell'Unione Europea (di cui la Slovenia fa parte dal 2004).

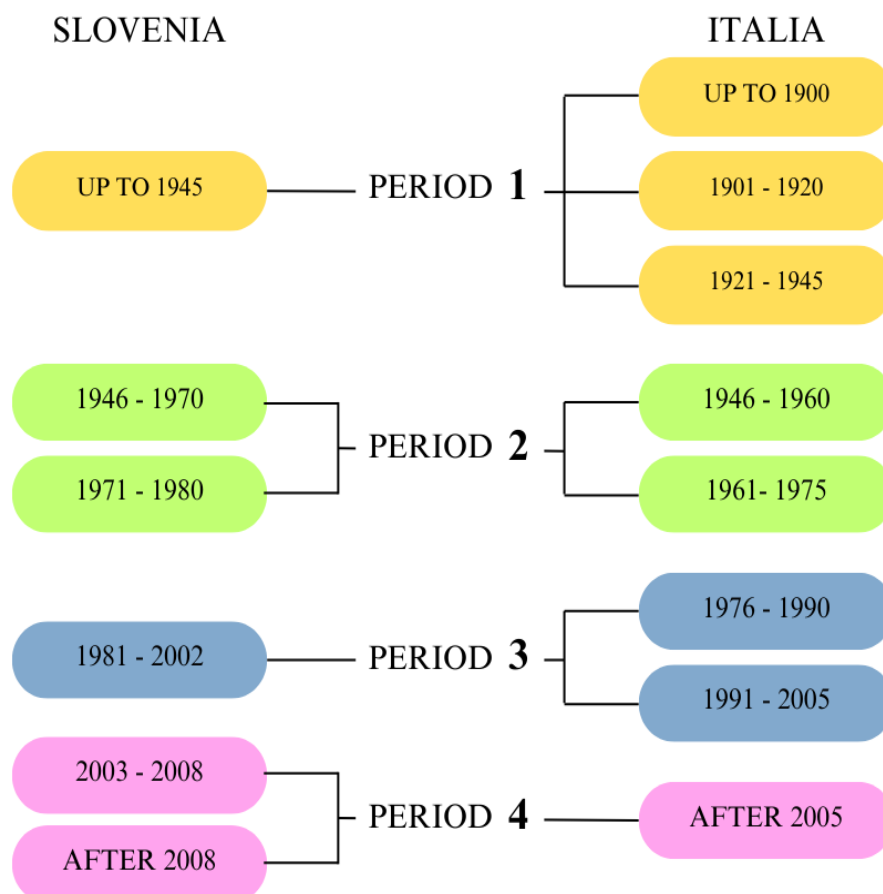


Figura 20 : Definizione dei periodi di confronto

Per ogni periodo, l'analisi si concentra sulle quattro principali categorie di edifici residenziali, ovvero casa monofamiliare (SFH), casa a schiera (TH), casa plurifamiliare (MFH) e condominio (AB); nonostante questa specializzazione sulle abitazioni, le tecniche costruttive di ogni periodo sono considerate validamente rappresentate per tutte le categorie d'uso, sempre in funzione della dimensione dell'edificio. Per ogni categoria vengono fornite le tecniche costruttive di solai, pareti e coperture, la tipologia di serramenti e gli impianti di riscaldamento (Heating System - HS) e di produzione di acqua calda sanitaria (Domestic Hot Water - DHW - System): poiché l'obiettivo del programma era quello di individuare le possibilità di miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio costruito, per ogni periodo costruttivo e tipologia vengono suggeriti interventi di riqualificazione sia dell'involucro edilizio che dell'impianto. L'obiettivo degli interventi individuati non è esplicitamente la circolarità, tuttavia questi sono riportati ricordando che la progettazione per l'efficienza energetica è una delle strategie di integrazione della CE nella filiera dell'edilizia evidenziate nella prima fase di analisi.

4.2.1 - Periodo 1

Dalle osservazioni contenute nei documenti TABULA, si può notare che SFH e TH, e allo stesso modo MFH e AB, hanno metodi di costruzione simili, quindi il confronto tra Italia e Slovenia sarà fatto in generale su edifici monofamiliari e plurifamiliari.

La casa unifamiliare slovena, e analogamente la casa a schiera, ha un tetto in legno (con travi e tavolato) su cui poggia il manto di tegole; gli altri piani sono costituiti da un'alta gettata di cemento su cui poggiano le travi di legno e al di sopra il tavolato. Per quanto riguarda l'involucro, i muri portanti sono in pietra naturale, mentre i serramenti hanno tipicamente un telaio in legno e un vetro singolo; di solito si utilizzano doppi serramenti per creare un cuscinetto termico.

Nonostante piccole differenze, le tre tipologie individuate per le stesse categorie di edifici residenziali in Italia, rappresentative di edifici costruiti prima del 1945, presentano in generale molte analogie con le costruzioni slovene dello stesso periodo: innanzitutto, il solaio di copertura è identicamente in legno, così come i telai dei serramenti (anche se inizialmente si preferiva il metallo), sempre caratterizzati da vetri singoli. La struttura portante è in muratura, solo che, a differenza del contesto sloveno, alla pietra naturale vengono aggiunti strati di mattoni pieni per migliorare la regolarità, fino a realizzare l'intero edificio in mattoni. La componente portante dei solai è costituita da una solida lastra di calcestruzzo non armato, sulla quale si sovrappongono le finiture dei pavimenti.

Per quanto riguarda gli edifici multi-appartamento, in comune con le altre tipologie c'è l'uso di infissi a vetro singolo con telaio in legno, sempre utilizzati con la configurazione a doppia finestra in Slovenia, salvo l'introduzione di finestre a doppio vetro negli AB. Similitudini si riscontrano anche nella struttura portante, generalmente realizzata in mattoni pieni (inizialmente in pietra), con qualche utilizzo avanguardistico di mattoni forati e calcestruzzo per gli edifici a più piani.

Anche in questo contesto geografico è previsto l'utilizzo del già descritto solaio di copertura con travi in legno, che viene però integrato con una soletta in calcestruzzo rispetto alla soluzione per edifici monofamiliari; lo stesso avviene per i piani intermedi, mentre il solaio alla base dell'edificio comprende solo la soletta in calcestruzzo a terra.

In Italia, invece, i solai in legno negli edifici plurifamiliari sono rari, mentre le tipologie costruttive più diffuse prima del 1945 sono caratterizzate da orizzontamenti a volta in laterizio e dalla loro evoluzione con travi in acciaio di sostegno, utilizzate anche nei solai piani in laterocemento; alla fine del primo periodo si assiste anche all'introduzione dei primi esempi di solai in cemento armato nervato.

Figura 21 riassume le informazioni rilevanti derivate da questa analisi.

STATO	TIPOLOGIA	SERRAMENTI		MATERIALE PARETI ESTERNE	PRESENZA ISOLANTE	HEATING SYSTEM	DHW SYSTEM
		TELAIO	VETRO				
SLO	SFH	Legno	Singolo	Pietra naturale	<input type="checkbox"/> pareti est. <input type="checkbox"/> solai <input type="checkbox"/> copertura	Caldaia a legna, in spazio non riscaldato	Boiler elettrico in spazio riscaldato
	TH	Legno	Singolo	Pietra naturale	<input type="checkbox"/> pareti est. <input type="checkbox"/> solai <input type="checkbox"/> copertura	Caldaia a legna, in spazio non riscaldato	Boiler elettrico in spazio riscaldato
	MFH	Legno	Singolo	Mattoni pieni	<input type="checkbox"/> pareti est. <input type="checkbox"/> solai <input type="checkbox"/> copertura	Centralizzato, con caldaia tradizionale a gas in spazio non riscaldato	Autonomo, Boiler elettrico in spazio riscaldato
	AB	Legno	Singolo	Calcestruzzo	<input type="checkbox"/> pareti est. <input type="checkbox"/> solai <input type="checkbox"/> copertura	Centralizzato, con caldaia tradizionale a gas in spazio non riscaldato	Autonomo, Boiler elettrico in spazio riscaldato
ITA	SFH	Metallo o Legno	Singolo	Pietra naturale e/o mattoni pieni	<input type="checkbox"/> pareti est. <input type="checkbox"/> solai <input type="checkbox"/> copertura	Caldaia tradizionale a gas in spazio riscaldato, tubi non isolati	Boiler elettrico o caldaia istantanea, senza ricircolo
	TH	Legno	Singolo	Pietra naturale e/o mattoni pieni	<input type="checkbox"/> pareti est. <input type="checkbox"/> solai <input type="checkbox"/> copertura	Caldaia tradizionale a gas in spazio riscaldato, tubi non isolati	Boiler elettrico o caldaia istantanea, senza ricircolo
	MFH	Legno	Singolo	Pietra naturale e/o mattoni pieni	<input type="checkbox"/> pareti est. <input type="checkbox"/> solai <input type="checkbox"/> copertura	Centralizzato, con caldaia tradizionale a gas in spazio non riscaldato, tubi non isolati	Autonomo, Boiler elettrico o caldaia istantanea, senza ricircolo
	AB	Legno o Metallo	Singolo	Mattoni pieni	<input type="checkbox"/> pareti est. <input type="checkbox"/> solai <input type="checkbox"/> copertura	Centralizzato, con caldaia tradizionale a gas in spazio non riscaldato, tubi non isolati	Centralizzato, con caldaia a gas, con ricircolo

Figura 21 : Tabella riassuntiva per gli edifici del periodo 1

Gli interventi che possono essere identificati per migliorare l'efficienza energetica sono presentati qui, suddivisi per componente dell'edificio:

- INVOLUCRO EDILIZIO
 - Sostituzione di finestre e porte con finestre a doppio/triplo vetro con intercapedine riempita di gas nobile, telaio in legno, vetri a bassa emissività
 - Applicazione di materiale isolante in coperture, pavimenti e pareti esterne, in uno spessore sufficiente o superiore a quello richiesto per raggiungere il limite di trasmittanza (U) previsto dalla normativa o per ottenere una determinata certificazione.
- SISTEMA DI RISCALDAMENTO
 - isolamento della rete di distribuzione
 - rimozione della vecchia caldaia
 - installazione di un nuovo generatore in ambiente riscaldato a scelta tra caldaia a condensazione, pompa di calore aria-acqua o geotermica, caldaia a biomassa legnosa
 - installazione di pannelli solari termici per il preriscaldamento dell'acqua
 - installazione di pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica, soprattutto in caso di presenza di pompe di calore
 - sostituzione di impianti a radiatori con impianti a pannelli radianti

- negli edifici plurifamiliari si dovrebbe privilegiare la centralizzazione dell'impianto di riscaldamento
- SISTEMA ACS
 - introduzione di pompe per il ricircolo
 - isolamento delle tubazioni di distribuzione
 - installazione di pannelli solari termici, con serbatoi di accumulo adeguatamente isolati negli ambienti riscaldati
 - negli edifici plurifamiliari si dovrà privilegiare la centralizzazione del sistema di produzione di ACS, con l'eventuale introduzione di boiler elettrici autonomi
 - installazione di un nuovo generatore negli ambienti riscaldati, a scelta tra caldaia a condensazione o pompa di calore aria-acqua o geotermica, oppure utilizzo combinato del generatore di nuova introduzione per l'impianto di riscaldamento
- Introduzione di sistemi di ventilazione meccanica controllata (VMC) con scambiatore di calore

4.2.2 - Periodo 2

In analogia con il primo periodo di analisi, si può fare un confronto raggruppando le prime due e le ultime due categorie di edifici per ogni Stato.

Partendo dagli SFH e TH italiani costruiti tra il 1946 e il 1975, non si notano particolari evoluzioni rispetto agli edifici antecedenti al 1945, soprattutto nelle stratigrafie: solo a partire dalla legge n. 373 del 1976 "Norme per il contenimento del consumo di energia per usi termici negli edifici" e dalle sue prescrizioni per l'isolamento termico degli edifici si sono avuti dei veri e propri cambiamenti, mentre nel secondo periodo preso in considerazione l'edilizia è stata molto meno schematica e rigorosa, puntando alla ricostruzione nel più breve tempo possibile, sfruttando anche il boom economico senza attenzione all'uso delle risorse.

Una delle principali differenze che si possono osservare rispetto agli edifici del primo periodo è il progressivo abbandono del legno a favore del calcestruzzo, tuttavia con una certa accortezza nella necessità di ridurre il peso delle strutture: ciò si traduce in solai di copertura alleggeriti dall'introduzione di pignatte di laterizio e nella realizzazione delle pareti con mattoni forati, con un aumento minimo del loro spessore, talvolta con un'intercapedine tra i due strati per fornire un certo isolamento; tuttavia, né nei solai né nelle pareti si sviluppa l'uso di veri e propri materiali isolanti. Per quanto riguarda i serramenti, la maggior parte di questi edifici presenta ancora finestre e porte a vetro singolo con telai in legno.

La controparte slovena della stessa tipologia di edifici dello stesso periodo, nonostante all'epoca non esistesse una legislazione specifica sul risparmio energetico, è più sviluppata in termini di riduzione delle dispersioni: l'attenzione all'isolamento dell'edificio ha portato all'introduzione di uno strato di materiale isolante nel tipico tetto a travi di legno e nei solai in

calcestruzzo, oltre che nelle pareti in mattoni forati, ma soprattutto al passaggio dai vetri singoli a quelli doppi, pur mantenendo il telaio in legno. Rispetto agli edifici italiani della stessa epoca, si nota la mancanza dell'uso di alleggerimenti nei solai, con spessori totali dei pacchetti costruttivi inferiori.

Le stesse osservazioni valgono anche per MFH e AB: in Italia i solai sono tipicamente in calcestruzzo alleggerito con blocchi forati, le pareti in mattoni forati, a volte con intercapedine, e i serramenti in legno a vetro singolo. In Slovenia, il pavimento più comune è ancora quello in travetti di legno che poggiano su una soletta di cemento armato, non sempre con uno strato isolante intermedio; le pareti nel caso di MFH sono realizzate in blocchi di cemento, mentre nel caso di AB in calcestruzzo gettato in opera, in entrambi i casi senza l'aggiunta di strati isolanti. Le finestre e le porte rimangono a doppio vetro con telaio in legno, come negli altri due tipi di edifici.

Figura 22 riassume le informazioni rilevanti derivate da questa analisi.

STATO	TIPOLOGIA	SERRAMENTI		MATERIALE PARETI ESTERNE	PRESENZA ISOLANTE	HEATING SYSTEM	DHW SYSTEM
		TELAIO	VETRO				
SLO	SFH	Legno	Doppio	Mattoni forati	<input type="checkbox"/> pareti est. <input type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Caldaia tradizionale a gas in spazio non riscaldato	Caldaia a gas in spazio riscaldato/combinazione con HS
	TH	Legno	Singolo	Mattoni forati	<input type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Caldaia tradizionale a gas in spazio non riscaldato	Caldaia a gas in spazio riscaldato/combinato con HS
	MFH	Legno	Doppio	Blocchi di calcestruzzo	<input type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input type="checkbox"/> copertura	Centralizzato, con caldaia tradizionale a gas in spazio non riscaldato	Autonomo, Boiler elettrico in spazio riscaldato
	AB	Legno	Doppio	Calcestruzzo	<input type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input type="checkbox"/> copertura	Centralizzato, con caldaia tradizionale a gas in spazio non riscaldato	Autonomo, Boiler elettrico in spazio riscaldato
ITA	SFH	Legno	Singolo	Mattoni forati	<input type="checkbox"/> pareti est. <input type="checkbox"/> solai <input type="checkbox"/> copertura	Caldaia tradizionale a gas/petrolio in spazio riscaldato, tubi non isolati	Combinato con HS, con ricircolo
	TH	Legno	Singolo	Mattoni forati	<input type="checkbox"/> pareti est. <input type="checkbox"/> solai <input type="checkbox"/> copertura	Caldaia tradizionale a gas in spazio riscaldato, tubi non isolati	Combinato con HS, con ricircolo
	MFH	Legno	Singolo	Mattoni forati	<input type="checkbox"/> pareti est. <input type="checkbox"/> solai <input type="checkbox"/> copertura	Autonomo, con caldaia tradizionale a gas in spazio non riscaldato, tubi non isolati	Autonomo, Boiler elettrico o combinato con HS, senza ricircolo
	AB	Legno	Singolo	Mattoni forati con intercapedine o calcestruzzo	<input type="checkbox"/> pareti est. <input type="checkbox"/> solai <input type="checkbox"/> copertura	Centralizzato, con caldaia tradizionale a gas in spazio non riscaldato, tubi non isolati	Centralizzato, con caldaia a gas, con ricircolo

Figura 22 : Tabella riassuntiva per gli edifici del periodo 2

Gli interventi che possono essere individuati per migliorare l'efficienza energetica sono gli stessi presentati per gli edifici del periodo 1.

4.2.3 - Periodo 3

Questo terzo periodo è caratterizzato da una progettazione e una costruzione più sensibili alle prestazioni energetiche e al benessere degli abitanti, in seguito all'emanazione delle norme già citate.

In Italia, in particolare, il cambiamento è stato radicale, con l'introduzione in tutti gli elementi strutturali (coperture, pareti e solai) di uno strato di materiale isolante, di spessore crescente con il passare degli anni a seguito della continua diminuzione delle normative sulle trasmittanze massime consentite per i pacchetti costruttivi. Per tutte e quattro le tipologie di edificio, i solai (orizzontali e di copertura) sono costruiti con una parte portante in laterizio, uno strato di materiale isolante e infine una soletta in calcestruzzo; le pareti sono solitamente costruite con mattoni forati e uno strato di materiale isolante, tra i mattoni o nella parte esterna, dove sottile associato a un'intercapedine d'aria; negli edifici multi-appartamento si ricorre anche a pareti in calcestruzzo, sempre con isolante, talvolta prefabbricato. Per quanto riguarda i serramenti, diventano predominanti i doppi vetri con intercapedine d'aria (a volte a bassa emissività); il telaio in legno rimane il più utilizzato, ma negli AB iniziano a diffondersi i telai in alluminio, con la successiva introduzione del taglio termico per limitare le dispersioni.

In Slovenia non si registrano cambiamenti significativi rispetto al periodo precedente: per le pareti, nelle SFH e nelle TH permane l'uso prevalente di mattoni forati con isolamento intermedio, mentre nelle MFH e negli AB si fa largo uso di pareti in calcestruzzo, questa volta con l'aggiunta di materiale termoisolante sul lato esterno; per i solai, la struttura più utilizzata è il calcestruzzo (senza alleggerimento) con isolamento e soletta in calcestruzzo, ad eccezione dei tetti degli SFH e dei TH dove permane l'uso di tetti in legno isolati. Tipicamente, i serramenti in legno con doppi vetri trovano qualche variazione nei TH, dove il telaio è in alluminio, e negli AB, dove vengono introdotti serramenti in PVC.

Figura 23 riassume le informazioni rilevanti derivate da questa analisi.

Gli interventi suggeriti per l'efficienza energetica rimangono gli stessi già enunciati per le fasi precedenti con lievi variazioni: invece di introdurre l'isolamento, è necessario aumentarlo, aggiungendo a quello già esistente o rimuovendo, dove possibile, quello già presente e applicando un nuovo isolamento in base ai requisiti di trasmittanza da raggiungere; per questi edifici, rispetto a quelli delle epoche precedenti, ha più senso la partecipazione a progetti di teleriscaldamento.

STATO	TIPOLOGIA	SERRAMENTI		MATERIALE PARETI ESTERNE	PRESENZA ISOLANTE	HEATING SYSTEM	DHW SYSTEM
		TELAIO	VETRO				
SLO	SFH	Alluminio con taglio termico	Doppio	Mattoni forati con intercapedine isolata	<input checked="" type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Caldaia tradizionale a gas in spazio non riscaldato	Caldaia a gas in spazio riscaldato
	TH	Legno	Doppio	Mattoni forati con isolante esterno	<input checked="" type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Caldaia tradizionale a gas in spazio non riscaldato	Caldaia a gas in spazio riscaldato
	MFH	PVC con taglio termico	Doppio	Calcestruzzo con isolante esterno	<input checked="" type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Teleriscaldamento da stazione non riscaldata di riscaldamento a gas	Autonomo, caldaia a gas in spazio riscaldato
	AB	Legno	Doppio	Calcestruzzo con isolante esterno	<input checked="" type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Teleriscaldamento da stazione di riscaldamento a gas	Autonomo, caldaia a gas in spazio riscaldato
ITA	SFH	Legno	Doppio	Mattoni forati con intercapedine isolata/isolante esterno	<input checked="" type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Caldaia tradizionale a gas in spazio non riscaldato, tubi isolati	Combinato con HS, con ricircolo/boiler istantaneo a gas, senza ricircolo
	TH	Legno	Doppio	Mattoni forati con intercapedine isolata/isolante esterno	<input checked="" type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Caldaia tradizionale a gas in spazio non riscaldato, tubi isolati	Combinato con HS, con ricircolo/boiler istantaneo a gas, senza ricircolo
	MFH	Metallo o Legno	Doppio	Mattoni forati o calcestruzzo con isolante esterno	<input checked="" type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Autonomo/centralizzato con caldaia tradizionale a gas in spazio non riscaldato, tubi isolati	Autonomo, boiler istantaneo a gas, senza ricircolo
	AB	Metallo con o senza taglio termico	Doppio	Mattoni forati o calcestruzzo con isolante esterno	<input checked="" type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Autonomo/centralizzato con caldaia tradizionale a gas in spazio non riscaldato, tubi isolati	Autonomo, boiler istantaneo a gas, senza ricircolo

Figura 23 : Tabella riassuntiva per gli edifici del periodo 3

4.2.4 - Periodo 4

A partire dagli anni 2000 si è notato un progressivo orientamento verso edifici funzionali ma soprattutto prestazionali, grazie allo sviluppo di nuovi materiali e nuove tecniche costruttive, ma anche alla continua evoluzione delle normative per garantire un settore edilizio sostenibile: ciò ha portato a nuovi materiali con buone capacità termiche, pacchetti costruttivi e serramenti progettati minuziosamente per limitare la dispersione termica (nonché i problemi di umidità). Nella matrice tipologica del programma TABULA per lo Stato sloveno non ci sono indicazioni sulle caratteristiche specifiche dei serramenti e dei pacchetti costruttivi più utilizzati negli anni 2000, ma vengono fornite le trasmittanze limite normative per i diversi periodi.

Per l'Italia, invece, si registra una declinazione, per le quattro tipologie edilizie, delle caratteristiche costruttive: innanzitutto si osserva un notevole aumento dello spessore dello strato isolante, rispetto agli edifici del periodo precedente, sia nei solai, sempre in laterizio, sia nelle pareti, in combinazione con mattoni forati più innovativi, ad alta resistenza termica, o con pannelli in calcestruzzo. Per i serramenti, la soluzione più comunemente adottata è un telaio in legno con doppi vetri, con un'intercapedine riempita di aria o gas, spesso trattata per garantire una bassa emissività.

Figura 24 riassume le informazioni rilevanti derivate da questa analisi.

STATO	TIPOLOGIA	SERRAMENTI		MATERIALE PARETI ESTERNE	PRESENZA ISOLANTE	HEATING SYSTEM	DHW SYSTEM
		TELAIO	VETRO				
SLO	SFH	Alluminio con taglio termico	Doppio	Mattoni forati con intercapedine isolata	<input checked="" type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Caldia a gas a condensazione in spazio riscaldato	Combinato con HS, con ricircolo
	TH	Legno	Doppio	Mattoni forati con isolante esterno	<input checked="" type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Caldia a gas a condensazione in spazio riscaldato	Combinato con HS, con ricircolo
	MFH	PVC con taglio termico	Doppio	Calcestruzzo con isolante esterno	<input checked="" type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Teleriscaldamento da stazione riscaldata di riscaldamento a gas	Teleriscaldamento, combinato con HS
	AB	Legno	Doppio	Calcestruzzo con isolante esterno	<input checked="" type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Teleriscaldamento da stazione riscaldata di riscaldamento a gas	Teleriscaldamento, combinato con HS
ITA	SFH	Legno	Doppio, basso emissivo	Mattoni forati con isolante esterno	<input checked="" type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Caldia a gas a condensazione in spazio non riscaldato, tubi isolati	Boiler a gas a condensazione, con ricircolo
	TH	Legno	Doppio, basso emissivo	Mattoni forati con isolante esterno	<input checked="" type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Caldia a gas a condensazione in spazio non riscaldato, tubi isolati	Boiler a gas a condensazione, con ricircolo
	MFH	Legno	Doppio, basso emissivo	Mattoni forati o blocchi di calcestruzzo con isolante esterno	<input checked="" type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Centralizzato con caldaia a gas a condensazione in spazio non riscaldato, tubi isolati	Autonomo, boiler istantaneo a gas a condensazione, senza ricircolo
	AB	Legno	Doppio, basso emissivo	Mattoni forati o blocchi di calcestruzzo con isolante esterno	<input checked="" type="checkbox"/> pareti est. <input checked="" type="checkbox"/> solai <input checked="" type="checkbox"/> copertura	Centralizzato con caldaia a gas a condensazione in spazio non riscaldato, tubi isolati	Autonomo, boiler istantaneo a gas a condensazione, senza ricircolo

Figura 24 : Tabella riassuntiva per gli edifici del periodo 4

Questi edifici richiedono molti meno interventi rispetto ai loro predecessori e, molto spesso, la maggior parte dei miglioramenti raccomandati nelle sezioni relative agli altri periodi sono già implementati nella progettazione dell'edificio. Rimane valido il fatto che ci sarà sempre una continua evoluzione, ad esempio nei limiti normativi da rispettare per le trasmittanze dell'involucro, per cui anche su questi edifici saranno necessari interventi, magari anche a breve termine: si può parlare ad esempio dell'applicazione di pellicole sulle chiusure trasparenti per aumentare le prestazioni o dell'introduzione di sistemi di ombreggiamento. Anche per quanto riguarda gli impianti, sarà presto necessario sostituire i generatori a gas con pompe di calore o fonti rinnovabili, e molti di questi edifici ne sono dotati.

4.2.5 - Circolarità negli interventi

Anche se il nostro studio non si basa esclusivamente sull'efficienza energetica, questa è comunque un modo per migliorare la circolarità degli edifici, anche se solo dal punto di vista energetico; molti degli interventi riguardano l'aumento dell'isolamento degli elementi edilizi, la sostituzione di finestre, porte e impianti termici: la circolarità può essere fatta rientrare in tutti questi interventi attraverso le strategie di circolarità individuate nelle sezioni precedenti di questo rapporto.

Ad esempio:

- la rimozione degli elementi esistenti deve essere effettuata con attenzione, per garantire una facile separazione e, ove possibile, il riciclaggio;
- nell'installazione dei pacchetti di isolamento, si può optare per soluzioni che prevedono una separazione facilitata;
- la preferenza dovrebbe essere data agli impianti con fonti di energia rinnovabili;
- la scelta di materiali dovrebbe preferire quelli per i quali è prevista la certificazione ambientale o che sono prodotti con materiale riutilizzato o riciclato.

Restano valide tutte le strategie individuate nel Capitolo 2 per l'intera filiera: nel caso di interventi edilizi consistenti, come si è notato essere quelli su edifici degli anni precedenti agli anni '80, cioè gran parte degli edifici esistenti, la supply chain dovrà essere seguito a partire dalla fase di fine vita e a cascata attraverso quelle successive.

CAP. 5 - LACUNE NELLE BEST PRACTICES DEI PROGETTI COMUNITARI

Per una maggiore completezza nel fornire una panoramica di come il paradigma circolare sia attualmente tradotto all'interno del settore delle costruzioni, accanto alla ricerca bibliografica è stata condotta un'analisi dei progetti, in corso o conclusi nell'ultimo decennio, che, a livello europeo, hanno avuto o hanno come obiettivo la circolarità degli edifici e, in generale, della filiera delle costruzioni. Questa si ritiene utile per identificare per quali best practice ci siano ancora dei gap, a livello europeo ma anche transfrontaliero, nella ricerca e nella sperimentazione.

5.1 - RICERCA SUI PROGETTI DI ECONOMIA CIRCOLARE

Una prima ricerca è stata effettuata sulla banca dati CORDIS, che raccoglie tutti i progetti di ricerca e sviluppo dell'UE: per i programmi FP7, Horizon 2020 e Horizon Europe, sono state consultate le pagine dei progetti che soddisfacevano i filtri applicati per la ricerca, come in Figura 25, e ne sono stati selezionati 38 su oltre 4400.

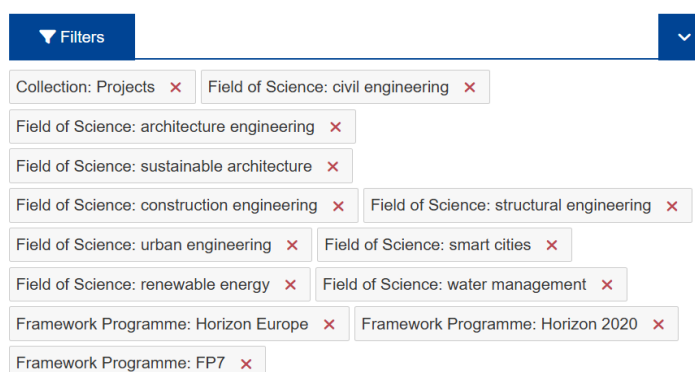


Figura 25 : Filtri applicati per la ricerca nel database Cordis

Una seconda fase della ricerca ha riguardato i progetti Interreg: sono state consultate le pagine di tutti gli 86 programmi finanziati dall'UE e, tra questi, sono stati selezionati i progetti che si sono concentrati, o si stanno attualmente concentrando, sul settore delle costruzioni e sulle possibilità di ridurre l'impatto in termini di consumo di risorse e produzione di rifiuti ed emissioni per la circolarità economica del settore; in totale, sono stati selezionati 20 progetti rilevanti per la ricerca.

La Tabella 2 mostra, per ogni programma europeo campionato, il numero di progetti incentrati sull'applicazione dei principi di circolarità nel settore delle costruzioni.

In totale, i progetti ritenuti interessanti perché incentrati sull'introduzione del paradigma circolare nel settore delle costruzioni sono stati 58; dopo aver consultato i siti web dedicati, per ognuno di essi sono stati raccolti i seguenti dati rilevanti:

Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

- Lo stato di avanzamento del progetto, ovvero se sia in corso o già completato, in modo da identificare le tendenze nello studio dell'argomento CE;
- Il Paese di origine del Leader Partner, nonché la presenza tra gli altri partner di enti pubblici o privati, università, centri di ricerca o imprese appartenenti al territorio italiano e/o sloveno;
- Gli obiettivi, al fine di associare a ciascun progetto, la best practice di riferimento tra quelle 15 di circolarità individuate al capitolo 3, nonché eventuali altre coinvolte anche solo parzialmente.

Tabella 2: Progetti UE sulla circolarità degli edifici per programma

Programma	N. progetti CE	Progetti
FP7	0	
Horizon 2020	23	INNOFIXX [96]; OptArch [97]; HISER [98]; SUNRISE [99]; Ramp-PV [100]; ReCreate [101]; MOGU floor [102]; RE_CREATE [103]; DRIVE 0 [104]; RE-CREATE [105]; PVadapt [106]; ICEBERG [107]; BIMcert [108]; HEART [109]; BIM-SPEED [110]; BIMERR [111]; BUS-GoCircular [112]; iclimabuilt [113]; PLUG-N-HARVEST [114]; REBECCA [115]; IDEAS [116]; BIPVBOOST [117]; HOUSEFUL [118]
Horizon Europe	15	FibReLoop [119]; RENplusHOMES [120]; CIRCULess [121]; SUM4Re [122]; INBUILT [123]; TIMBERHAUS [124]; WoodStock [125]; GreeNest [126]; Demo-Blog [127]; DISCOVER [128]; RECONMATIC [129]; CIRCOFIN [130]; EASI ZERo [131]; Exploit4InnoMat [132]; MASS-IPV [133]
Interreg Reno alpino-Lago di Costanza-Alto Reno	0	
Interreg Aurora	0	
Interreg Regione del Mar Baltico	0	
Interreg Europa centrale	1	ReBuilt [134]
Interreg Regione del Danubio	1	CircularDigiBuild [135]
Interreg Europa	4	KARMA [136]; CONDREFF [137]; ZEROCO2 [138]; MonitorEE [139]
Interreg Francia - Italia ALCOTRA	0	
Interreg Francia - Vallonia - Vlaanderen	1	RENVERSC [140]
Interreg Grande Région	0	
Interreg IPA ADRION	0	
Interreg IPA CBC Italia - Albania - Montenegro	1	ENEA [141]
Interreg IPA Croazia - Bosnia-Erzegovina - Montenegro	1	CrossWaste [142]
Interreg Italia - Osterreich	1	ATTENTION [143]
Interreg Italia - Francia (Marittimo)	1	CIRCULA [144]
Interreg Italia - Slovenia	1	Circular.Buildings [145]
Interreg Mare del Nord	3	BBoBB [146]; CircleBIM [147]; CTB [148]
Interreg Europa nord-occidentale	4	CHARM [149]; PREUSE [150]; CIRCULAR RENO [151]; DDC [152]
Interreg Sudoe	0	
Interreg Vlaanderen-Nederland	1	Learning network of biobuilders [153]

Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

Le informazioni di interesse sono state raccolte nella tabella di Figura 26; si noti che i colori sono stati associati in questo modo:

- Il verde evidenzia i progetti in cui uno dei partner è **italiano**;
- In azzurro sono evidenziati i progetti in cui uno dei partner proviene **dalla Slovenia**;
- In arancione sono evidenziati i progetti in cui sono presenti **sia partner italiani che sloveni**.

Le ultime due colonne sono dedicate alle lettere identificative delle best practice, così come assegnate alle loro descrizioni nella sezione precedente; nella colonna dedicata alle "altre pratiche" sono elencate tutte le strategie emerse nell'analisi del progetto, indipendentemente dalla rilevanza attribuita loro rispetto alle altre: questa scelta è stata fatta al fine di individuare un quadro generale di dove sia più o meno indirizzato l'interesse degli stakeholder per la circolarità nel settore delle costruzioni.

Successivamente, è stata elaborata la tabella in Figura 27 per effettuare un'analisi di *co-occurrence* tra le best practices, al fine di comprendere come vengono interpretate le relazioni tra le diverse strategie in contesti più pratici come i progetti, rispetto alle numerose intersezioni che compaiono in letteratura, complesse da analizzare in modo esaustivo. La tabella è costruita ponendo sull'asse verticale la best practice riconosciuta come focus del progetto, mentre sull'asse orizzontale sono assegnate le altre citate nel progetto; la legenda dei colori è la stessa utilizzata per la Figura 26. Osservando la matrice che si è formata, si notano le combinazioni delle pratiche più comuni, da cui si comprende che nell'applicazione di una è importante implementare anche l'altra per massimizzare la circolarità; in primo luogo, è rilevante il legame tra la circolarità dei materiali e l'utilizzo di materiali *bio-based*: questa relazione era attesa in quanto con il primo principio si intende favorire la circolazione dei materiali nel ciclo tecnico, mentre con il secondo il ciclo biologico (es. [105], [123], [124]), cioè i due percorsi che possono essere seguiti per i principi dell'economia circolare. Per la circolazione continua dei materiali nel ciclo tecnico, appare cruciale l'uso di tecnologie digitali per conoscerne il corso di vita o per monitorarne le prestazioni, come l'uso della modellazione BIM o di sensori (es. [97], [98]) ma anche la partecipazione a banche dati e piattaforme collaborative (es. [106], [142]) per vendere e acquistare materiali riutilizzabili.

Nella progettazione efficiente dal punto di vista dei materiali, si ricorre anche all'uso di tecnologie digitali, come l'utilizzo di software per la progettazione o lo stampaggio in 3D per ridurre al minimo gli sprechi (ad esempio [96], [128]).

L'ultima correlazione rilevante, e prevista, è quella tra la progettazione per l'efficienza energetica e l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili: questi due aspetti sono infatti molto spesso considerati insieme, in quanto è ormai opinione diffusa che il fabbisogno energetico, una volta ridotto al minimo, debba essere coperto il più possibile attraverso, ad esempio, la produzione fotovoltaica; in questi progetti (ad esempio [115], [116]) viene data grande importanza proprio ai moduli fotovoltaici e alla possibilità di integrarli in modo intensivo negli edifici.

Code	Project title	Programme	Status	Coordinator's country	Focus Best Practice	Other practices
INNOFFXX	Development of a high quality stainless steel dowel for easy renovation and construction in facades, thermal insulation and solar panels sub-sectors	Horizon 2020	Completed - Aug.2017	Germany	A	B, E
OptArch	Optimization Driven Architectural Design of Structures	Horizon 2020	Completed - Jan.2020	Greece	A	H
KARMA	Circular Economy in the Construction Sector - Acting Today for a Better Future	Interreg Europe	Ongoing	Germany	A	B, H, I
HISER	Holistic Innovative Solutions for an Efficient Recycling and Recovery of Valuable Raw Materials from Complex Construction and Demolition Waste	Horizon 2020	Completed - Jan.2019	Spain	B	D, H, K
CHARM	Circular Housing Asset Renovation & Management	Interreg North-West Europe	Completed - Jan.2024	Netherlands	B	C
CONDEREFF	Construction & demolition waste management policies for improved resource efficiency	Interreg Europe	Completed - May.2023	Spain	B	
SUNRISE	MultiSensor sorting tools in a circular economy approach for the efficient recycling of PVB interlayer material in high-quality products from laminated glass construction and demolition waste	Horizon 2020	Completed - Nov.2024	Spain	B	H
Ramp-PV	Raw material up-cycling for circular PV	Horizon 2020	Completed - Oct.2022	France	B	M
ReCreate	Reusing precast concrete for a circular economy	Horizon 2020	Ongoing	Finland	B	
FibReLoop	Closing the fibre-reinforced composites loop: recycling materials for recycled components	Horizon Europe	Ongoing	Italy	B	
RENplusHOMES	Renewable Energy-based Positive Homes	Horizon Europe	Ongoing	Italy	B	H, I, L, M
CIRCULess	UpCycling mineral and timber-based waste from Construction & manufacturing process industries through eco-design, advanced logistics, quality control and digital solutions	Horizon Europe	Ongoing	Norway	B	C, J
SUMARe	Creating materials banks from digital urban mining	Horizon Europe	Ongoing	Spain	B	H
CrossWaste	Enhancing Cross-Border Waste Management through Sustainable Practices	Interreg IPA Croatia - Bosnia and Herzegovina - Montenegro	Ongoing	Croatia	B	
PREUSE	Public Responses to Enable the Use of Salvaged building Elements	Interreg North-West Europe	Ongoing	Belgium	B	I
Learning network of biobuilders	Ecological construction with new materials (such as bio composites) by means of energy-efficient technologies can make a major contribution to climate objectives and at the same time stimulate the local economy	Interreg Vlaanderen-Nederland	Completed - Dec.2022	Netherlands	C	D
MOGLI floor	Natural-Grown Flooring for Circular Buildings	Horizon 2020	Completed - Mar.2021	Italy	C	B
RE_CREATE	Eco-innovative building products for sustainable construction	Horizon 2020	Completed - Sep.2019	Israel	C	F
INBUILT	Innovative bio/geo-sourced, re-used and recycled Products coupled with BIM-based digital platform for very low carbon construction, circular economy, energy and resource efficiency	Horizon Europe	Ongoing	France	C	B, D, H
TIMBERHAUS	Climate-smart, circular, and sustainable solutions for use of wood in the construction sector	Horizon Europe	Ongoing	Denmark	C	B, H
WoodStock	Empowering climate-smart, circular, and zero-waste use of underutilized wood from the forest and building stock in the construction sector to support the New European Bauhaus	Horizon Europe	Ongoing	Belgium	C	B
BBoBB	Building Based on Biobased	Interreg North Sea	Ongoing	Netherlands	C	
CIRCULAR RENO	Developing biobased & recycled / reused material solutions for retrofit	Interreg North-West Europe	Ongoing	Netherlands	C	L
DRIVE 0	Driving decarbonization of the EU building stock by enhancing a consumer centred and locally based circular renovation process	Horizon 2020	Completed - Dec.2023	Netherlands	D	A, H
RE-CREATE	Eco-innovative building products for sustainable construction in a circular economy	Horizon 2020	Completed - Jun.2022	Israel	D	B, C, L
Greenest	NEST InGrained ecosystem for zero Emission buildings	Horizon Europe	Ongoing	Greece	D	
DDC	Digital Deconstruction - Advanced Digital Solutions Supporting Reuse and High-Quality Recycling of Building Materials	Interreg North-West Europe	Completed - Sep.2023	Netherlands	E	B, H
PVadapt	Prefabrication, Recyclability and Modularity for cost reductions in Smart BIPV systems	Horizon 2020	Completed - Mar.2022	Belgium	F	A, B, M
ICEBERG	Innovative Circular Economy Based solutions demonstrating the Efficient recovery of valuable material Resources from the Generation of representative End-of-Life building materials	Horizon 2020	Completed - Apr.2024	Spain	H	B, I
BIMcert	BIMcert - 1. Construction skills, 2. Energy efficiency, 3. Regulating supply chains, 4. Tackling climate change	Horizon 2020	Completed - Jan.2020	United Kingdom	H	
HEART	Holistic Energy and Architectural Retrofit Toolkit	Horizon 2020	Completed - Jul.2022	Italy	H	L
BIM-SPEED	Harmonised Building Information Speedway for Energy-Efficient Renovation	Horizon 2020	Completed - Oct.2022	Germany	H	L
BIMERR	BIM-based holistic tools for Energy-driven Renovation of existing Residences	Horizon 2020	Completed - Sep.2022	Germany	H	L
Demo-Blog	Development and Demonstration of Digital Building Logbooks	Horizon Europe	Ongoing	Netherlands	H	
DISCOVER	Digital, autonomous, Intelligent and Synchronous system for Continuous identification, Optimization and Value Extraction of Resources from the end-of-use built environment	Horizon Europe	Ongoing	Spain	H	E
RECONMATIC	Automated solutions for sustainable and circular construction and demolition waste management	Horizon Europe	Ongoing	Czech Republic	H	A, B, I
ReBuilt	Circular and digital renewal of central Europe construction and building sector	Interreg Central Europe	Ongoing	Slovenia	H	C, I, J
CircularDigiBuild	Boosting the uptake of emerging technologies in circular economy implementation in construction and buildings industry in Danube region to sustainably harness the twin transition for greener future	Interreg Danube Region	Ongoing	Bulgaria	H	
CircleBIM	Public Sector Innovation with BIM for a more circular construction sector	Interreg North Sea	Ongoing	Germany	H	
CIRCOPFN	Circular Construction Finance	Horizon Europe	Ongoing	Spain	I	B, H
ATTENTION	The aim of the ATTENTION project is to promote the circular economy in construction by identifying the needs and expectations of innovative tools/services for SMEs. It will develop a cross-border catalogue of affordable services and tools and create a HUB network that will provide specialised services and support to companies and support sustainable innovation in the building value chain.	Interreg Italia - Osterreich	Ongoing	Italy	I	
CIRCULA	Rafforzamento delle competenze a supporto dei modelli di economia circolare e lo scambio di buone pratiche per le imprese della filiera mediterranea dell'edilizia sostenibile	Interreg Italy - France (Maritime)	Ongoing	Italy	I	
Circular Buildings	A greener, low-carbon transitioning towards a net zero carbon economy and resilient Europe by promoting clean and fair energy transition, green and blue investment, the circular economy, climate change mitigation and adaptation and risk prevention and management.	Interreg Italy - Slovenia	Ongoing	Italy	I	
CTB	Circular Trust Building - Promoting the transition to a circular, resource-efficient economy in the building sector.	Interreg North Sea	Ongoing	Netherlands	I	B
ZEROCO2	Promotion of near zero CO2 emission buildings due to energy use	Interreg Europe	Completed - Mar.2020	Slovenia	L	M
ENEA	EEnergy Efficiency Living Lab	Interreg IPA CBC Italy - Albania - Montenegro	Completed - 2021	Italy	L	I
BUS-GoCircular	Stimulate demand for sustainable energy skills with circularity as a driver and multifunctional green use of roofs, facades and interior elements as focus.	Horizon 2020	Completed - Feb.2024	Netherlands	L	
iclimabuilt	Functional and advanced insulating and energy harvesting/storage materials across climate adaptive building envelopes	Horizon 2020	Completed - Feb.2025	Greece	L	
PLUG-N-HARVEST	PLUG-N-play passive and active multi-modal energy HARVESTing systems, circular economy by design, with high replicability for Self-sufficient Districts Near-Zero Buildings	Horizon 2020	Completed - Nov.2022	Greece	L	M
REBECCA	Renovating the Existing Buildings Environment through the Combination of Circular economy and the Add-ons' strategy	Horizon 2020	Ongoing	Germany	L	
EASI ZERO	Envelope Material System with low Impact for Zero Energy buildings and Renovation	Horizon Europe	Ongoing	France	L	B, C, D
Exploit4InnoMat	An Open Innovation Ecosystem for exploitation of materials for building envelopes towards zero energy buildings	Horizon Europe	Ongoing	Greece	L	H
MonitorEE	Improving energy efficiency through smarter management systems	Interreg Europe	Ongoing	Spain	L	I
RENVERSC	Efficient Renovation towards Circularity	Interreg France - Wallonie - Vlaanderen	Ongoing	Belgium	L	I
IDEAS	Novel building Integration Designs for increased Efficiencies in Advanced Climatically Tunable Renewable Energy Systems	Horizon 2020	Completed - Apr.2023	Ireland	M	L
BIPVBOOST	Bringing down costs of BIPV multifunctional solutions and processes along the value chain, enabling widespread rZEBs implementation	Horizon 2020	Completed - May.2023	Spain	M	L
MASS-IPV	Enabling Massive Integration of PV into Buildings and Infrastructure	Horizon Europe	Ongoing	Germany	M	
HOUSEFUL	Innovative circular solutions and services for new business opportunities in the EU housing sector	Horizon 2020	Completed - Apr.2023	Spain	O	B, H, K, L, N

Figura 26 : Database dei progetti CE selezionati

Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinanzia Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

Form Best Practices	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
A		INNOFIX; KARMA			INNOFIX			OptiArch; KARMA	KARMA						
B		CONDEREFF; ReCreate; FibreLoop; CrossWaste	CHARM; CIRCULess	HISER				HISER; SUNRISE; RENplusHOMES; SUM4Re	RENplusHOMES; PREUSE	CIRCULess	HISER	RENplusHOMES	Ramp-PV; RENplusHOMES		
C		MOGLU floor; INBUILT; TIMBERHAUS; WoodStock	BloBB	Learning network of biobuilders; INBUILT		RE_CREATE		INBUILT; TIMBERHAUS				CIRCULAR RENO			
D	DRIVE 0	RE_CREATE	RE_CREATE	GreenNet				DRIVE 0				RE_CREATE			
E		DDC						DDC							
F	PVadapt	PVadapt											PVadapt		
G															
H	RECONMATIC	ICEBERG; RECONMATIC	ReBuilt		DISCOVER			BIMcert; Demo- Blog; CircularDigiBuild							
I		CIRCOFIN; CTB						CIRCOFIN	ATTENTION; CIRCULA; Circular.Buildings						
J															
K															
L		EASI ZERO	EASI ZERO	EASI ZERO				ExploitdInnoMat	ENEa; MonitorEE; REVERSC			BUS-GoCircular; IdInnoBuild; REBECCA	ZEROCOD; PLUG N-HARVEST		
M													MASS-IPV		
N															
O		HOUSEFUL						HOUSEFUL			HOUSEFUL	HOUSEFUL		HOUSEFUL	

Figura 27 : Matrice dei progetti di co-occurrence

Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

5.2 - LACUNE NELLE BEST PRACTICES

Un'ultima analisi dei progetti europei si è concentrata su quelli in cui sono coinvolti partner italiani e/o sloveni: sebbene l'unico modo per evidenziare le effettive lacune nella transizione circolare sia quello di raccogliere le opinioni e le esperienze degli stakeholder del settore, lo studio dei progetti può essere utilizzato per individuare quali aspetti della circolarità applicabili all'edilizia siano più o meno interessanti per i gruppi di studio, le aziende e gli enti direttamente coinvolti. Per fare ciò, è stata creata la tabella della Figura 28 in cui, per ognuna delle 15 best practices individuate nel Capitolo 3, i progetti comunitari sulla CE sono stati collocati in tre colonne rispettivamente per la presenza di partner italiani, sloveni o di entrambi; in rosso sono scritti i progetti per i quali la best practice della riga corrispondente è il focus, mentre in grigio gli altri in cui è di secondaria importanza.

↓ Focus Best Practice	ITALY	SLOVENIA	ITALY-SLOVENIA	TOTAL N. OF PROJECTS FOR EACH BP
A	OptArch; KARMA; Pvadapt; RECONMATIC		DRIVE0	5
B	CONDERRF; FibReLoop; HISER; RENplusHOMES; SUNRISE; KARMA; MOGUfloor; TIMBERHAUS; Pvadapt; ICEBERG; RECONMATIC; EASI ZERO; HOUSEFUL	WoodStock		14
C	MOGU floor; TIMBERHAUS	WoodStock	ReBuilt	4
D	GreeNest; EASI ZERO		DRIVE 0	4
E				0
F	Pvadapt			1
G				0
H	ICEBERG; RECONMATIC; OptArch; KARMA; HISER; SUNRISE; RENplusHOMES; TIMBERHAUS; Exploit4InnoMat; HOUSEFUL	CircularDigiBuild	ReBuilt; DRIVE 0	13
I	ATTENTION; KARMA; RENplusHOMES; ENEA		Circular.Buildings	5
J				0
K	HISER; HOUSEFUL			2
L	EASI ZERO; ENEA; Exploit4InnoMat; iclimabuilt; RENplusHOMES; IDEAS; BIPVBOOST; HOUSEFUL		ZEROCO2	9
M	BIPVBOOST; IDEAS; MASS-IPV; RENplusHOMES; Pvadapt		ZEROCO2	6
N	HOUSEFUL			1
O	HOUSEFUL			1

Figura 28 : Progetti con partner italiani/sloveni per Best Practice

Contando il numero totale di voci per ogni riga, si è ottenuta una quantificazione del numero di progetti con partner transfrontalieri in cui viene riconosciuta l'importanza della best practice in questione. È evidente che l'attenzione si concentra prevalentemente sulla circolarità dei materiali (B) e sull'uso delle tecnologie digitali (H) all'interno dei progetti: queste due pratiche erano anche tra le più riconosciute in letteratura, quindi il dato è in linea con quanto ci si aspettava.

La stessa osservazione vale anche per la terza pratica coinvolta in più di un progetto, ovvero la progettazione per l'efficienza energetica (L): nel precedente capitolo di analisi del patrimonio edilizio transfrontaliero è già stata abbondantemente affrontata la necessità di riqualificare energeticamente gli edifici esistenti in Italia e Slovenia, per cui la partecipazione a progetti volti a individuare nuove soluzioni circolari per questi interventi è rassicurante.

Un moderato interesse è rivolto alle pratiche che coinvolgono direttamente la limitazione dell'uso di materiali vergini e la minimizzazione dell'impatto ambientale legato alla produzione e allo smaltimento dei materiali, a partire da una progettazione efficiente dal punto di vista dei materiali (A); tra i materiali *bio-based* (C), l'attenzione, soprattutto in Slovenia, è rivolta al legno, di cui sono riconosciute le qualità ambientali oltre che strutturali: vista l'ampia disponibilità del materiale nel contesto transfrontaliero, questa pratica si mescola con il principio dell'uso di materiali locali, che rientra nella pratica D, ovvero l'uso di materiali a basso impatto, che a sua volta appare di interesse transfrontaliero.

Di parziale interesse è anche la creazione e la partecipazione a piattaforme per la circolarità (I): tra queste vi è il progetto a cui stiamo lavorando, Circular.Buildings, che si pone l'obiettivo di creare nuove opportunità per gli stakeholder transfrontalieri, e allo stesso tempo può diventare un esempio da emulare per altri contesti europei.

Mentre per la circolarità dell'energia sia la pratica della progettazione per l'efficienza energetica (L) che quella dell'introduzione di fonti energetiche rinnovabili (M) sono affrontate in numerosi progetti, la circolarità dell'acqua negli edifici (N) è praticamente trascurata nei progetti europei; la buona pratica della gestione delle risorse idriche è parzialmente coinvolta nel progetto HOUSEFUL [118], l'unico in cui l'obiettivo è migliorare la circolarità degli edifici attraverso l'uso di un sistema di quantificazione della circolarità e della sostenibilità dell'edificio, in tutti i suoi aspetti. Lo stesso progetto è anche uno dei due che pone l'accento sull'integrazione della valutazione del ciclo di vita (K) per effettuare scelte progettuali consapevoli per la circolarità. Correlato allo scarso interesse per l'LCA è anche lo scarso interesse per la redazione e l'utilizzo delle certificazioni di prodotto (J): si è già detto che queste possono solo contribuire a migliorare la circolarità dei materiali, che comunque è apparsa un tema diffuso nei progetti europei, per cui esplorarne l'utilizzo non può che portare benefici.

Infine, praticamente nessun progetto si occupa di tecniche di progettazione circolare, ovvero *Design for Disassembly* (E), *Design for Adaptability* (F) e *Design for Durability* (G): questo risultato

era prevedibile, in quanto la transizione dell'approccio progettuale da tradizionale a circolare richiede uno sforzo e una formazione molto maggiori rispetto a quelli necessari per integrare le altre pratiche di circolarità nella filiera delle costruzioni. Tuttavia, proprio per la difficoltà di avvicinare gli stakeholder a questa pratica, sarebbe utile che ci fossero progetti UE che offrano una guida o un esempio da emulare per i progettisti del settore.

In sintesi, dei 58 progetti nell'area UE, 30 coinvolgono partner transfrontalieri: questo significa che c'è un interesse per la transizione circolare del settore, ma questo, come abbiamo visto, si concentra su alcuni aspetti, trascurandone altri che pure sono necessari per l'implementazione di pratiche già più ampiamente riconosciute per la loro validità.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] A. Aljaber, P. Martinez-Vazquez, and C. Baniotopoulos, 'Barriers and Enablers to the Adoption of Circular Economy Concept in the Building Sector: A Systematic Literature Review', *Buildings*, vol. 13, no. 11, 2023, doi: 10.3390/buildings13112778.
- [2] N. Ranasinghe, N. Domingo, and R. Kahandawa, 'Enhancing building material circularity: A systematic review on prerequisites, obstacles and the critical role of data traceability', *Journal of Building Engineering*, vol. 98, 2024, doi: 10.1016/j.jobe.2024.111136.
- [3] C. Illankoon and S. C. Vithanage, 'Closing the loop in the construction industry: A systematic literature review on the development of circular economy', *Journal of Building Engineering*, vol. 76, 2023, doi: 10.1016/j.jobe.2023.107362.
- [4] N. Khadim and A. van Marrewijk, 'Circles of profit: A conceptual framework for economic and financial aspects in circular construction', *Sustainable Production and Consumption*, vol. 55, pp. 444–457, 2025, doi: 10.1016/j.spc.2025.03.007.
- [5] 'Ellen MacArthur Foundation'. Accessed: Dec. 16, 2025. [Online]. Available: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- [6] N. G. Akhimien, E. Latif, and S. S. Hou, 'Application of circular economy principles in buildings: A systematic review', *Journal of Building Engineering*, vol. 38, p. 102041, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.jobe.2020.102041.
- [7] C. Zhang, M. Hu, F. Di Maio, B. Sprecher, X. Yang, and A. Tukker, 'An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe', *Science of The Total Environment*, vol. 803, p. 149892, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149892.
- [8] Q. Chen, H. Feng, and B. Garcia de Soto, 'Revamping construction supply chain processes with circular economy strategies: A systematic literature review', *Journal of Cleaner Production*, vol. 335, 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.130240.
- [9] B. Kubbinga, M. Bamberger, E. van Noort, and D. van den Reek, 'A framework for circular buildings', 2018.
- [10] M. B. Shishegharkhaneh, R. C. Moehler, and S. F. Moradina, 'Blockchain in the Construction Industry between 2016 and 2022: A Review, Bibliometric, and Network Analysis', *Smart Cities*, vol. 6, no. 2, pp. 819–845, 2023, doi: 10.3390/smartcities6020040.
- [11] G. Foster, 'Circular economy strategies for adaptive reuse of cultural heritage buildings to reduce environmental impacts', *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 152, 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104507.
- [12] S. Jayakodi, S. Senaratne, S. Perera, and K. Bamdad, 'Circular economy assessment using project-level and organisation-level indicators for construction organisations: A systematic review', *Sustainable Production and Consumption*, vol. 48, pp. 324–338, 2024, doi: 10.1016/j.spc.2024.05.025.

- [13] L. Ding, T. Wang, and P. W. Chan, 'Forward and reverse logistics for circular economy in construction: A systematic literature review', *Journal of Cleaner Production*, vol. 388, 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.135981.
- [14] I. Y. Wuni, 'A systematic review of the critical success factors for implementing circular economy in construction projects', *Sustainable Development*, vol. 31, no. 3, pp. 1195–1213, 2023, doi: 10.1002/sd.2449.
- [15] X. Chen, D. Qiu, and Y. Chen, 'Reverse Logistics in the Construction Industry: Status Quo, Challenges and Opportunities', *Buildings*, vol. 14, no. 6, 2024, doi: 10.3390/buildings14061850.
- [16] M. A. Adabre, A. P. C. Chan, A. Darko, and M. R. Hosseini, 'Facilitating a transition to a circular economy in construction projects: intermediate theoretical models based on the theory of planned behaviour', *Building Research and Information*, vol. 51, no. 1, pp. 85–104, 2023, doi: 10.1080/09613218.2022.2067111.
- [17] M. K. C. S. Wijewickrama, R. Rameezdeen, and N. Chileshe, 'Information brokerage for circular economy in the construction industry: A systematic literature review', *Journal of Cleaner Production*, vol. 313, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127938.
- [18] J. Köhler, F. Fredshavn Nielsen, J. Verstermark, and C. Thuesen, 'Recirculation of construction and demolition Waste: A case study of Danish producers and demolishers', *Cleaner Materials*, vol. 14, 2024, doi: 10.1016/j.clema.2024.100276.
- [19] G. Cai and D. Waldmann, 'A material and component bank to facilitate material recycling and component reuse for a sustainable construction: concept and preliminary study.', *Clean Technologies & Environmental Policy*, vol. 21, no. 10, pp. 2015–2032, 2019.
- [20] I. Y. Wuni and G. Q. Shen, 'Developing critical success factors for integrating circular economy into modular construction projects in Hong Kong', *Sustainable Production and Consumption*, vol. 29, pp. 574–587, 2022, doi: 10.1016/j.spc.2021.11.010.
- [21] Ö. Çimen, 'Construction and built environment in circular economy: A comprehensive literature review', *Journal of Cleaner Production*, vol. 305, p. 127180, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127180.
- [22] R. E. Hjaltadóttir and P. Hild, 'Circular Economy in the building industry European policy and local practices', *European Planning Studies*, vol. 29, no. 12, pp. 2226–2251, 2021, doi: 10.1080/09654313.2021.1904838.
- [23] P. Santos *et al.*, 'Circular Material Usage Strategies and Principles in Buildings: A Review', *Buildings*, vol. 14, no. 1, 2024, doi: 10.3390/buildings14010281.
- [24] G. Hubmann and V. Van Maaren, 'Circular Practices in Construction', presented at the Journal of Physics: Conference Series, 2023. doi: 10.1088/1742-6596/2600/19/192017.
- [25] M. R. Munaro, S. F. Tavares, and L. Bragança, 'Towards circular and more sustainable buildings: A systematic literature review on the circular economy in the built environment', *Journal of Cleaner Production*, vol. 260, p. 121134, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121134.
- [26] B. Homiński, F. Suchoń, K. Wawrzekiewicz, and E. Woźniak-Szpakiewicz, 'Architectural and Configurational Study of Senior Housing with Steel Volumetric Modular Technology:

Towards Age-Ready and Process-Efficient Sustainable Living', *Sustainability (Switzerland)*, vol. 16, no. 8, 2024, doi: 10.3390/su16083237.

- [27] J.-L. Gálvez-Martos, D. Styles, H. Schoenberger, and B. Zeschmar-Lahl, 'Construction and demolition waste best management practice in Europe', *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 136, pp. 166–178, 2018, doi: 10.1016/j.resconrec.2018.04.016.
- [28] S. M. Saradara, M. M. A. Khalfan, S. V. Jaya, V. Swarnakar, A. Rauf, and M. El Fadel, 'Advancing building construction: A novel conceptual framework integrating circularity with modified lean project delivery systems', *Developments in the Built Environment*, vol. 20, p. 100531, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.dibe.2024.100531.
- [29] P. Villoria Sáez and M. del Río Merino, 'Procedure for Waste Prevention and Management to Implement Best Practices in the Design and Construction of a Building', in *Springer Tracts in Civil Engineering*, vol. Part F1844, 2024, pp. 15–24. doi: 10.1007/978-3-031-45980-1_2.
- [30] K. Knoth, S. M. Fufa, and E. Seilskjær, 'Barriers, success factors, and perspectives for the reuse of construction products in Norway', *Journal of Cleaner Production*, vol. 337, p. 130494, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.130494.
- [31] S. Giorgi, M. Lavagna, and A. Campioli, 'Circular economy and regeneration of building stock in the Italian context: Policies, partnership and tools', presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019. doi: 10.1088/1755-1315/225/1/012065.
- [32] T. B. Christensen, M. R. Johansen, M. V. Buchard, and C. N. Glarborg, 'Closing the material loops for construction and demolition waste: The circular economy on the island Bornholm, Denmark', *Resources, Conservation & Recycling Advances*, vol. 15, p. 200104, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.rcradv.2022.200104.
- [33] A. T. Gebremariam *et al.*, 'Comprehensive study on the most sustainable concrete design made of recycled concrete, glass and mineral wool from C&D wastes', *Construction and Building Materials*, vol. 273, p. 121697, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121697.
- [34] I. Papamichael, I. Voukkali, P. Loizia, and A. A. Zorpas, 'Construction and demolition waste framework of circular economy: A mini review', *Waste Management and Research*, vol. 41, no. 12, pp. 1728–1740, 2023, doi: 10.1177/0734242X231190804.
- [35] A. Luciano, L. Cutaia, P. Altamura, and E. Penalvo, 'Critical issues hindering a widespread construction and demolition waste (CDW) recycling practice in EU countries and actions to undertake: The stakeholder's perspective', *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, vol. 29, p. 100745, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.scp.2022.100745.
- [36] M. Condotta and E. Zatta, 'Reuse of building elements in the architectural practice and the European regulatory context: Inconsistencies and possible improvements', *Journal of Cleaner Production*, vol. 318, p. 128413, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128413.
- [37] H. Martin, D. Chebrolu, A. Chadee, and T. Brooks, 'Too good to waste: Examining circular economy opportunities, barriers, and indicators for sustainable construction and demolition waste management', *Sustainable Production and Consumption*, vol. 48, pp. 460–480, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.spc.2024.05.026.

- [38] M. Kitek Kuzman *et al.*, 'Architectural Perspectives on Wood Reuse within Circular Construction: A South-Central European Study', *Buildings*, vol. 14, no. 3, 2024, doi: 10.3390/buildings14030560.
- [39] M. Sutkowska, A. Stefańska, M. D. Vaverkova, S. Dixit, and A. Thakur, 'Recent advances in prefabrication techniques for biobased materials towards a low-carbon future: From modules to sustainability', *Journal of Building Engineering*, vol. 91, p. 109558, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.jobe.2024.109558.
- [40] G. Dokter, L. Thuvander, and U. Rahe, 'How circular is current design practice? Investigating perspectives across industrial design and architecture in the transition towards a circular economy', *Sustainable Production and Consumption*, vol. 26, pp. 692–708, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.spc.2020.12.032.
- [41] S. Barbhuiya and B. B. Das, 'Life Cycle Assessment of construction materials: Methodologies, applications and future directions for sustainable decision-making', *Case Studies in Construction Materials*, vol. 19, p. e02326, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.cscm.2023.e02326.
- [42] A. Antunes, J. Silvestre, H. Costa, R. do Carmo, and E. Júlio, 'Reducing the environmental impact of the end-of-life of buildings depending on interrelated demolition strategies, transport distances and disposal scenarios', *Journal of Building Engineering*, vol. 82, p. 108197, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.jobe.2023.108197.
- [43] G. Finch, G. Marriage, A. Pelosi, and M. Gjerde, 'Building envelope systems for the circular economy; Evaluation parameters, current performance and key challenges', *Sustainable Cities and Society*, vol. 64, p. 102561, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.scs.2020.102561.
- [44] D. Cottafava and M. Ritzen, 'Circularity indicator for residential buildings: Addressing the gap between embodied impacts and design aspects', *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 164, 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2020.105120.
- [45] S. Linton, A. Clarke, and L. Tozer, 'Technical pathways to deep decarbonization in cities: Eight best practice case studies of transformational climate mitigation', *Energy Research & Social Science*, vol. 86, p. 102422, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.erss.2021.102422.
- [46] D. O. Oyejobi, A. A. Firoozi, D. B. Fernández, and S. Avudaiappan, 'Integrating circular economy principles into concrete technology: Enhancing sustainability through industrial waste utilization', *Results in Engineering*, vol. 24, p. 102846, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102846.
- [47] P. Daly, 'A critical review of circularity - "design for disassembly" assessment methods applied in the development of modular construction panels - an Irish case study', *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 5, p. 100252, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.prime.2023.100252.
- [48] B. Sanchez and C. Haas, 'A novel selective disassembly sequence planning method for adaptive reuse of buildings', *Journal of Cleaner Production*, vol. 183, pp. 998–1010, May 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.201.
- [49] S. Schaubroeck, R. Dewil, and K. Allacker, 'Circularity of building stocks: modelling building joints and their disassembly in a 3D city model', *Procedia CIRP*, vol. 105, pp. 712–720, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.procir.2022.02.119.

- [50] T. O'Grady, R. Minunno, H.-Y. Chong, and G. M. Morrison, 'Design for disassembly, deconstruction and resilience: A circular economy index for the built environment', *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 175, p. 105847, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105847.
- [51] L. A. Akanbi *et al.*, 'Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) for construction in a circular economy', *Journal of Cleaner Production*, vol. 223, pp. 386–396, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.172.
- [52] S. Attia *et al.*, 'Disassembly calculation criteria and methods for circular construction', *Automation in Construction*, vol. 165, p. 105521, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.autcon.2024.105521.
- [53] I. Amarasinghe, Y. Hong, and R. A. Stewart, 'Visualising a framework for enhancing material circularity in building construction projects: Drivers, barriers, and strategies', *Building and Environment*, vol. 253, p. 111359, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.buildenv.2024.111359.
- [54] T. Josefsson and F. Oliveira, 'Housing life cycle: Extended how to identify, adapt, and re-use existing buildings and their components to support housing', in *The Pedagogies of Re-Use: The International School of Re-Construction*, 2024, pp. 196–206. doi: 10.4324/9781032665559-18.
- [55] C. Cavalliere, G. R. Dell'Osso, F. Favia, and M. Lovicario, 'BIM-based assessment metrics for the functional flexibility of building designs', *Automation in Construction*, vol. 107, p. 102925, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.102925.
- [56] M. Sánchez-Silva *et al.*, 'Moving toward resilience and sustainability in the built environment', *Structural Safety*, p. 102449, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.strusafe.2024.102449.
- [57] A. Hauashdh, S. Nagapan, J. Jailani, and Y. Gamil, 'An integrated framework for sustainable and efficient building maintenance operations aligning with climate change, SDGs, and emerging technology', *Results in Engineering*, vol. 21, p. 101822, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.101822.
- [58] S. D. Datta, M. Islam, Md. H. Rahman Sobuz, S. Ahmed, and M. Kar, 'Artificial intelligence and machine learning applications in the project lifecycle of the construction industry: A comprehensive review', *Heliyon*, vol. 10, no. 5, p. e26888, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e26888.
- [59] S. K. Baduge *et al.*, 'Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications', *Automation in Construction*, vol. 141, p. 104440, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2022.104440.
- [60] A. Olumo and C. Haas, 'Building material reuse: An optimization framework for sourcing new and reclaimed building materials', *Journal of Cleaner Production*, vol. 479, p. 143892, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.143892.
- [61] A. Karanafti, N. Trubina, C. Giarma, K. Tsikaloudaki, and T. Theodosiou, 'Integrating BIMs in Construction and Demolition Waste Management for Circularity Enhancement-A Review', presented at the Lecture Notes in Civil Engineering, 2024, pp. 669–678. doi: 10.1007/978-3-031-57800-7_62.

- [62] A. Kuzminykh, J. Granja, M. Parente, and M. Azenha, 'Promoting circularity of construction materials through demolition digitalisation at the preparation stage: Information requirements and openBIM-based technological implementation', *Advanced Engineering Informatics*, vol. 62, 2024, doi: 10.1016/j.aei.2024.102755.
- [63] S. E. Bibri, J. Krogstie, A. Kaboli, and A. Alahi, 'Smarter eco-cities and their leading-edge artificial intelligence of things solutions for environmental sustainability: A comprehensive systematic review', *Environmental Science and Ecotechnology*, vol. 19, p. 100330, May 2024, doi: 10.1016/j.ese.2023.100330.
- [64] A. M. Hassan, Y. T. Negash, and F. Hanum, 'An assessment of barriers to digital transformation in circular Construction: An application of stakeholder theory', *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 15, no. 7, p. 102787, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.asej.2024.102787.
- [65] E. Leising, J. Quist, and N. Bocken, 'Circular Economy in the building sector: Three cases and a collaboration tool', *Journal of Cleaner Production*, vol. 176, pp. 976–989, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.12.010.
- [66] T. Menny, S. Le Guirriec, and C. De Wolf, 'The butterfly matchmaking model for circular construction: Towards a digital matchmaking platform tailored to French policy', *Sustainable Production and Consumption*, vol. 49, pp. 130–143, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.spc.2024.06.011.
- [67] P. H. Evertsen and V. Knotten, 'Toward a collaborative circular ecosystem within the built environment', *Sustainable Production and Consumption*, vol. 52, pp. 95–110, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.spc.2024.10.019.
- [68] R. Kebede, A. Moscati, H. Tan, and P. Johansson, 'A modular ontology modeling approach to developing digital product passports to promote circular economy in the built environment', *Sustainable Production and Consumption*, vol. 48, pp. 248–268, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.spc.2024.05.007.
- [69] A. Bellini, A. Tadayon, B. Andersen, and N. J. Klungseth, 'The role of data when implementing circular strategies in the built environment: A literature review', *Cleaner Environmental Systems*, vol. 13, p. 100183, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.cesys.2024.100183.
- [70] S. Çetin, D. Raghu, M. Honic, A. Straub, and V. Gruis, 'Data requirements and availabilities for material passports: A digitally enabled framework for improving the circularity of existing buildings', *Sustainable Production and Consumption*, vol. 40, pp. 422–437, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.spc.2023.07.011.
- [71] J. Dsilva, S. Zarmukhambetova, and J. Locke, 'Assessment of building materials in the construction sector: A case study using life cycle assessment approach to achieve the circular economy', *Heliyon*, vol. 9, no. 10, p. e20404, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e20404.
- [72] M. Saadé, B. Erradhouani, S. Pawlak, F. Appendino, B. Peupartier, and C. Roux, 'Combining circular and LCA indicators for the early design of urban projects', *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 27, no. 1, 2022, doi: 10.1007/s11367-021-02007-8.
- [73] Md. U. Hossain and S. T. Ng, 'Critical consideration of buildings' environmental impact assessment towards adoption of circular economy: An analytical review', *Journal of Cleaner Production*, vol. 205, pp. 763–780, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.09.120.

- [74] E. Klumbyte *et al.*, 'Enhancing whole building life cycle assessment through building information modelling: Principles and best practices', *Energy and Buildings*, vol. 296, p. 113401, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113401.
- [75] R. Minunno, T. O'Grady, G. M. Morrison, and R. L. Gruner, 'Exploring environmental benefits of reuse and recycle practices: A circular economy case study of a modular building', *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 160, p. 104855, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2020.104855.
- [76] S. Bruhn, R. Sacchi, C. Cimpan, and M. Birkved, 'Ten questions concerning prospective LCA for decision support for the built environment', *Building and Environment*, vol. 242, p. 110535, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.buildenv.2023.110535.
- [77] A. Davis, A. Quintana-Gallardo, N. Martí Audí, and I. Guillén Guillamón, 'The impact of lifespan assumptions in LCA: Comparing the replacement of building parts versus building layers—A housing case study', *Energy and Buildings*, p. 115050, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.enbuild.2024.115050.
- [78] O. Alharasees, U. Kale, J. Rohacs, D. Rohacs, M. A. Eva, and A. Boros, 'Green building energy: Patents analysis and analytical hierarchy process evaluation', *Heliyon*, vol. 10, no. 8, p. e29442, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e29442.
- [79] B. Bartolucci, F. Frasca, and C. Bertolin, 'LCA- and nZER-based methodology for identifying optimal low environmental impact interventions for existing buildings', *Energy for Sustainable Development*, vol. 82, p. 101543, Oct. 2024, doi: 10.1016/j.esd.2024.101543.
- [80] A. Mastrucci *et al.*, 'Modeling Low Energy Demand Futures for Buildings: Current State and Research Needs', *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 48, pp. 761–792, 2023, doi: 10.1146/annurev-environ-112321-102921.
- [81] J. Too, O. A. Ejohwomu, F. K. P. Hui, C. Duffield, O. T. Bukoye, and D. J. Edwards, 'Framework for standardising carbon neutrality in building projects', *Journal of Cleaner Production*, vol. 373, p. 133858, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.133858.
- [82] R. Nyffenegger, Ä. Boukhatmi, T. Radavičius, and M. Tvaronavičienė, 'How circular is the European photovoltaic industry? Practical insights on current circular economy barriers, enablers, and goals', *Journal of Cleaner Production*, vol. 448, p. 141376, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.141376.
- [83] P. Hopkinson, R. De Angelis, and M. Zils, 'Systemic building blocks for creating and capturing value from circular economy', *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 155, p. 104672, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104672.
- [84] N. Dytianquin, J. Gregersen-Hermans, N. Kalogeras, J. Van Oorschot, and M. Ritzen, 'Circularity in Selected EU Countries: The Case of Construction and Demolition Industry', presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021. doi: 10.1088/1755-1315/855/1/012017.
- [85] V. D. Dragomir and M. Dumitru, 'The state of the research on circular economy in the European Union: A bibliometric review', *Cleaner Waste Systems*, vol. 7, p. 100127, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.clwas.2023.100127.
- [86] V. Superti, C. Houmani, and C. R. Binder, 'A systemic framework to categorize Circular Economy interventions: An application to the construction and demolition sector',

Resources, Conservation and Recycling, vol. 173, p. 105711, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105711.

- [87] N. Khadim, R. Agliata, A. Marino, M. J. Thaheem, and L. Mollo, 'Critical review of nano and micro-level building circularity indicators and frameworks', *Journal of Cleaner Production*, vol. 357, p. 131859, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131859.
- [88] S. Garrido, J. Rodríguez-Antón, C. A. F. Amado, S. Santos, and L. C. Dias, 'Development and application of a composite circularity index', *Journal of Environmental Management*, vol. 337, 2023, doi: 10.1016/j.jenvman.2023.117752.
- [89] D. H. Wong, C. Zhang, F. Di Maio, and M. Hu, 'Potential of BREEAM-C to support building circularity assessment: Insights from case study and expert interview', *Journal of Cleaner Production*, vol. 442, p. 140836, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.jclepro.2024.140836.
- [90] A. Aljaber, P. Martinez-Vazquez, and C. Baniotopoulos, 'Towards Circular Building Key Performance Indicators', presented at the Lecture Notes in Civil Engineering, 2024, pp. 414–423. doi: 10.1007/978-3-031-57800-7_38.
- [91] Istat, 'CensimentoPopolazioniAbitazioni'. [Online]. Available: http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx?DataSetCode=DICA_EDIFICI1
- [92] SiStat, 'Buildings, 2002 Census'. Accessed: Apr. 08, 2025. [Online]. Available: <https://pxweb.stat.si/SiStat/en/Podrocja/index/100/population#542>
- [93] Eurostat, 'Distribution of population by degree of urbanisation, dwelling type and income group'. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/457585d4-0baf-4bf0-8fb7-2275c5f599d4?lang=en>
- [94] V. Corrado, I. Ballarini, and S. P. Corgnati, 'National scientific report on the TABULA activities in Italy'.
- [95] M. Š. Zavrl, A. Rakušček, and G. Stegnar, 'National scientific report on the TABULA activities in Slovenia', 2012.
- [96] 'INNOFIXX Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/773315>
- [97] 'OptArch Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/689983>
- [98] 'HISER Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/642085>
- [99] 'SUNRISE Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/958243>
- [100] 'Ramp-PV Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101009125>
- [101] 'ReCreate Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/958200>
- [102] 'MOGU floor Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/823392>
- [103] 'RE_CREATE Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/868509>

- [104] 'DRIVE 0 Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 19, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/841850>
- [105] 'RE-CREATE Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/946255>
- [106] 'PVadapt Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/818342>
- [107] 'ICEBERG Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/869336>
- [108] 'BIMcert Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 19, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/785155>
- [109] 'HEART Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/768921>
- [110] 'BIM-SPEED Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 19, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/820553>
- [111] 'BIMERR Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 19, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/820621>
- [112] 'BUS-GoCircular', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 19, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101033740>
- [113] 'iclimabuilt Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/952886>
- [114] 'PLUG-N-HARVEST Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/768735>
- [115] 'REBECCA Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/892824>
- [116] 'IDEAS Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/815271>
- [117] 'BIPVBOOST Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 19, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/817991>
- [118] 'HOUSEFUL Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/776708>
- [119] 'FibReLoop Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101169071>
- [120] 'RENplusHOMES Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101103450>
- [121] 'CIRCULess Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 19, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101138330>
- [122] 'SUM4Re Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101129961>
- [123] 'INBUILT Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101123412>
- [124] 'TIMBERHAUS Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101182319>

Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

- [125] 'WoodStock Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101181021>
- [126] 'GreeNest Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101138242>
- [127] 'Demo-BLog Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 19, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101091749>
- [128] 'DISCOVER Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 19, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101129909>
- [129] 'RECONMATIC Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101058580>
- [130] 'CIRCOFIN Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101180525>
- [131] 'EASI ZERo Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101091531>
- [132] 'Exploit4InnoMat Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101092339>
- [133] 'MASS-IPV Project', CORDIS | European Commission. Accessed: Feb. 20, 2025. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/101135299>
- [134] 'ReBuilt Project', Interreg Central Europe. Accessed: Feb. 22, 2025. [Online]. Available: <https://www.interreg-central.eu/projects/rebuilt/>
- [135] 'CircularDigiBuild Project'. Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://interreg-danube.eu/projects/circular-digibuild>
- [136] 'KARMA Project'. Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.interregeurope.eu/karma>
- [137] 'CONDEREFF Project', Interreg Europe. Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://projects2014-2020.interregeurope.eu/condereff/>
- [138] 'ZEROCO2 Project', Interreg Europe. Accessed: Feb. 25, 2025. [Online]. Available: <https://projects2014-2020.interregeurope.eu/zeroco2/>
- [139] 'MonitorEE Project'. Accessed: Feb. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.interregeurope.eu/monitoree>
- [140] 'RENVERSC Project'. Accessed: Feb. 25, 2025. [Online]. Available: <https://www.interreg-fwvl.eu/fr/projets/la-renovation-efficiente-vers-la-circularite>
- [141] 'ENEA Project', ENEA | Interreg IPA CBC Italy-Albania-Montenegro. Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.italy-albania-montenegro.eu/enea>
- [142] 'CrossWaste Project'. Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://interreg-hr-ba-me.eu/project/project-library/crosswaste/>
- [143] 'ATTENTION Project', Interreg Italien Österreich. Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://interreg.net/projekte-interreg-it-at/attention/>
- [144] 'CIRCULA Project', CIRCULA. Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://interreg-marittimo.eu/web/circula>
- [145] 'Circular.Buildings Project'. Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.ita-slo.eu/en/circularbuildings>

Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

- [146] 'BBoBB Project'. Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.interregnorthsea.eu/bbobb>
- [147] 'CircleBIM Project'. Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.interregnorthsea.eu/circlebim>
- [148] 'CTB Project'. Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.interregnorthsea.eu/ctb>
- [149] 'CHARM Project'. Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://vb.nweurope.eu/projects/project-search/charm-circular-housing-asset-renovation-management/>
- [150] 'PREUSE Project', PREUSE. Accessed: Feb. 25, 2025. [Online]. Available: <https://preuse.nweurope.eu/>
- [151] 'CIRCULAR RENO Project', CIRCULAR RENO. Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://circularreno.nweurope.eu/>
- [152] 'DDC Project'. Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://vb.nweurope.eu/projects/project-search/digital-deconstruction/>
- [153] 'Learning network of biobuilders Project', Interreg Vlaanderen-Nederland. Accessed: Feb. 24, 2025. [Online]. Available: <https://interregvlanded.eu/lerend-netwerk-biobouwers/over-ons>



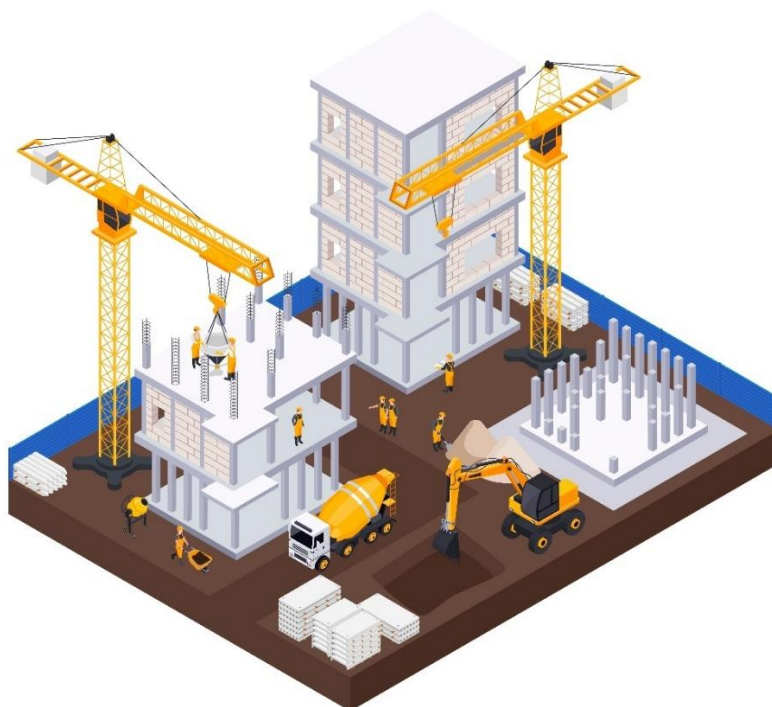
APPENDICE – SCHEDE DI CARATTERIZZAZIONE DELLE BEST PRACTICES





CARATTERIZZAZIONE DELLA BEST PRACTICE A

CODICE UNIVOCO	BP_A
NOME	MATERIAL-EFFICIENT DESIGN
OGGETTO	Materiali - Risorse - Componenti
FASE DEL CICLO DI VITA	Progettazione - Fabbricazione del prodotto - Processo di costruzione
CONDIZIONI DI DISPONIBILITÀ/PREREQUISITI	Formazione per progettisti, disponibilità di prodotti



Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

www.ita-slo.eu/circularbuildings



Circular.buildings



Circular.buildings



1. CARATTERISTICHE

1.1. DESCRIZIONE

La progettazione orientata all'efficienza dei materiali prevede l'adozione di tecniche di progettazione e costruzione che riducano al minimo la produzione di rifiuti da costruzione e demolizione (C&DW), ma soprattutto che limitino o eliminino lo spreco di risorse, come energia e acqua, in particolare durante la fase di costruzione. Ciò si traduce in un'attenta progettazione dei diversi componenti, ma anche delle singole fasi di costruzione.

1.2. RILEVANZA PER GLI EDIFICI CIRCOLARI

Questa pratica prevede di agire nelle prime fasi del ciclo di vita (pianificazione, progettazione, produzione dei componenti e costruzione) dell'edificio secondo i principi dell'economia circolare di *Reduce, Refuse e Rethink/Redesign*: con questo paradigma progettuale si massimizza il risparmio di materiali, con la possibilità di utilizzare anche materiali derivati dal riciclo e dal riuso per aumentare la circolarità; inoltre, non essendo necessarie lavorazioni troppo complesse in loco, si riduce il numero di veicoli e di movimentazioni, con relativo risparmio di combustibili fossili e di emissioni. L'uso di componenti fabbricati fuori sede riduce anche la quantità di acqua solitamente necessaria in loco per completare le operazioni di costruzione.

1.3. ASPETTI DELL'INNOVAZIONE

Rispetto alle tecniche di progettazione tradizionali, l'obiettivo è quello di abbandonare la produzione in loco a favore della realizzazione off-site dei componenti; ciò comporta un cambiamento nella gestione della logistica e dello stoccaggio dei materiali, favorendo un approccio *just-in-time*: questo aumenta la precisione con cui devono essere realizzati i programmi di cantiere. Questa filosofia progettuale richiede un cambio di mentalità nei progettisti e nelle imprese, con una maggiore propensione alla prefabbricazione. L'ampio ricorso alla prefabbricazione comporta notevoli cambiamenti nella gestione della logistica e dei trasporti in cantiere, ma anche nello stoccaggio dei materiali e nei tempi di consegna.



2. INFORMAZIONI TECNICHE

Principali informazioni tecniche fornite dalla letteratura.

2.1. APPLICAZIONI PRATICHE

- Utilizzo di componenti prefabbricati, trasportati e semplicemente assemblati in loco
- Progettazione orientata alla standardizzazione e ottimizzazione di parti di edifici
- Utilizzo di software e modelli di ottimizzazione e di tecnologie digitali per la progettazione di componenti
- Definizione ad hoc della configurazione del sito
- Stampa 3D dei componenti per evitare sprechi di materiale
- Costruzione di nuovi edifici o parti di edifici solo se estremamente necessario e se non è possibile in alcun modo riutilizzare qualcosa di già costruito
- Elaborazione di un piano di costruzione e smantellamento
- Utilizzo di materiali autorigeneranti per garantire la longevità delle strutture e la riduzione dell'uso di nuovi materiali
- Identificazione di centri di consolidamento per facilitare lo stoccaggio di materiali prefabbricati, anche di grandi dimensioni

2.2. STAKEHOLDERS COINVOLTI

- Architetti
- Progettisti strutturali
- Progettisti di impianti
- Imprese di costruzione
- Produttori di materiali da costruzione



3. IMPATTO

3.1. VANTAGGI

- Riduzione dei rifiuti prodotti durante la costruzione del sito
- Lavoro più semplice e veloce in cantiere, con minore spreco di energia e acqua
- Strutture ottimizzate e non eccessivamente pesanti, che semplificano le operazioni di montaggio e smontaggio
- Riduzione dell'impatto ambientale in termini di emissioni grazie all'uso ottimizzato di risorse e materiali
- Non è necessario redigere piani per la gestione dei rifiuti in loco, compresa la separazione dei rifiuti e la logistica che ne deriva
- Riduzione degli sprechi nella logistica dei materiali grazie ai centri di consolidamento, soprattutto in termini di carburante e imballaggi

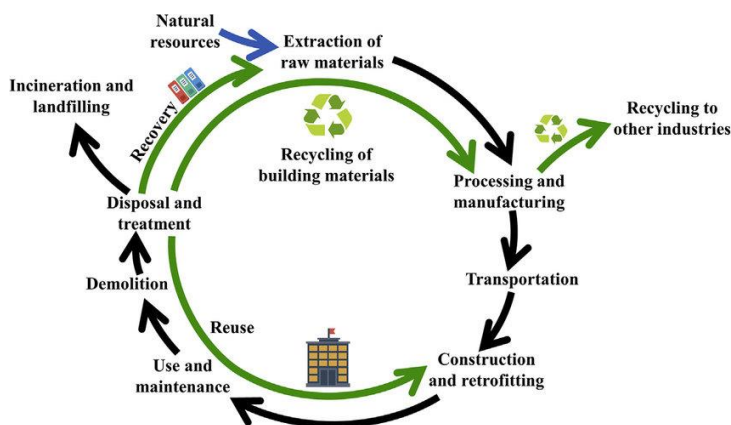
3.2. COMPLESSITÀ

- Necessità di professionisti esperti in grado di operare secondo schemi di ottimizzazione multiparametrica
- Problemi dal punto di vista del trasporto e dello stoccaggio in loco dei pezzi prefabbricati, soprattutto quelli di grandi dimensioni
- Fase di progettazione molto più laboriosa e complessa, caratterizzata da numerosi tentativi e modifiche al layout
- Progettazione dei moduli prefabbricati tenendo conto delle loro intersezioni con i vari servizi
- Spreco di materiale originato dalle modifiche necessarie in cantiere a seguito di errori di progettazione, che annullano l'efficienza della prefabbricazione
- Incapacità di realizzare progetti troppo complessi e articolati



CARATTERIZZAZIONE DELLA BEST PRACTICE B

CODICE UNIVOCO	BP_B
NOME	CIRCOLARITÀ DEI MATERIALI
OGGETTO	Materiali - Risorse - Componenti
FASE DEL CICLO DI VITA	Progettazione - Fabbricazione del prodotto - Processo di costruzione - Ristrutturazione - Fine vita
CONDIZIONI DI DISPONIBILITÀ/PREREQUISITI	Disponibilità sul mercato, conformità alle normative e alle prestazioni





1. CARATTERISTICHE

1.1. DESCRIZIONE

Questa best practice nella progettazione circolare degli edifici prevede la limitazione dell'uso di materie prime vergini e l'aumento del riutilizzo di componenti degli edifici non più utilizzati o di materiali riciclati, almeno in una certa percentuale. Non meno importante è la pianificazione della gestione dei rifiuti a fine vita dei componenti dell'edificio/impianto, con la valutazione delle possibili alternative di circolarità per gli stessi, ovvero il riutilizzo, il recupero o il riciclo, con *up-cycling* o *down-cycling*.

1.2. RILEVANZA PER GLI EDIFICI CIRCOLARI

La circolarità dei materiali tecnici è alla base dell'approccio dell'economia circolare, poiché permette di introdurre tutti i principi delle 9R nella filiera dell'edilizia: nelle fasi di pianificazione e progettazione dell'edificio è necessario da un lato preferire i materiali riutilizzabili e riciclati a quelli vergini, dall'altro progettare in modo che al termine della loro vita utile possano a loro volta essere recuperati e rimessi in circolazione. La ristrutturazione o la riconversione possono essere necessarie se si vogliono riutilizzare interi componenti, mentre il riciclo e il recupero sono necessari se non sono più in grado di garantire prestazioni sufficienti.

1.3. ASPETTI DELL'INNOVAZIONE

La circolarità dei materiali da costruzione è attualmente molto limitata, con una produzione eccessiva e non più sostenibile di rifiuti da costruzione e demolizione: il beneficio ambientale della circolarità dei materiali è evidente, ma il costo dei materiali riutilizzati è solitamente più elevato, per cui prevale il vantaggio economico di scegliere materiali vergini. In quest'ottica, è necessario un cambiamento sistematico dell'intero settore, che porti a un abbassamento complessivo dei costi, a beneficio di tutte le aziende coinvolte, tranne chiaramente quelle che si occupano dell'estrazione e dello smaltimento dei prodotti, cioè le meno sostenibili.



2. INFORMAZIONI TECNICHE

Principali informazioni tecniche fornite dalla letteratura.

2.1. APPLICAZIONI PRATICHE

- Riutilizzo di materiali provenienti dalla demolizione di vecchi edifici con la stessa o diversa funzione
- Utilizzo in nuovi edifici di interi componenti provenienti dallo smantellamento di altri edifici (ad es. finestre e porte)
- Progettazione di materiali con l'obiettivo di riciclare, riutilizzare o massimizzare la vita utile per ridurre al minimo i rifiuti
- Produzione di componenti facilmente smontabili per facilitare il riciclaggio
- Utilizzo di tecniche di progettazione come la progettazione per il disassemblaggio
- Conformità ai CAM
- Utilizzo di componenti prefabbricati per i quali è già stato predisposto uno schema di smontaggio e gestione dei rifiuti
- Attenzione alla conformità con la Direttiva quadro sui rifiuti a livello europeo
- Cooperazione con altri attori del settore per la circolazione dei materiali
- Cercare prodotti nei mercati del riuso, presso le aziende che ricondizionano i prodotti o che utilizzano prodotti riciclati come base

2.2. STAKEHOLDERS COINVOLTI

- Architetti
- Progettisti strutturali
- Progettisti di impianti
- Imprese di costruzione
- Imprese di demolizione
- Altre imprese
- Installatori/manutentori di impianti
- Installatori di finestre
- Aziende di pavimentazione
- Produttori di materiali da costruzione
- Produttori di componenti per impianti
- Amministrazioni pubbliche



3. IMPATTO

3.1. VANTAGGI

- Riduzione al minimo delle materie prime vergini estratte per i nuovi materiali
- Riduzione della quantità di materiali che diventano rifiuti, con conseguente abbandono in discarica
- Maggiori possibilità di ottenere certificazioni di sostenibilità degli edifici
- Migliori risultati LCA sui componenti o sull'intero edificio in termini di impatto, nonché migliori punteggi negli indici di circolarità
- Accesso a incentivi e agevolazioni fiscali
- Incremento della ricerca per il riutilizzo dei materiali per nuovi scopi e usi al di fuori di quello classico per cui sono stati prodotti (ad esempio, l'uso di rifiuti di demolizione come aggregati).
- Massimizzazione del ciclo di vita dei materiali, il più possibile al loro massimo valore (closing the loop)

3.2. COMPLESSITÀ

- Materiali e componenti non sempre di qualità sufficiente a garantire il riutilizzo, anche in caso di *down-grading*
- Elevati costi per le aziende che si occupano di smontaggio, separazione e riutilizzo, oltre che di stoccaggio e trasporto delle parti
- Necessità di verificare i requisiti prestazionali dei materiali da riutilizzare da parte degli specialisti
- Mancanza di fiducia da parte degli acquirenti rispetto alle garanzie materiali, soprattutto in assenza di certificazioni materiali
- Scarsa diffusione di impianti di trattamento e selezione dei rifiuti sul territorio, con la necessità di trasporti lunghi e costosi, che annullano il beneficio del riutilizzo
- Accesso più facile ai materiali vergini che ai mercati del riutilizzo, nonché costo più elevato dei prodotti in questi mercati
- Gestione complessa della logistica inversa



CARATTERIZZAZIONE DELLA BEST PRACTICE C

CODICE UNIVOCO	BP_C
NOME	UTILIZZO DI MATERIALI BIO-BASED
OGGETTO	Materiali
FASE DEL CICLO DI VITA	Progettazione - Fabbricazione del prodotto - Fine vita
CONDIZIONI DI DISPONIBILITÀ/PREREQUISITI	Disponibilità sul mercato, conformità alle normative e alle prestazioni



Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

www.ita-slo.eu/circularbuildings



Circular.buildings



Circular.buildings



1. CARATTERISTICHE

1.1. DESCRIZIONE

La massima circolarità dei materiali si ottiene quando questi sono in grado di rigenerare nuovi materiali vergini a fine vita, non creando rifiuti, ma anzi costituendo una nuova fonte di materiale. Per questo motivo, l'uso di materiali *bio-based* e naturali, come il legno, il bambù e la terra cruda, è da preferire, quando possibile, ai materiali che non possono essere completamente riciclati, come i conglomerati cementizi. Una volta dismessi, questi materiali sono naturalmente biodegradabili e possono creare compost per fertilizzare i terreni produttivi.

1.2. RILEVANZA PER GLI EDIFICI CIRCOLARI

L'integrazione di questi materiali negli edifici, sia per scopi strutturali che non strutturali, si allinea con l'idea di prevenzione dei rifiuti, cioè con i principi di *Reduce*, *Refuse* e *Rethink*: con la scelta di materiali naturali in fase di pianificazione e progettazione, i maggiori benefici si hanno a fine vita, dove invece di una perdita di valore come per i materiali tecnici, si ha un aumento di valore in quanto contribuiscono alla generazione di nuovi materiali.

1.3. ASPETTI DELL'INNOVAZIONE

Più che di un approccio innovativo, si tratta di un ritorno a tecniche costruttive più primitive e vernacolari, indubbiamente più sostenibili di quelle che hanno preso piede dopo l'eccessiva industrializzazione del settore; tuttavia, i materiali di origine naturale vengono oggi ricercati e lavorati per massimizzarne i benefici e le prestazioni, rendendoli al pari di quelli tradizionali, con una continua spinta all'innovazione e alla transizione verde. Tuttavia, non tutti i componenti edilizi possono essere realizzati esclusivamente con materiali *bio-based*: per quei settori in cui ciò non è possibile, deve esserci comunque l'interesse a individuare soluzioni più naturali per aumentare la competitività.



2. INFORMAZIONI TECNICHE

Principali informazioni tecniche fornite dalla letteratura.

2.1. APPLICAZIONI PRATICHE

- Utilizzo di materiali naturali e autorigeneranti come: bambù, legno lamellare (CLT), legno massiccio, sughero...
- Smantellare i componenti naturali dell'edificio e utilizzarli per generare nuovi materiali
- Piantumazione di boschi e foreste da cui attingere materiale
- Scelta di materiali *bio-based* anche in funzione di una catena di approvvigionamento più breve, utilizzando legname e altri prodotti disponibili in abbondanza nell'area di costruzione
- Riduzione dei trattamenti sui materiali naturali per favorirne il compostaggio
- Uso di polimeri a base biologica
- Verificare la sostenibilità ambientale dell'uso di alcuni materiali presenti in natura, soprattutto in relazione alle conseguenze sugli ecosistemi

2.2. SOGGETTI COINVOLTI

- Architetti
- Progettisti strutturali
- Imprese di costruzione
- Imprese di demolizione
- Installatori di finestre
- Aziende di pavimentazione
- Produttori di materiali da costruzione



3. IMPATTO

3.1. VANTAGGI

- Assenza di produzione di rifiuti perché il materiale, una volta scartato, è biodegradabile o può essere compostato
- Contributo alla rigenerazione dell'ambiente invece di creare solo impatti negativi
- Buona predisposizione di tali materiali alla prefabbricazione
- Possibilità di costruire strutture più leggere o, se utilizzate in combinazione con altri materiali strutturali come il cemento armato, di alleggerire parzialmente strutture molto massicce
- Riduzione del carbonio incorporato dell'intera struttura
- Design semplificato, senza la necessità di progettazioni troppo complesse (si parla di design low-tech), in particolare nel caso del legno

3.2. COMPLESSITÀ

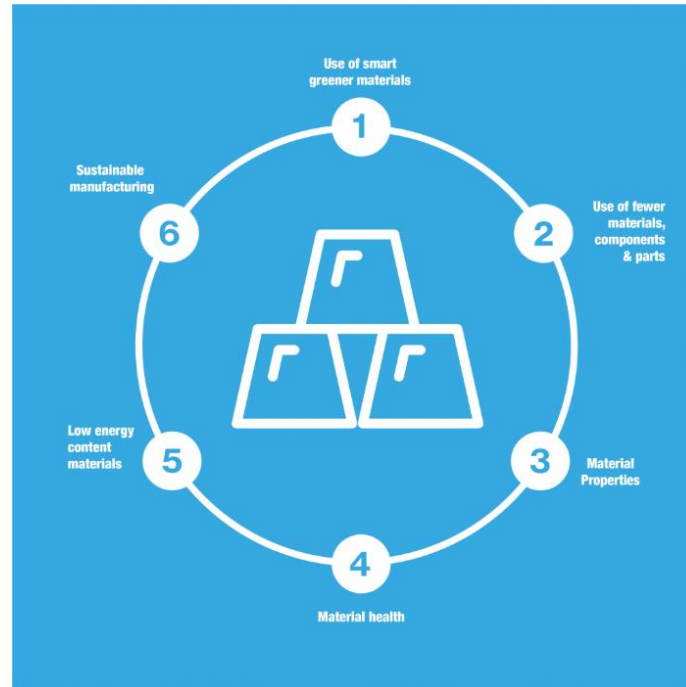
- Mancanza di supporto normativo e/o di linee guida adeguate per i progettisti di strutture con questi materiali
- Materiali con cicli di vita più brevi rispetto a quelli non rinnovabili, come il metallo e la plastica, con la necessità di una continua sostituzione che, a lungo andare, può risultare più impattante rispetto all'uso di altri materiali
- Riutilizzo di questi materiali è limitato al downgrading
- Rischio di una gestione scorretta o errata delle foreste e dei boschi da cui si ricava il legname, soprattutto in termini di conservazione della biodiversità e di sequestro del carbonio
- Maggiore vulnerabilità di questi materiali agli agenti atmosferici e al conseguente degrado, che richiede una manutenzione o una sostituzione più frequente



CARATTERIZZAZIONE DELLA BEST PRACTICE

D

CODICE UNIVOCO	BP_D
NOME	UTILIZZO DI MATERIALI A BASSO IMPATTO
OGGETTO	Materiali - Risorse
FASE DEL CICLO DI VITA	Progettazione - Fabbricazione del prodotto - Fine vita
CONDIZIONI DI DISPONIBILITÀ/PREREQUISITI	Disponibilità sul mercato, conformità alle normative e alle prestazioni



1. CARATTERISTICHE

1.1. DESCRIZIONE

Questa buona pratica consiste nell'abbandonare le fonti fossili e non rinnovabili, ma anche quei materiali la cui estrazione, lavorazione e trasporto hanno un impatto notevole in termini di consumo di risorse e inquinamento ambientale. Nella costruzione o nell'intervento sugli edifici vanno preferiti i materiali provenienti da siti produttivi limitrofi o quelli la cui lavorazione è ecologicamente corretta; rientrano in questa classificazione anche i materiali a bassa impronta di carbonio e quelli che hanno essi stessi un potere de-carbonizzante.

1.2. RILEVANZA PER GLI EDIFICI CIRCOLARI

Da questa pratica della circolarità deriva un notevole cambiamento nel modo di scegliere i prodotti: nella filiera delle costruzioni prevale ancora una mentalità basata esclusivamente sul vantaggio economico e sulla riduzione dei costi, per cui si preferiscono prodotti con prestazioni ambientali inferiori se più economici; questi prodotti sono di solito anche quelli provenienti da Paesi in cui la produzione è più economica e quindi bisogna considerare l'impatto del trasporto,



che è molto significativo. Scegliere materiali locali evita questo inutile inquinamento, ma soprattutto innesca una reazione a catena che può creare ecosistemi industriali locali basati sull'economia circolare. Se i prodotti di cui si ha bisogno non sono disponibili localmente, scegliere quelli per i quali si ha la minore impronta di carbonio e il minor consumo di risorse permette di allinearsi al principio di circolarità di *Reduce*.

1.3. ASPETTI DELL'INNOVAZIONE

Molti di questi prodotti sono il risultato della ricerca e dell'innovazione, in particolare dell'ottimizzazione dell'uso delle risorse nei processi produttivi con cui vengono realizzati. Per questo motivo, i principali stakeholders coinvolti in questa pratica sono le aziende produttrici, per le quali è necessario un cambiamento nei metodi di gestione e nella filosofia di filiera. Queste devono anche avere interesse a creare prodotti con il minor numero possibile di emissioni nocive, per garantire maggiori possibilità di riutilizzo anziché di riciclaggio, soprattutto senza conseguenze per la salute delle persone coinvolte nella fase di fine vita.

2. INFORMAZIONI TECNICHE

Principali informazioni tecniche fornite dalla letteratura.

2.1. APPLICAZIONI PRATICHE

- Preferire materiali provenienti da produttori locali in fase di progettazione
- Nell'ambito di una scelta tra materiali con le stesse prestazioni garantite, optare per il più basso impatto ambientale
- Diffondere materiali alternativi a basse emissioni, come il calcestruzzo e l'acciaio a basse emissioni di carbonio, il calcestruzzo autorigenerante o il calcestruzzo fotocatalitico
- Considerare l'impatto in tutte le fasi di vita dell'edificio, in particolare il consumo di acqua e di energia
- Informarsi sulla demolizione o sullo smantellamento di edifici nei dintorni per verificare l'opportunità di riutilizzare i materiali che ne derivano
- Tracciabilità della catena di fornitura per quantificare i vantaggi dell'utilizzo di materiali locali rispetto ad altri



2.2. STAKEHOLDERS COINVOLTI

- Architetti
- Progettisti strutturali
- Progettisti di impianti
- Imprese di costruzione
- Produttori di materiali da costruzione
- Produttori di componenti per impianti

3. IMPATTO

3.1. VANTAGGI

- Corrispondenza frequente tra bassa emissività e probabilità e/o facilità di riciclaggio o riutilizzo dei materiali
- Riduzione, molto spesso, anche dei costi legati soprattutto al trasporto dei materiali.
- Incentivo allo sviluppo dell'economia regionale e maggiore impulso alla ricerca e all'innovazione grazie alla disponibilità di un numero sempre maggiore di prodotti in un raggio ristretto
- Basso impatto, inteso anche come limitata emissione di sostanze nocive, con conseguenti benefici sia per gli utenti dell'edificio che per i lavoratori coinvolti nelle operazioni di smantellamento/demolizione



3.2. COMPLESSITÀ

- Molto spesso il costo dei materiali meno impattanti è più alto di quello dei materiali convenzionali
- Mancanza di produzione locale di materiali o componenti di impianti, soprattutto nel settore del fotovoltaico
- Mancanza di dati sull'affidabilità e sulle prestazioni dei materiali più innovativi che non consente valutazioni precise dell'impatto (ad esempio per la valutazione LCA)
- Necessità di un uso più diffuso di questi prodotti nelle pratiche edilizie, in modo che prendano il posto delle loro alternative più impattanti
- Mancanza di riferimenti normativi per i materiali più innovativi
- Mancanza di iniziative da parte delle amministrazioni pubbliche e degli enti locali per promuovere la circolazione locale dei materiali



CARATTERIZZAZIONE DELLA BEST PRACTICE E

CODICE UNIVOCO	BP_E
NOME	PROGETTAZIONE PER LO SMONTAGGIO / DEMOLIZIONE / DECONSTRUZIONE
OGGETTO	Materiali - Risorse - Componenti - Intero edificio
FASE DEL CICLO DI VITA	Progettazione - Fabbricazione del prodotto - Processo di costruzione - Ristrutturazione - Fine vita
CONDIZIONI DI DISPONIBILITÀ/PREREQUISITI	Formazione per progettisti, disponibilità di prodotti



1. CARATTERISTICHE

1.1. DESCRIZIONE

Il *Design for Disassembly* o *Design for Deconstruction* è una pratica progettuale che prevede la progettazione dell'edificio, già in fase iniziale, guardando al fine vita, ovvero adottando soluzioni e redigendo un piano accurato per lo smontaggio della struttura nei suoi vari componenti. Seguendo questa tecnica è possibile riutilizzare interi componenti in altri edifici, se la decostruzione non è distruttiva, o recuperare materiali attraverso uno smontaggio selettivo, se l'intero componente non può essere rimosso senza danneggiarlo o non può essere utilizzato ulteriormente.

1.2. RILEVANZA PER GLI EDIFICI CIRCOLARI

Questa pratica è particolarmente rilevante per la circolarità degli edifici: progettando l'edificio guardando già alla sua fase di fine vita, si applicano tutti i 9 principi della circolarità. Innanzitutto, si riduce la produzione di rifiuti da costruzione, in quanto l'assemblaggio è progettato per essere semplice e veloce in cantiere; inoltre, questa filosofia progettuale

Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.



garantisce il riutilizzo e/o il riciclo di prodotti e componenti eterogenei. Infine, è una tecnica valida non solo per le nuove costruzioni, ma anche per intervenire localmente, su edifici esistenti, consentendo la possibile reversibilità dell'intervento.

1.3. ASPETTI DELL'INNOVAZIONE

Questo modo di progettare l'edificio è totalmente innovativo e diverso da qualsiasi approccio tradizionale. Per questo motivo, è necessario che i nuovi progettisti siano formati direttamente su questa filosofia, mentre i più esperti si devono mantenere aggiornati e devono essere disposti a mettersi in gioco: in particolare, è necessario avere familiarità con gli strumenti di progettazione digitale, come il BIM, che possono garantire il disassemblaggio. Allo stesso tempo, alle aziende fornitrici è richiesta una particolare attenzione, soprattutto quando si tratta di prodotti da costruzione forniti in pacchetti prefabbricati, per garantirne lo smontaggio, che può richiedere modifiche alle linee di produzione. Un altro aspetto nuovo che emerge dal *Design for Disassembly* è la necessità di introdurre nella catena di fornitura una figura o un'azienda esperta nelle pratiche di disassemblaggio e nella logistica dei materiali risultanti, da coinvolgere fin dalle prime fasi di progettazione.

2. INFORMAZIONI TECNICHE

Principali informazioni tecniche fornite dalla letteratura.

2.1. APPLICAZIONI PRATICHE

- Utilizzo di elementi prefabbricati
- Preferenza per i giunti meccanici (bulloni, giunti...) rispetto ai giunti chimici (incollaggio, saldatura)
- Garantire l'accessibilità dei collegamenti
- Mantenere la massima indipendenza possibile tra i vari componenti per facilitare lo smontaggio
- Utilizzare una configurazione di base aperta dell'edificio
- Limitare l'uso di finiture e trattamenti che possono compromettere il riutilizzo dei componenti e/o il riciclo dei materiali
- Elaborazione di un piano di smontaggio, indicando le fasi (pianificazione della sequenza di smontaggio), i macchinari, lo spazio di movimentazione e la destinazione di ciascun componente o materiale
- Progettare e gestire l'edificio per strati (sito, involucro, struttura, servizi, interni, arredi)



2.2. STAKEHOLDERS COINVOLTI

- Architetti
- Progettisti strutturali
- Progettisti di impianti
- Imprese di costruzione
- Imprese di demolizione
- Installatori di finestre
- Aziende di pavimentazione
- Produttori di materiali da costruzione
- Produttori di componenti per impianti

3. IMPATTO

3.1. VANTAGGI

- Limitazione della produzione di rifiuti da costruzione e demolizione del 65-80%.
- Possibilità di dare una seconda vita a interi componenti dell'edificio, nel caso di smantellamento non distruttivo, o, nel peggiore dei casi, di smantellamento distruttivo, a singoli materiali
- Limitazione dell'uso di materie prime vergini
- Estensione della vita utile delle parti dell'edificio
- Riduzione o eliminazione dei costi di smaltimento in discarica dei prodotti
- Facilità di separazione dei materiali nel caso in cui sia inevitabile il trasporto in discarica

3.2. COMPLESSITÀ

- Nel caso di giunti chimici, smontaggio possibile solo attraverso l'uso di solventi o operazioni meccaniche che possono compromettere la possibilità di riciclare il materiale
- Pianificazione molto più complessa e lunga che deve arrivare fino alla fase di fine vita, fornendo indicazioni anche dopo tale momento



- Piani di smontaggio e recupero dei componenti perfetti garantiti solo attraverso l'uso di tecnologie digitali come il BIM e la digitalizzazione delle catene di fornitura
- Necessità di numerosi mezzi e spazi per lo smontaggio e di definire sequenze precise, anche con indicazioni temporali, per evitare interferenze nei diversi processi, spesso difficili da rispettare
- Formazione dei progettisti necessaria per istruirli su questo approccio progettuale
- Smontaggio di alcune strutture, soprattutto in acciaio, più costoso delle operazioni di demolizione tradizionali





CARATTERIZZAZIONE DELLA BEST PRACTICE F

CODICE UNIVOCO	BP_F
NOME	PROGETTAZIONE PER L'ADATTABILITÀ/FLESSIBILITÀ
OGGETTO	Componenti - Intero edificio
FASE DEL CICLO DI VITA	Progettazione - Fabbricazione del prodotto - Processo di costruzione - Funzionamento e utilizzo - Ristrutturazione - Fine vita
CONDIZIONI DI DISPONIBILITÀ/PREREQUISITI	Formazione per progettisti, disponibilità di prodotti



Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

www.ita-slo.eu/circularbuildings



Circular.buildings



Circular.buildings



1. CARATTERISTICHE

1.1. DESCRIZIONE

Una progettazione mirata all'adattabilità e alla flessibilità dell'edificio permette di non far coincidere la fine della sua vita con la fine del suo utilizzo, inoltre consente, a valle di un'attenta progettazione iniziale, di cambiare e variare, con ridotta necessità di mezzi e denaro, la sua configurazione di base per adattarla a nuove esigenze e utilizzi, diversi da quelli originari, anche se non individuati nella prima progettazione della struttura.

1.2. RILEVANZA PER GLI EDIFICI CIRCOLARI

Questa pratica è allineata con i principi di economia circolare di ripensare, riprogettare e riutilizzare: tutti questi sono coinvolti nella fase di progettazione per evitare la produzione di rifiuti da costruzione e demolizione, non considerando la possibilità che l'edificio, al termine della sua prima vita utile, debba essere smantellato, ma invece riutilizzato nella sua interezza e con solo minime modifiche. Gli edifici frutto di una progettazione per l'adattabilità/flessibilità sono quindi una garanzia di riduzione dei flussi di materiali anche in caso di interventi su di essi.

1.3. ASPETTI DELL'INNOVAZIONE

Questo modo di progettare l'edificio è totalmente innovativo e diverso da qualsiasi approccio tradizionale. Per questo motivo, è necessario che i nuovi progettisti siano formati direttamente a questa filosofia, mentre i più esperti si aggiornino e siano disposti a mettersi in gioco: in particolare, è necessario avere familiarità con gli strumenti di progettazione digitale, come il BIM, che possono garantire di tenere traccia di ciò che si può fare e di ciò che è già stato fatto. L'idea che un edificio possa essere facilmente riutilizzato cambiandone la destinazione d'uso si contrappone a uno dei maggiori problemi odierni, ovvero l'impossibilità di recuperare edifici esistenti in disuso senza incorrere in problemi strutturali ed economici; tuttavia, anche in questo caso è necessario che le aziende si concentrino sul passaggio a componenti standardizzati, che permettano anche alle altre aziende di prodotti per l'edilizia di adattare la produzione e integrarsi per massimizzare la flessibilità degli edifici.



2. INFORMAZIONI TECNICHE

Principali informazioni tecniche fornite dalla letteratura.

2.1. APPLICAZIONI PRATICHE

- Utilizzo di componenti modulari e/o prefabbricati
- Configurazione strutturale dell'edificio il più possibile regolare e semplice
- Elementi facilmente mantenibili e adattabili
- Utilizzo di software di modellazione digitale (ad es. BIM)
- Realizzazione di diverse alternative progettuali con gli stessi componenti per fornire una gamma di configurazioni facilmente realizzabili
- Redazione di disegni di progetto il più dettagliati e accurati possibile, prestando attenzione anche al modo in cui le parti sono unite tra loro
- Necessità di evidenziare nei progetti quali parti devono rimanere fisse negli interventi successivi per evitare problemi, soprattutto strutturali, come ingressi, aperture, vani tecnici e aree di ispezione, per garantire sempre l'accessibilità
- Utilizzo di partizioni e componenti mobili
- Progettazione e gestione dell'edificio per strati (sito, involucro, struttura, servizi, interni, arredi)

2.2. STAKEHOLDERS COINVOLTI

- Architetti
- Progettisti strutturali
- Progettisti di impianti
- Imprese di costruzione
- Altre imprese
- Produttori di materiali da costruzione
- Produttori di componenti per impianti



3. IMPATTO

3.1. VANTAGGI

- Limitazione della produzione di rifiuti da costruzione e demolizione dell'83,2%
- Possibilità di facile reversibilità delle scelte progettuali se non sono funzionali come inizialmente previsto
- Estensione della vita utile dell'edificio con la possibilità di cambi di destinazione d'uso in base a nuove esigenze, siano esse estetiche, funzionali o spaziali, senza complicazioni e costi eccessivi
- Facilità di replica, anche con lievi modifiche, dell'edificio per altri con la stessa destinazione d'uso, semplificando il lavoro dei progettisti e consentendo una maggiore diffusione di questo tipo di design

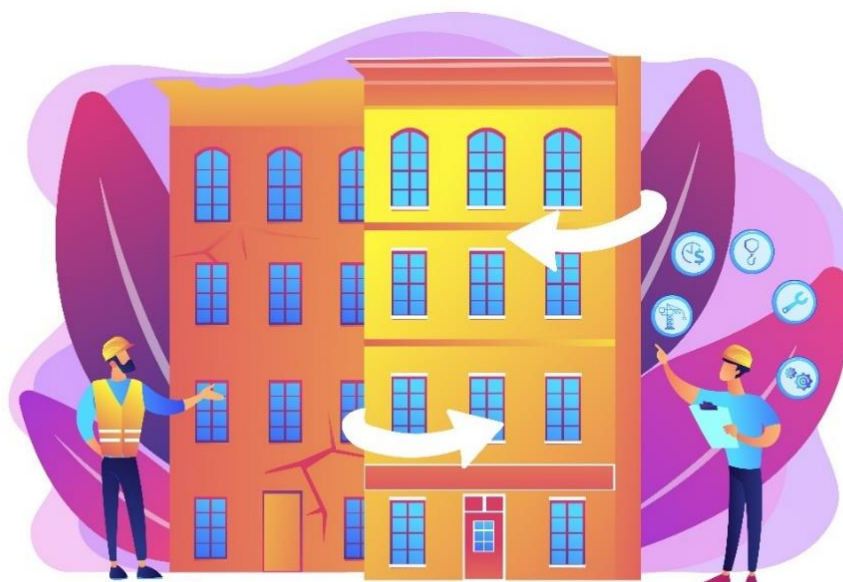
3.2. COMPLESSITÀ

- Necessità di una progettazione dei componenti molto più accurata e precisa
- Elevata attenzione nella realizzazione dei vari componenti in totale aderenza al progetto, con tolleranze minime per evitare problemi di riconfigurazione
- Massima flessibilità ottenibile attraverso metodi decisionali multicriteriali, che sono molto complessi e richiedono una figura specializzata
- Sovrautilizzo immotivato dei mezzi, con riduzione della circolarità del processo, derivante dalla possibilità di modificare facilmente l'edificio, anche a intervalli di tempo molto ravvicinati
- Necessità di progettare tenendo conto di ogni variazione planimetrica apportata all'edificio nel passato, per conoscere come si è lavorato sull'edificio e in particolare sulla struttura, ideando scenari futuri sicuri e sempre più circolari



CARATTERIZZAZIONE DELLA BEST PRACTICE G

CODICE UNIVOCO	BP_G
NOME	PROGETTAZIONE PER LA DURABILITÀ / RESILIENZA / MANUTENIBILITÀ
OGGETTO	Materiali - Risorse - Componenti - Intero edificio
FASE DEL CICLO DI VITA	Progettazione - Fabbricazione del prodotto - Processo di costruzione - Funzionamento e utilizzo - Ristrutturazione
CONDIZIONI DI DISPONIBILITÀ/PREREQUISITI	Formazione per progettisti, disponibilità di prodotti





1. CARATTERISTICHE

1.1. DESCRIZIONE

Questo tipo di progettazione prevede di orientare il progetto verso la massimizzazione della vita utile dell'edificio o dell'impianto senza particolari stravolgimenti o cambiamenti; in particolare, gli obiettivi di durabilità e resilienza sono raggiunti attraverso l'utilizzo di materiali performanti, resistenti e in grado di mantenere queste caratteristiche nel tempo, nonostante l'uso e gli eventi avversi. Per garantire una lunga durata è necessario, allo stesso tempo, facilitare e assicurare la manutenzione dell'intero edificio o delle sue parti, senza compromettere le prestazioni.

1.2. RILEVANZA PER GLI EDIFICI CIRCOLARI

Progettare l'edificio in modo che mantenga la sua funzione e le sue prestazioni nel tempo, grazie anche a una manutenzione agevolata e programmata, permette di evitare la produzione di rifiuti da costruzione e demolizione, se non al termine della sua vita utile, che con questo approccio viene estesa al massimo. Allo stesso tempo, l'utilizzo di materiali ad alte prestazioni fa sì che i componenti non debbano essere sostituiti durante il ciclo di vita dell'edificio; tuttavia, se la manutenzione non è più sufficiente, questa progettazione permette anche di sostituire i componenti individuati tempestivamente con una vita utile inferiore a quella dell'intero edificio: in questo modo, i componenti dismessi possono essere riutilizzati o riciclati.

1.3. ASPETTI DELL'INNOVAZIONE

Questo approccio progettuale è simile a quello tradizionale per gli edifici con destinazioni d'uso particolarmente importanti, come ospedali e università, o per gli edifici antisismici: la novità sta nell'applicare la stessa filosofia ad altri edifici di grandi dimensioni più comuni, se non per garantirne la resilienza, per far sì che la loro vita utile sia la più lunga possibile. In questa pratica, si deve necessariamente prestare maggiore attenzione alla stesura di un piano di manutenzione preciso e puntuale, ma soprattutto alla sua osservanza: importante è l'individuazione in fase di progettazione dei soggetti coinvolti e l'utilizzo di sistemi digitali per monitorare la necessità di intervento. Inoltre, i produttori devono investire nella ricerca per mantenere i materiali al massimo delle prestazioni il più a lungo possibile, senza mai trascurare l'aspetto dell'impatto ambientale, accompagnando il materiale con tutte le informazioni utili alla manutenzione.



2. INFORMAZIONI TECNICHE

Principali informazioni tecniche fornite dalla letteratura.

2.1. APPLICAZIONI PRATICHE

- Selezione di materiali e componenti edilizi/impiantistici della massima qualità e con prestazioni garantite a lungo termine, comprese le pratiche di manutenzione per mantenerli ad alto livello
- Adozione di precauzioni e configurazioni nella disposizione dei componenti strutturali e impiantistici in modo da garantire l'accesso per la manutenzione
- Progettazione sempre secondo i principi della ridondanza per garantire la continuità di funzionamento e la sicurezza anche in situazioni sfavorevoli
- Progettazione nel pieno rispetto delle normative vigenti, sia dal punto di vista strutturale che per la sicurezza degli impianti elettrici e antincendio
- Configurazione dell'edificio semplice, simmetrica e regolare
- Redazione di un accurato piano di manutenzione e di progetti con indicazione precisa delle aree di intervento
- Particolare attenzione alle parti più fragili del progetto (ad esempio, i giunti sismici).

2.2. STAKEHOLDERS COINVOLTI

- Architetti
- Progettisti strutturali
- Progettisti di impianti
- Imprese di costruzione
- Altre imprese
- Produttori di materiali da costruzione
- Produttori di componenti per impianti



3. IMPATTO

3.1. VANTAGGI

- Riduzione dei costi di sostituzione dei componenti
- Quantità limitata di rifiuti prodotti, solo a fine vita
- Elevata sicurezza contro eventi isolati e distruttivi, come i terremoti
- Facilità di intervento anche sui componenti strutturali, con minore necessità di tecnici altamente qualificati e senza la necessità di interventi distruttivi nell'edificio per accedervi
- Massima durata di vita garantita per l'intero edificio e per le sue singole parti
- Minore necessità di processi di ottimizzazione della struttura e dei materiali, a favore di un loro più ampio utilizzo per garantire le massime prestazioni

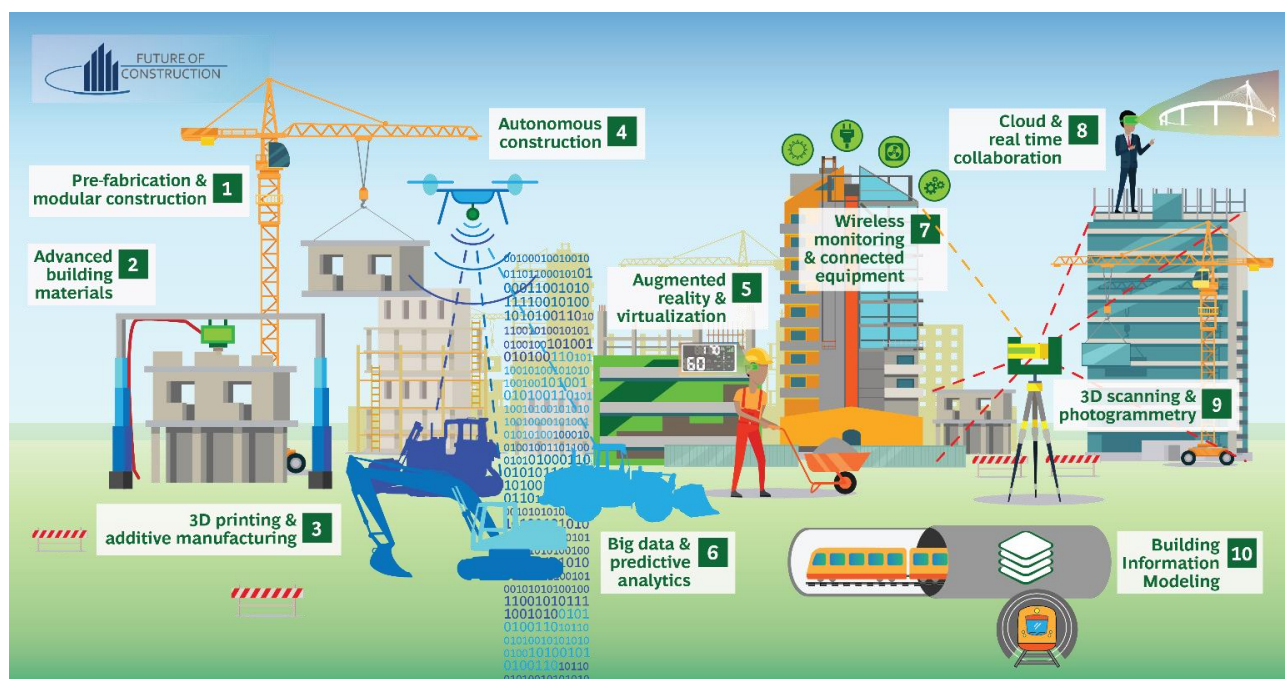
3.2. COMPLESSITÀ

- Pianificazione ottimale solo per edifici importanti per i quali non è previsto un cambio di destinazione d'uso, anche a lungo termine (es. ospedali, palestre, ...); scelta controproducente per piccoli edifici
- Impossibile effettuare interventi importanti e/o modifiche sostanziali della configurazione o, se possibile, troppo costosi
- Costo elevato della maggior parte dei materiali di buona qualità che garantiscono prestazioni elevate per lungo tempo
- Necessità di coordinamento tra i progettisti dei vari impianti e della struttura, anche con l'utilizzo del BIM, per la migliore integrazione possibile e per garantire un facile accesso a tutti questi e indicare sul modello ciò che è necessario per la manutenzione anche da parte di figure non direttamente coinvolte nella fase di progettazione



CARATTERIZZAZIONE DELLA BEST PRACTICE H

CODICE UNIVOCO	BP_H
NOME	IMPLEMENTAZIONE DELLE TECNOLOGIE DIGITALI
OGGETTO	Componenti - Intero edificio
FASE DEL CICLO DI VITA	Progettazione - Processo di costruzione - Funzionamento e utilizzo - Ristrutturazione - Fine vita
CONDIZIONI DI DISPONIBILITÀ/PREREQUISITI	Formazione per progettisti, licenze software, tecnologie all'avanguardia



Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.



1. CARATTERISTICHE

1.1. DESCRIZIONE

Le tecnologie digitali possono essere molto utili in tutte le fasi di vita di un edificio, dalla progettazione alla fine del ciclo di vita: consentono un monitoraggio continuo dell'edificio e delle sue esigenze, una migliore collaborazione tra i professionisti coinvolti e un'ottimizzazione complessiva del progetto. Sono inoltre di supporto a molte delle altre best practices individuate, come la DfD, la DfA, la tracciabilità generale dei flussi di materiali, vergini o riutilizzati, e più in generale la progettazione orientata all'efficienza.

1.2. RILEVANZA PER GLI EDIFICI CIRCOLARI

L'utilizzo delle tecnologie digitali è fondamentale per un approccio che tiene in considerazione tutto il ciclo di vita: in particolare, consente di ottimizzare l'uso di materiali e risorse, sia in termini di progettazione concreta, sia mettendo in relazione gli attori della filiera, agendo così sulla logistica e sulla produzione. Permette di accedere in qualsiasi momento ai dati dell'edificio, sia a livello di materiali, monitorandone le prestazioni e tracciando gli interventi a cui è sottoposto, sia di consumi energetici e idrici: in questo modo si massimizza la circolarità, con il massimo riutilizzo e/o riciclo, per tutte le risorse.

1.3. ASPETTI DELL'INNOVAZIONE

Un approccio altamente tecnologico alla progettazione e alla gestione degli edifici è ormai riconosciuto come l'innovazione più necessaria per la transizione verso un settore circolare: si impone come soluzione ai tradizionali problemi di filiera, caratterizzati da estrema frammentazione e mancanza di collaborazione. Questa innovazione riguarda tutti i soggetti coinvolti nel ciclo di vita: in primis i progettisti, che devono essere formati all'utilizzo degli strumenti BIM per poter integrare il proprio lavoro con quello di altri professionisti; anche le imprese di costruzione devono adeguarsi, soprattutto per quanto riguarda l'utilizzo di strumenti di gestione dei dati di cantiere basati sul cloud. Questa trasformazione digitale è quanto mai centrale per il raggiungimento della circolarità nel settore: nei prossimi anni, chi non sarà pronto a colmare il gap tecnologico è destinato ad essere escluso dalla filiera.



2. INFORMAZIONI TECNICHE

Principali informazioni tecniche fornite dalla letteratura.

2.1. APPLICAZIONI PRATICHE

- Integrazione di sensori e domotica negli edifici
- Realizzazione del Digital Twin dell'edificio in ambiente BIM, anche grazie alle tecnologie di computer vision per la riproduzione digitale dei componenti
- Uso di droni (o di Lidar e Laser Scanner) per il rilievo e il controllo di siti e edifici
- Supporto delle tecnologie IoT per la trasmissione di dati in tempo reale
- Introduzione dell'intelligenza artificiale (AI) per prevedere le esigenze di manutenzione e intervento
- Utilizzo di software di gestione dei progetti
- Creazione di un ambiente cloud per la condivisione di informazioni utili per l'operatività degli edifici
- Uso della GIS
- Modellazione e stampa 3D dei componenti

2.2. STAKEHOLDERS COINVOLTI

- Architetti
- Progettisti strutturali
- Progettisti di impianti
- Imprese di costruzione
- Imprese di demolizione
- Altre imprese
- Installatori/manutentori di impianti
- Installatori di finestre
- Aziende di pavimentazione
- Produttore di materiali da costruzione
- Produttori di componenti per impianti



3. IMPATTO

3.1. VANTAGGI

- Possibilità di creare un *Digital Twin* dell'edificio di cui si conoscono in tempo reale i requisiti, le quantità di materiali presenti, le operazioni da effettuare su di esso e le modalità di intervento, soprattutto nello smontaggio
- Ottimizzazione del lavoro di ciascun progettista, con un unico modello in cui tutti possono contribuire e prestare attenzione alle interferenze, ad esempio per quanto riguarda le installazioni, evitando errori di progettazione
- Informazioni complete sull'edificio facilmente reperibili in qualsiasi momento da parte delle persone coinvolte
- Garanzia di sicurezza e benessere degli utenti dell'edificio attraverso l'inserimento di sensori e sistemi di automazione/domotica.
- Identificazione facilitata delle opportunità di recupero e riciclaggio dei componenti.

3.2. COMPLESSITÀ

- Difficoltà di transizione verso un approccio più digitale da parte di progettisti e aziende con modalità di lavoro più "tradizionali"
- Costi più elevati per consentire il monitoraggio continuo e il rilievo per punti dell'intero edificio e, in generale, per l'introduzione di strumenti digitali
- Mancanza di incentivi economici per l'introduzione di strumenti digitali
- Necessità di una collaborazione attiva e continua di tutte le parti interessate nelle diverse fasi di vita dell'edificio
- Aggiornamento continuo delle tecnologie necessario per evitare l'obsolescenza
- Percezione degli stakeholders che gli strumenti digitali possano sostituire in modo sproporzionato il lavoro umano e portare alla disoccupazione



CARATTERIZZAZIONE DELLA BEST PRACTICE I

CODICE UNIVOCO	BP_I
NOME	CREAZIONE O PARTECIPAZIONE A PIATTAFORME COLLABORATIVE/BANCHE DATI
OGGETTO	Materiali - Componenti
FASE DEL CICLO DI VITA	Progettazione - Processo di costruzione - Fine vita
CONDIZIONI DI DISPONIBILITÀ/PREREQUISITI	Disponibilità, licenze



Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

www.ita-slo.eu/circularbuildings



Circular.buildings



Circular.buildings



1. CARATTERISTICHE

1.1. DESCRIZIONE

La partecipazione e/o la creazione di piattaforme e database online, dove è possibile sia raccogliere informazioni sui materiali utilizzati nei diversi edifici, facilitando i processi decisionali e la valutazione della circolarità, ma anche fornire una panoramica dei materiali o dei componenti che sono stati scartati dagli edifici e che potrebbero essere utili ad altri progettisti o imprese di costruzione, al fine di promuoverne il riutilizzo. Allo stesso modo, un approccio partecipativo è utile per mettere in contatto le persone coinvolte nel settore delle costruzioni.

1.2. RILEVANZA PER GLI EDIFICI CIRCOLARI

La gestione condivisa delle banche dati, così come la creazione di piattaforme per i mercati secondari per il riutilizzo e il riciclo dei prodotti, agisce direttamente per la circolarità dei materiali. Si è già detto che la collaborazione è centrale per l'ottimizzazione dei layout degli edifici e dell'organizzazione della catena di fornitura: ad esempio, una logistica integrata tra diversi produttori può ridurre al minimo i trasporti necessari e ridurre il consumo di risorse.

1.3. ASPETTI DELL'INNOVAZIONE

Nell'approccio collaborativo tra gli stakeholder, il principio del *Rethink* viene applicato a tutta la filiera, ridisegnando la filosofia tradizionale in cui ognuno agisce solo per i propri interessi: chi non è disposto a mettere il proprio guadagno, anche parzialmente, in secondo piano rispetto a un'evoluzione circolare e condivisa del processo edilizio, alla lunga ne sarà escluso. Allo stesso tempo, è necessario un impegno da parte delle aziende nella ricerca e nel caricamento dei materiali in questi database della circolarità, per poter creare mercati del riuso sempre più ampi, che offrano un'alternativa valida e conveniente per tutti gli appaltatori, a scapito del mercato dei materiali vergini.



2. INFORMAZIONI TECNICHE

Principali informazioni tecniche fornite dalla letteratura.

2.1. APPLICAZIONI PRATICHE

- Creazione di un database per l'edificio in cui inserire i materiali utilizzati, con le loro quantità e proprietà, anche con l'aiuto della progettazione BIM
- Registrazione delle aziende coinvolte in piattaforme (ad es. Circularity Platforms) per la circolarità dei materiali
- Individuazione di industrie e aziende con cui creare ecosistemi industriali, generando filiere continue di prodotti e facili da replicare nel tempo
- Creazione di piattaforme facili da navigare e intuitive per facilitare l'utilizzo da parte di molti utenti
- Utilizzo di piattaforme per la sincronizzazione temporale e spaziale delle figure coinvolte nelle varie lavorazioni dell'edificio
- Utilizzo di piattaforme non solo per i flussi di materiale intorno a un progetto, ma anche per l'interscambio tra progetti diversi
- Iniziativa di aziende e designer nel proporre e aderire a progetti di circolarità

2.2. STAKEHOLDERS COINVOLTI

- Architetti
- Progettisti strutturali
- Progettisti di impianti
- Imprese di costruzione
- Imprese di demolizione
- Installatori di finestre
- Amministrazioni pubbliche



3. IMPATTO

3.1. VANTAGGI

- Circolazione sul mercato dei prodotti di riutilizzo, tenendo traccia dell'origine di ciascuno di essi
- Facilità di reperimento dei materiali di riutilizzo e riciclaggio senza dover avere contatti diretti con le singole imprese di smantellamento
- Riduzione dei rifiuti di materiali e componenti che non vengono riutilizzati perché non sono richiesti da nessuno per un secondo utilizzo
- Creazione di un mercato interno tra gli stakeholders coinvolti nella circolarità dei materiali specifici per l'edilizia
- Collaborazione tra i diversi stakeholders, soprattutto nella fase di progettazione, per conoscere tutte le esigenze e le precauzioni da seguire, soprattutto per la circolarità dei materiali (*co-design*)

3.2. COMPLESSITÀ

- Partecipazione degli stakeholders alle piattaforme ancora limitata, per cui i prodotti in catalogo sono pochi
- Necessità di una progettazione BIM o di un inventario completo per essere consapevoli della reale quantità di materiale coinvolto
- Costi di scarica inferiori rispetto al prezzo dei materiali di riutilizzo
- Difficoltà per le parti interessate a trovare esattamente ciò di cui hanno bisogno nei database e nelle piattaforme, ma anche problemi per le piccole imprese a inserirsi in contesti collaborativi con aziende di dimensioni notevolmente maggiori
- Informazioni e formazione necessarie per chi vuole avvicinarsi all'uso delle banche dati
- Mancanza di coinvolgimento di tutti i livelli di stakeholders, comprese le autorità locali



CARATTERIZZAZIONE DELLA BEST PRACTICE J

CODICE UNIVOCO	BP_J
NOME	REDAZIONE E UTILIZZO DI PASSAPORTI DIGITALI E CERTIFICAZIONI DEI MATERIALI
OGGETTO	Materiali - Risorse - Componenti
FASE DEL CICLO DI VITA	Progettazione - Fabbricazione del prodotto - Processo di costruzione - Funzionamento e utilizzo - Ristrutturazione - Fine vita
CONDIZIONI DI DISPONIBILITÀ/PREREQUISITI	Disponibilità del software, licenze, disponibilità dei dati



Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

www.ita-slo.eu/circularbuildings



Circular.buildings



Circular.buildings



1. CARATTERISTICHE

1.1. DESCRIZIONE

Per favorire la scelta di materiali e prodotti a limitato impatto ambientale, è consigliabile che questi siano accompagnati da una certificazione ambientale (es. Dichiarazioni Ambientali di Prodotto - EPD) o da un documento in grado di fornire indicazioni sulla loro origine, produzione e utilizzo (es. Passaporto dei Materiali); quest'ultimo è fondamentale per la circolazione dei prodotti di riuso al fine di conoscerne la provenienza e le prestazioni che ci si può aspettare.

1.2. RILEVANZA PER GLI EDIFICI CIRCOLARI

L'utilizzo delle certificazioni ambientali influenza in particolare la fase di progettazione e la scelta dei materiali: la circolarità si ottiene scegliendo materiali per i quali sono certificati i bassi impatti e di cui si conoscono i consumi idrici ed energetici, puntando così sul principio *Reduce* dell'economia circolare. Le certificazioni stesse valutano l'intero ciclo di vita del prodotto, dall'estrazione della materia prima alla fase di fine vita: in questo modo, l'approccio alla scelta viene affrontato nel modo più consapevole possibile, soprattutto per quanto riguarda l'eventuale riutilizzo o smaltimento. Il passaporto digitale, allo stesso modo, tiene traccia del percorso del materiale, fungendo soprattutto da garanzia per chi riconosce il vantaggio ambientale di scegliere materiali riutilizzati rispetto a quelli vergini.

1.3. ASPETTI DELL'INNOVAZIONE

La principale innovazione consiste nel tracciamento, presunto nel caso delle dichiarazioni ambientali, mentre effettivo per il passaporto digitale, del percorso del prodotto e di tutti gli impatti e le conseguenze ad esso collegati; nel caso dei *Digital Products Passports* (DPP), sono necessari un impegno costante e molta attenzione da parte delle figure coinvolte nel loro aggiornamento affinché i dati siano il più possibile completi e forniscano tutte le informazioni necessarie a chi opererà o riutilizzerà gli stessi materiali. A tal fine è richiesto un software speciale per l'archiviazione dei dati e gli operatori delle diverse fasi del ciclo di vita devono conoscerne il funzionamento; allo stesso tempo, i DPP possono essere integrati nei modelli BIM, quindi sono sempre necessarie figure professionali competenti. Per quanto riguarda le certificazioni, invece, l'innovazione deve interessare soprattutto le aziende produttrici di materiali da costruzione o impiantistici: spetta a loro pretendere di produrre materiali a ridotto impatto ambientale e certificarli, in modo che gli appaltatori, che a loro volta puntano alla circolarità, possano trovare materiali che soddisfino i loro requisiti; in questo modo si crea un circolo virtuoso di produzione, progettazione e realizzazione attenta alla circolarità.



2. INFORMAZIONI TECNICHE

Principali informazioni tecniche fornite dalla letteratura.

2.1. APPLICAZIONI PRATICHE

- Ricerca dei materiali da utilizzare nel progetto su banche dati e piattaforme per la raccolta/riscatto delle Dichiarazioni Ambientali di Prodotto
- Tenere traccia dell'origine e delle operazioni effettuate sui materiali o sui prodotti, anche con l'uso del BIM, nel caso in cui debbano essere riutilizzati e queste informazioni siano necessarie per il passaporto dei materiali
- Richiesta di certificazioni EPD da parte di organizzazioni responsabili e autorizzate a redigerle, da parte delle aziende manifatturiere
- Inserimento nei passaporti dei materiali, da parte dei produttori e/o dei progettisti, di tutte le informazioni utili per le fasi successive alla costruzione, al fine di agevolare gli addetti alle operazioni di manutenzione e smontaggio
- Fare riferimento alle dichiarazioni quando si scelgono i materiali, soprattutto per conoscere la durata di vita e le prestazioni previste senza la necessità di ulteriori test
- Creazione di database di materiali in un edificio (edifici come banche di materiali)

2.2. STAKEHOLDERS COINVOLTI

- Architetti
- Progettisti strutturali
- Progettisti di impianti
- Imprese di costruzione
- Altre imprese
- Installatori/manutentori di impianti
- Installatori di finestre
- Aziende di pavimentazione
- Produttori di materiali da costruzione
- Produttori di componenti per impianti



3. IMPATTO

3.1. VANTAGGI

- Tracciabilità dei materiali
- Possibilità di accedere alle informazioni necessarie sul prodotto in modo immediato e preciso
- Aumento dell'uso di materiali riutilizzati e riciclati, con dichiarazioni di prestazione per fornire garanzie a progettisti e appaltatori
- Maggiore utilizzo di materiali a basso impatto ambientale a scapito di materiali vergini non certificati
- Maggiore possibilità di ottenere la certificazione di sostenibilità per l'intero edificio a partire dal livello dei singoli materiali
- Incentivi per la produzione e il commercio di prodotti certificati dal punto di vista ambientale

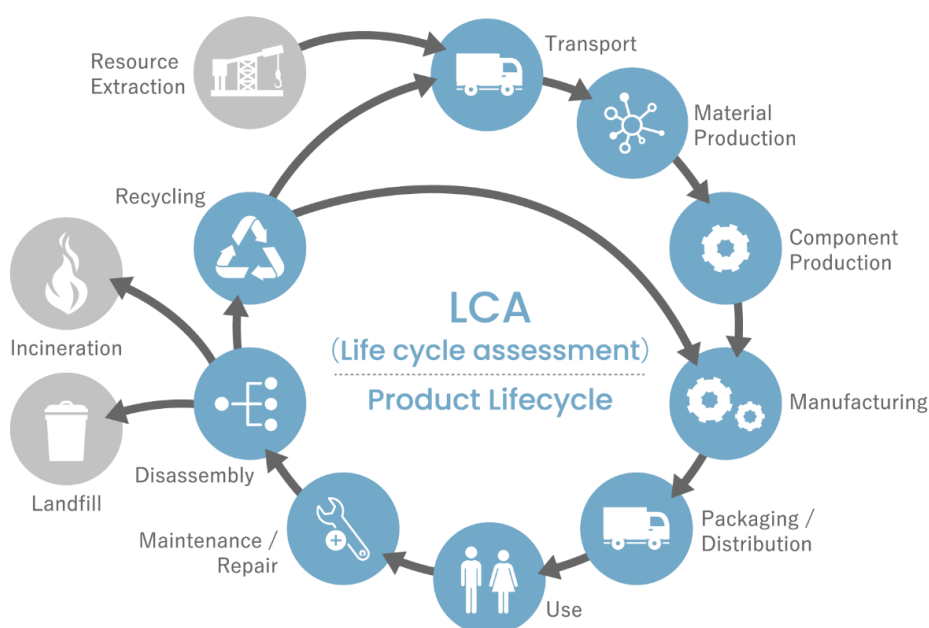
3.2. COMPLESSITÀ

- Mancanza di linee guida precise per la stesura dei Passaporti Materiali
- Necessità di molte informazioni per ottenere le certificazioni, soprattutto nel caso di materiali riutilizzabili
- Costo delle certificazioni EPD
- Mancanza di interesse da parte dei produttori a certificare i loro prodotti se forniscono prestazioni meccaniche migliori rispetto ai concorrenti
- Necessità di aggiornare continuamente i certificati e i passaporti dei materiali ogni volta che viene effettuata un'operazione o una trasformazione su di essi
- Redazione dell'EPD possibile solo a seguito di un LCA, il quale non è sempre facile a causa della necessità di conoscere la catena di approvvigionamento dei materiali



CARATTERIZZAZIONE DELLA BEST PRACTICE K

CODICE UNIVOCO	BP_K
NOME	LIFE CYCLE ASSESSMENT E LIFE CYCLE COSTING ASSESSMENT
OGGETTO	Materiali - Risorse - Componenti - Intero edificio
FASE DEL CICLO DI VITA	Progettazione - Fabbricazione del prodotto - Processo di costruzione - Funzionamento e uso - Ristrutturazione - Fine vita
CONDIZIONI DI DISPONIBILITÀ/PREREQUISITI	Licenza, professionista formato, disponibilità dei dati



Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancia Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.



1. CARATTERISTICHE

1.1. DESCRIZIONE

La valutazione del ciclo di vita è uno strumento utile per monitorare l'impatto dei materiali, dei componenti e dell'intero edificio, soprattutto in termini ambientali, in tutte le fasi del ciclo di vita, dalla produzione alla fine del ciclo di vita. L'LCA viene utilizzato allo stesso tempo per effettuare scelte tra alternative progettuali, con il supporto allo stesso tempo della valutazione del costo del ciclo di vita, utile per valutare gli investimenti, i ritorni e i benefici economici che possono derivare da diversi interventi edilizi.

1.2. RILEVANZA PER GLI EDIFICI CIRCOLARI

L'LCA è estremamente utile per effettuare scelte progettuali consapevoli in termini di impatto ambientale: andando a considerare tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio o di un suo componente, si è in grado di utilizzare i risultati di questa valutazione sia per effettuare le migliori scelte progettuali dal punto di vista della circolarità delle risorse (secondo i principi del Ridurre, Riutilizzare e Riciclare), sia per individuare le parti dell'edificio o le operazioni su di esso che pregiudicano, ad esempio, l'uso efficiente dell'energia o dei materiali; rispetto a quest'ultimo punto, l'LCA è in grado di portare a un ripensamento dell'edificio o a una ristrutturazione delle parti problematiche di esso.

1.3. ASPETTI DELL'INNOVAZIONE

L'innovazione dell'LCA non sta tanto nella procedura e nell'idea di base, che da anni sono riconosciute come valide per valutare la sostenibilità di prodotti ed edifici: la vera trasformazione che deve avvenire nel settore delle costruzioni è la sua sistematica integrazione nei processi decisionali. Per raggiungere questo obiettivo è necessaria la collaborazione di tutti gli stakeholders: innanzitutto ci deve essere l'impegno dei produttori a fornire informazioni sugli impatti generati nella produzione dei materiali da costruzione; poi tocca ai progettisti integrare questi stessi dati nel modello BIM per osservare come cambia l'impatto dell'edificio in relazione alle scelte progettuali e individuare la soluzione migliore da questo punto di vista. Infine, non può mancare il coinvolgimento degli enti preposti alla gestione del fine vita dei materiali: anche loro sono chiamati a fare le scelte migliori per la circolarità, valutando diversi scenari di riutilizzo, riciclo, recupero o smaltimento. L'LCC è a sua volta uno strumento innovativo che permette, grazie a metodi empirici e modelli finanziari, di monetizzare i benefici: sarebbe opportuno che le figure coinvolte nella valutazione del ciclo di vita degli investimenti venissero istruite sulle potenzialità di questo strumento e lo implementassero, in modo che le scelte vengano fatte contando anche i benefici derivanti dalle scelte di circolarità, che solitamente vengono considerate soltanto come un investimento.



2. INFORMAZIONI TECNICHE

Principali informazioni tecniche fornite dalla letteratura.

2.1. APPLICAZIONI PRATICHE

- Utilizzo di software come OpenLca per la valutazione di singoli materiali o riferimento a banche dati come Ecolnvent
- Valutazione dell'intero edificio sulla base dei risultati dell'LCA dei singoli materiali o componenti coinvolti
- Preferenza per i produttori in grado di fornire le EPD dei prodotti di interesse per facilitare il calcolo LCA dell'intero edificio
- Realizzazione dell'LCA seguendo le fasi previste dalla norma ISO 14040/44, dopo aver scelto un *system boundary* adatto alla situazione da analizzare
- Considerare gli incentivi e le agevolazioni fiscali derivanti dalle scelte di circolarità nell'LCC per la valutazione delle opportunità di mercato
- Utilizzo del LCA sui materiali di riuso per promuoverne il riutilizzo in altri edifici e dimostrare il vantaggio rispetto agli stessi materiali vergini

2.2. STAKEHOLDERS COINVOLTI

- Architetti
- Progettisti strutturali
- Progettisti di impianti
- Produttori di materiali da costruzione
- Produttori di componenti per impianti
- Audit dell'organismo di certificazione



3. IMPATTO

3.1. VANTAGGI

- Identificazione dei processi o dei materiali più impattanti e delle alternative più sostenibili nelle prime fasi di progettazione
- Verifica della conformità delle scelte progettuali alle normative ambientali
- Identificazione delle opportunità di innovazione e dimostrazione quantitativa del loro potenziale
- Valutazione e confronto di interventi su edifici esistenti, con quantificazione, anche monetaria, dei loro benefici
- Aumento dell'uso di materiali innovativi e a basso impatto negli edifici rispetto ai materiali tradizionali che appaiono peggiori nell'LCA
- Quantificazione dell'effettivo beneficio legato alle scelte di circolarità e alle best practices
- Confronto possibile tra i possibili scenari di fine vita dell'edificio

3.2. COMPLESSITÀ

- Complessità nel trattare interi edifici a causa del gran numero di materiali e componenti diversi coinvolti
- Impossibilità, molto spesso, di estendere i calcoli già effettuati a più edifici
- Mancanza di una copertura completa del database di tutti i processi produttivi e in particolare della lavorazione dei materiali di demolizione
- Limitazione dell'LCA nel valutare impatti facilmente quantificabili, non consentendo indici di circolarità completi
- Necessità di adattare gli scenari già presenti nei calcoli alla situazione reale e possibilità di sottostime derivanti da ipotesi e semplificazioni
- Necessità di affidarsi a strumenti empirici per la monetizzazione degli impatti



CARATTERIZZAZIONE DELLA BEST PRACTICE L

CODICE UNIVOCO	BP_L
NOME	PROGETTAZIONE PER L'EFFICIENZA ENERGETICA
OGGETTO	Materiali - Risorse - Componenti - Intero edificio
FASE DEL CICLO DI VITA	Progettazione - Fabbricazione del prodotto - Processo di costruzione - Funzionamento e utilizzo - Ristrutturazione
CONDIZIONI DI DISPONIBILITÀ/PREREQUISITI	Licenze software, formazione dei progettisti, disponibilità dei prodotti, conformità ai regolamenti



Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.



1. CARATTERISTICHE

1.1. DESCRIZIONE

Per limitare il consumo di fonti energetiche, in particolare di combustibili fossili, è consigliabile progettare nuovi edifici, o intervenire nella riqualificazione di quelli esistenti, operando nell'ottica dell'efficienza energetica: una progettazione di questo tipo prevede di ottenere un involucro in grado di minimizzare le dispersioni, sempre nel rispetto dei limiti normativi vigenti, e di sfruttare gli apporti gratuiti e i meccanismi passivi; allo stesso tempo, gli impianti sono studiati per avere alti rendimenti, senza sprecare energia quando non è necessario e limitando le perdite dovute a malfunzionamenti.

1.2. RILEVANZA PER GLI EDIFICI CIRCOLARI

La progettazione per l'efficienza energetica si basa sui principi dell'economia circolare *Reduce* e *Rethink*: l'edificio, infatti, viene progettato per minimizzare la richiesta di energia termica, sia grazie a scelte relative alla configurazione dell'edificio, come l'orientamento, sia grazie ai materiali che vengono scelti per immagazzinare energia termica e sfruttare gli apporti gratuiti. Nell'ottica della riduzione rientra anche il corretto comportamento dell'utente dell'edificio, che deve essere adeguatamente educato al risparmio energetico e può essere aiutato da sistemi domotici che garantiscano la massima efficienza e, allo stesso tempo, il benessere termigrometrico all'interno dell'edificio. Una riduzione dei consumi energetici permette di ridurre l'utilizzo di fonti energetiche, oggi prevalentemente coperte da combustibili fossili, e di conseguenza, le emissioni in atmosfera, diminuendo l'impatto ambientale. Inoltre, l'utilizzo di sistemi di recupero del calore e di ventilazione meccanica controllata permette di riciclare e riutilizzare il calore una volta prodotto.

1.3. ASPETTI DELL'INNOVAZIONE

Poiché le normative sull'efficienza energetica sono in continua evoluzione e i requisiti prestazionali diventano sempre più vincolanti, l'innovazione nell'approccio deve risiedere nell'adozione di soluzioni in anticipo: nel caso di edifici nuovi, non è sufficiente rispettare i vincoli normativi, come ad esempio per le trasmittanze dell'involucro, ma puntare alle migliori prestazioni ambientali possibili, nonostante gli investimenti necessari. Nel caso degli edifici esistenti, gli interventi devono essere tempestivi, poiché ogni ritardo nella riqualificazione energetica comporta un impatto che non può essere compensato in seguito. Per quanto riguarda le innovazioni tecnologiche, i produttori devono impegnarsi nello sviluppo di nuovi materiali e nuove tecnologie impiantistiche che migliorino le prestazioni energetiche degli edifici, mentre chi sceglie i componenti edilizi deve considerare il contributo che può dare. I fornitori di componenti impiantistici si devono innovare nell'integrazione di sensori e sonde per monitorare l'efficienza degli impianti: in questo modo possono intervenire in caso di malfunzionamenti e prolungare il più possibile la loro vita utile.



2. INFORMAZIONI TECNICHE

Principali informazioni tecniche fornite dalla letteratura.

2.1. APPLICAZIONI PRATICHE

- Utilizzo di materiali a ridotta energia incorporata (compresi i materiali riutilizzati)
- Isolamento adeguato delle pareti, con trasmittanze complessive delle chiusure opache inferiori a quelle richieste dalla normativa
- Finestre e porte con telai almeno a doppia camera e a taglio termico e sistemi di oscuramento
- Orientamento e configurazione degli edifici per minimizzare la dispersione (ad esempio, configurazioni compatte)
- Attenzione anche alle soluzioni di riscaldamento passivo (ad esempio, materiali ad alta inerzia termica)
- Installazione di sonde e rilevatori di condizioni interne per il controllo automatico degli impianti, anche con il contributo della domotica, e attenta manutenzione
- Ottimizzazione dei processi di costruzione e demolizione, soprattutto in termini di mezzi
- Installazione di generatori e unità di recupero del calore all'avanguardia
- Identificazione ed eliminazione meticolosa dei ponti termici
- Modellazione termodinamica dell'edificio, preferibilmente su base oraria

2.2. STAKEHOLDERS COINVOLTI

- Architetti
- Progettisti strutturali
- Progettisti di impianti
- Imprese di costruzione
- Installatori/manutentori di impianti
- Installatori di finestre
- Produttori di materiali da costruzione
- Produttori di componenti per impianti



3. IMPATTO

3.1. VANTAGGI

- Riduzione dei costi di gestione dell'edificio
- Migliore controllo del comfort interno per l'utente
- Riduzione delle emissioni di CO₂ e degli impatti ambientali in generale
- Possibilità di realizzare edifici a energia zero (edifici NZEB o ZEB) adottando tali soluzioni in combinazione con l'introduzione di fonti di energia rinnovabili e la produzione in loco
- Possibilità di monitorare costantemente i consumi attraverso l'utilizzo di sensori e organi di controllo dell'impianto
- Opportunità di sostituire impianti vecchi e inefficienti, spesso alimentati da combustibili fossili, con nuovi impianti meno impattanti e più performanti

3.2. COMPLESSITÀ

- Costi elevati dei generatori di ultima generazione e dei materiali più efficienti dal punto di vista termico
- Maggiore impatto dei materiali isolanti rispetto ad altri e numerose difficoltà nel loro riciclo e/o riutilizzo
- Continua evoluzione delle normative sulle prestazioni energetiche degli edifici, con conseguente necessità di andare oltre i limiti richiesti e quindi il rischio che siano necessari nuovi interventi nel breve futuro
- Necessità di elaborare, in accompagnamento ai progetti di riqualificazione, soluzioni per la gestione dei rifiuti derivanti dalla dismissione, ad esempio, di vecchi infissi
- Indicazione nei quadri di riferimento di criteri di ottimizzazione della progettazione limitati alla sola fase operativa dell'edificio



CARATTERIZZAZIONE DELLA BEST PRACTICE M

CODICE UNIVOCO	BP_M
NOME	TRANSIZIONE VERSO LE FONTI DI ENERGIA RINNOVABILI
OGGETTO	Materiali - Risorse - Componenti - Intero edificio
FASE DEL CICLO DI VITA	Progettazione - Fabbricazione del prodotto - Funzionamento e utilizzo - Ristrutturazione - Fine vita
CONDIZIONI DI DISPONIBILITÀ/PREREQUISITI	Formazione per progettisti, disponibilità di prodotti





1. CARATTERISTICHE

1.1. DESCRIZIONE

Anche se i fabbisogni energetici degli edifici o dei singoli materiali sono ridotti, è necessario che per soddisfarli si utilizzino fonti energetiche rinnovabili e pulite, in modo da evitare operazioni come la combustione di una fonte fossile, la cui estrazione, lavorazione e trasporto sono tra le maggiori fonti di impatto ambientale, soprattutto sull'aria. A questo si affianca anche la necessità di avere fonti non esauribili e che permettano di produrre l'energia direttamente nel luogo di conseguente utilizzo, con impianti ad hoc.

1.2. RILEVANZA PER GLI EDIFICI CIRCOLARI

L'installazione di sistemi di produzione di energia rinnovabile in loco, sia sugli edifici esistenti che su quelli di nuova costruzione, consente la massima circolarità energetica, soprattutto in un'ottica di autoproduzione e autoconsumo: generando energia e immagazzinandola per attingervi al momento del bisogno, si evita di sprecare quanto prodotto e si riduce la domanda di energia da parte delle linee nazionali, che utilizzano principalmente combustibili fossili per la produzione. L'uso di fonti rinnovabili nella produzione di materiali da costruzione riduce anche l'impronta di carbonio associata, rendendoli così più circolari. Le produzioni rinnovabili sono particolarmente importanti per raggiungere la circolarità energetica negli edifici esistenti, in quanto consentono di rispondere al surplus di domanda energetica legato alle basse prestazioni dei loro involucri.

1.3. ASPETTI DELL'INNOVAZIONE

L'integrazione di sistemi di energia rinnovabile sugli edifici è da diversi anni un tema chiave per la sostenibilità ambientale: l'innovazione per la circolarità deve risiedere nell'ampliamento della scala di applicazione di questi sistemi. Sempre più soluzioni tecnologiche vengono proposte, ad esempio, dai produttori di pannelli solari: perché il loro mercato non si stabilizzi, è necessario puntare su soluzioni innovative, come pannelli personalizzati che possano essere integrati in qualsiasi componente dell'edificio, dalle coperture alle pareti e ai serramenti; l'impegno principale dei produttori deve essere quello di produrre pannelli con materiali locali, cosa oggi impossibile in quanto il mercato è ancora dominato dalla logica del profitto che punta ad acquistare materiali a basso costo nei Paesi asiatici: occorre quindi che ci siano iniziative, anche pubbliche e con finanziamenti o incentivi, che spingano alla creazione di mercati europei, in cui i costi e le emissioni legate al trasporto dei materiali sarebbero più bassi.



2. INFORMAZIONI TECNICHE

Principali informazioni tecniche fornite dalla letteratura.

2.1. APPLICAZIONI PRATICHE

- Installazione dei pannelli fotovoltaici, con il corretto orientamento, e degli altri componenti impiantistici necessari per lo sfruttamento dell'energia elettrica, nonché per il trasferimento dell'eccedenza non utilizzata alla rete in assenza di batterie
- Installazione di pannelli solari termici sui tetti per la produzione di acqua calda sanitaria o per il preriscaldamento dell'acqua negli impianti di riscaldamento
- Sostituzione di caldaie a combustibili fossili con caldaie a biomassa (rinnovabili) o pompe di calore che sfruttano meglio la produzione di energia elettrica fotovoltaica
- Partecipazione a progetti di energia comunitaria, teleriscaldamento e produzione distrettuale per utilizzare l'energia rinnovabile prodotta nei grandi impianti
- Adozione di soluzioni impiantistiche basate sulla produzione di calore geotermico, o di energia elettrica da fonte eolica e idroelettrica
- Scelta di impianti e fonti rinnovabili in base alle esigenze dell'edificio

2.2. STAKEHOLDERS COINVOLTI

- Progettisti di impianti
- Installatori/manutentori di impianti
- Produttori di componenti per impianti
- Amministrazioni pubbliche



3. IMPATTO

3.1. VANTAGGI

- Possibilità di accedere a numerosi incentivi a livello nazionale o regionale per facilitare la transizione verso l'energia verde
- Significativi risparmi economici sui consumi, con addirittura qualche profitto nel caso di vendita di energia elettrica, una volta trascorso il periodo di ritorno dell'investimento
- Limitazione della produzione di CO₂ e di altre particelle inquinanti legate alla combustione dei combustibili fossili
- Possibilità di integrare impianti da fonti rinnovabili anche in un momento successivo alla costruzione dell'edificio, a seconda delle esigenze individuate
- Diverse opzioni di scelta rispetto alla fonte di energia rinnovabile a seconda delle esigenze e delle risorse più sfruttabili
- Capacità di integrazione nella maggior parte degli edifici esistenti

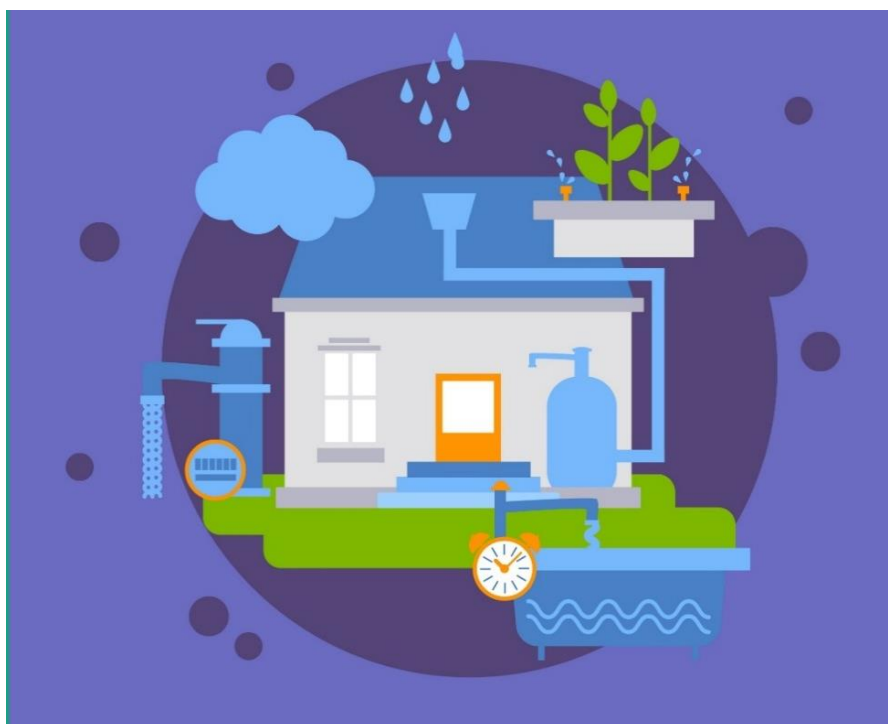
3.2. COMPLESSITÀ

- Produzione di pannelli fotovoltaici concentrata nei paesi asiatici per i quali il trasporto è lungo, costoso e inquinante
- Batterie utilizzate per l'accumulo di energia elettrica altamente inquinanti, non riutilizzabili e con vita limitata, così come la maggior parte dei componenti dei sistemi fotovoltaici
- Necessità di considerazioni progettuali a seconda della configurazione dell'edificio
- Difficile integrazione delle rinnovabili negli edifici storici a causa di vincoli
- Notevole produzione di rifiuti dovuta all'ampia sostituzione di impianti esistenti
- Per gli edifici di grandi dimensioni, necessità di installazioni costose e di grande ingombro
- Necessità di manutenzione e sostituzione frequente dei componenti
- Produzione non costante e che richiede a sostegno connessioni alla rete, altri generatori di riserva o sistemi di stoccaggio



CARATTERIZZAZIONE DELLA BEST PRACTICE N

CODICE UNIVOCO	BP_N
NOME	RISPARMIO E GESTIONE DELL'ACQUA
OGGETTO	Materiali - Risorse - Intero edificio
FASE DEL CICLO DI VITA	Progettazione - Fabbricazione del prodotto - Processo di costruzione - Funzionamento e utilizzo - Fine vita
CONDIZIONI DI DISPONIBILITÀ/PREREQUISITI	Conformità alle normative, disponibilità dei prodotti



Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancira Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

www.ita-slo.eu/circularbuildings



Circular.buildings



Circular.buildings



1. CARATTERISTICHE

1.1. DESCRIZIONE

Come l'energia, l'acqua è una risorsa che deve essere utilizzata con parsimonia e senza sprechi, a partire dalla produzione dei materiali, passando per le fasi di costruzione, fino all'utilizzo effettivo dell'edificio. Questa best practice include soluzioni per l'efficienza nell'uso dell'acqua, nonché quelle volte a massimizzare il riutilizzo dell'acqua piovana e a garantire l'invarianza idraulica degli interventi nell'ambiente costruito.

1.2. RILEVANZA PER GLI EDIFICI CIRCOLARI

La circolarità dell'acqua non è esplicitamente inclusa in nessuna delle altre buone pratiche e, anzi, molto spesso non le viene attribuita la necessaria importanza. Le pratiche qui indicate consentono di attuare il principio di circolarità della riduzione, grazie all'uso ottimizzato della risorsa, ma anche del riuso/riciclo, sia che si tratti di utilizzare l'acqua piovana per l'irrigazione, ad esempio, sia che si inseriscano dispositivi per il trattamento delle acque reflue per il loro riutilizzo. Operando in questo modo, ed educando l'utente dell'edificio al risparmio idrico, si riesce a limitare il più possibile l'approvvigionamento dalla rete idrica locale: per far funzionare gli impianti di quest'ultima sono necessarie grandissime quantità di energia, da cui deriva un impatto altrettanto grande che, adottando queste piccole soluzioni a livello di edificio, possiamo ridurre.

1.3. ASPETTI DELL'INNOVAZIONE

La principale innovazione di questa pratica consiste nel prestare attenzione alla risorsa meno considerata all'interno dell'edificio e della sua filiera produttiva: in primo luogo, il produttore dei materiali deve limitarne l'uso e gli scarti nei processi; l'appaltatore, di conseguenza, deve effettuare una scelta dei materiali basata anche sulla minima *embodied water*, e inoltre deve pianificare il cantiere e la costruzione in modo che il consumo in loco sia il più basso possibile. Per quanto riguarda il progettista, il suo ruolo è più che mai fondamentale, soprattutto per garantire l'invarianza idraulica del progetto e limitare le conseguenze idrogeologiche dell'edificio, soprattutto in questo contesto di cambiamento climatico: l'integrazione di vasche di raccolta e tetti verdi può in parte contribuire a mitigare il problema. Per quanto riguarda la fase di manutenzione, l'introduzione di dispositivi per l'individuazione di perdite e malfunzionamenti è a sua volta un'innovazione estremamente utile per l'efficienza dei consumi idrici.



2. INFORMAZIONI TECNICHE

Principali informazioni tecniche fornite dalla letteratura.

2.1. APPLICAZIONI PRATICHE

- Riduzione al minimo delle pavimentazioni impermeabili, a favore di terreni permeabili
- Costruzione di cisterne per la raccolta dell'acqua piovana, da utilizzare per scopi non sanitari come l'irrigazione
- Installazione di dispositivi per il risparmio idrico, come regolatori di flusso per i rubinetti o gocciolatoi
- Controlli sistematici delle perdite
- Riduzione dell'uso dell'acqua per scopi decorativi, a meno che non sia garantito il pieno recupero
- Inclusione di impianti di trattamento delle acque grigie
- Utilizzo di prodotti che di per sé sono realizzati con una riduzione dell'acqua incarnata
- Educazione degli utenti sul modo migliore di gestire l'uso dell'acqua
- Introduzione di soluzioni per il ricircolo dell'acqua potabile al fine di mantenerne la qualità ed evitare la proliferazione dei batteri

2.2. STAKEHOLDERS COINVOLTI

- Progettisti strutturali
- Progettisti di impianti
- Installatori/manutentori di impianti
- Produttori di componenti per impianti



3. IMPATTO

3.1. VANTAGGI

- Ottenimento di un risparmio, anche monetario, sulla produzione di energia termica e una conseguente riduzione anche delle emissioni di CO₂ nel caso di generazione da combustibili fossili.
- Risparmio monetario sul consumo di acqua
- Riduzione al minimo dello spreco di acqua potabile per scopi meno nobili, come l'irrigazione
- Riduzione dei problemi di deflusso delle acque meteoriche nella rete fognaria cittadina mediante l'adozione di soluzioni di invarianza idraulica

3.2. COMPLESSITÀ

- Impossibilità di costruire serbatoi sotterranei o di dimensioni sufficienti a garantire la copertura del fabbisogno anche nei periodi di scarse precipitazioni
- Costi elevati per mantenere l'intero sistema idraulico in perfetta efficienza
- Scarso interesse generale per le risorse idriche, considerate meno importanti dell'energia
- Necessità, per i grandi complessi, di parcheggi e aree pavimentate che, se non impermeabili, non consentono l'invarianza idraulica
- Mancanza, ad oggi, di una tendenza globale all'inclusione sistematica di dispositivi di risparmio idrico nei prodotti disponibili sul mercato



CARATTERIZZAZIONE DELLA BEST PRACTICE O

CODICE UNIVOCO	BP_O
NOME	AFFIDAMENTO SULLE CERTIFICAZIONI EDILIZIE E SUGLI INDICATORI DI CIRCOLARITÀ
OGGETTO	Materiali - Risorse - Intero edificio
FASE DEL CICLO DI VITA	Progettazione - Fabbricazione del prodotto - Processo di costruzione - Funzionamento e utilizzo - Ristrutturazione - Fine vita
CONDIZIONI DI DISPONIBILITÀ/PREREQUISITI	Affidamento all'ente di certificazione, disponibilità dei dati



Il progetto CIRCULAR.BUILDINGS è cofinanziato dall'Unione europea nell'ambito del Programma Interreg VI-A Italia-Slovenia.
Projekt CIRCULAR.BUILDINGS sofinancia Evropska unija v okviru Programa Interreg VI-A Italija-Slovenija.

www.ita-slo.eu/circularbuildings



Circular.buildings



Circular.buildings



1. CARATTERISTICHE

1.1. DESCRIZIONE

Si tratta di indicatori o livelli di prestazione che quantificano la conformità dell'edificio a standard ambientali, sociali ed economici; nel caso della certificazione di sostenibilità, forniscono un'indicazione dell'impatto ambientale in primo luogo dell'edificio, soprattutto nella fase di utilizzo. L'aggiunta degli indici di circolarità serve a focalizzare l'attenzione su tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio e sui loro impatti, in particolare sulle pratiche di fine vita.

1.2. RILEVANZA PER GLI EDIFICI CIRCOLARI

Affidarsi agli enti di certificazione per quantificare la sostenibilità e la circolarità dell'edificio permette, come nel caso dell'LCA, su cui si basa la maggior parte dei metodi di certificazione, di individuare le fasi e le procedure del ciclo di vita che possono essere ottimizzate per ridurre il consumo di materiali e risorse, soprattutto nella fase di utilizzo dell'edificio. Inoltre, queste certificazioni sono importanti perché sono in grado di valutare anche gli effetti che le scelte circolari hanno su altri ambiti della sostenibilità, in particolare su quello sociale: in questo modo si ottengono dimostrazioni tangibili dei benefici in termini di benessere psico-fisico dell'utente di questi edifici circolari certificati.

1.3. ASPETTI DELL'INNOVAZIONE

Tradizionalmente queste certificazioni si concentravano solo sulla sostenibilità degli edifici, mentre ora è interesse degli stessi enti integrare nei loro sistemi di valutazione indicatori in grado di fornire una vera quantificazione della circolarità. La loro utilità nella transizione verso un settore edilizio più verde sta anche nell'aver fornito quadri progettuali che i progettisti possono seguire fedelmente, anche se non conoscono a fondo la circolarità, per avvicinarsi a questo paradigma in modo semplice. Il cambiamento più necessario ora è l'estensione dell'interesse per queste certificazioni da parte dei produttori di componenti, dei progettisti e delle imprese di costruzione, al fine di creare uno slancio comune e partecipativo, nonché un effetto di emulazione, soprattutto alla scala dei piccoli edifici e del settore residenziale.



2. INFORMAZIONI TECNICHE

Principali informazioni tecniche fornite dalla letteratura.

2.1. APPLICAZIONI PRATICHE

- Perseguire l'ottenimento certificazioni come BREEAM, LEED, WELL che quantificano la sostenibilità dell'edificio
- Calcolo di indici come l'indicatore di circolarità dei materiali (MCI) o altri indicatori presenti in letteratura
- Aderire alle linee guida fornite sui siti web dei principali sistemi di rating per garantire che tutte le procedure di selezione dei materiali e di costruzione siano eseguite in modo coerente con quanto richiesto
- Utilizzo di materiali con certificazioni ambientali e EPD
- Conformità generale alle best practices identificate
- Aderenza alle linee guida, come ad esempio i livelli
- Utilizzo di tecniche come l'analisi dei flussi di materiale (*Material Flow Analysis*) per tracciare i flussi di materiale per il calcolo di altri indicatori

2.2. STAKEHOLDERS COINVOLTI

- Architetti
- Progettisti strutturali
- Progettisti di impianti
- Installatori/manutentori di impianti
- Produttori di componenti per impianti
- Audit dell'organismo di certificazione



3. IMPATTO

3.1. VANTAGGI

- Accesso a incentivi economici calibrati sul grado di sostenibilità
- Migliori prestazioni dell'edificio in termini ambientali
- Riduzione dei costi di gestione dell'edificio
- Migliori condizioni di benessere interno per gli utenti
- Aumento del valore degli edifici con certificazione
- Quantificazione attraverso alcuni indicatori di circolarità del ritorno economico, non solo contando i risparmi monetari effettivi, ma anche quelli legati alla riduzione degli impatti e ai guadagni da impatti positivi
- Effetto emulazione derivante dal crescente numero di edifici certificati nella progettazione di nuovi edifici e negli interventi su quelli esistenti

3.2. COMPLESSITÀ

- Identificazione degli indici di circolarità più rappresentativi
- Quantificazione delle quantità di materiali negli edifici esistenti necessarie per il calcolo degli indicatori
- Quantificazione difficoltosa del benessere dell'utente e degli indicatori di circolarità più soggettivi
- Impossibilità di ottenere risultati completamente affidabili e realistici a causa di numerose ipotesi e simulazioni di scenari
- Necessità di scelte e precauzioni progettuali spesso più costose per ottenere le certificazioni
- Mancanza di un quadro di riferimento definitivo per la valutazione della circolarità, invece che della sola sostenibilità

