



WHITE PAPER

**PROGETTARE
E COSTRUIRE
EDIFICI
SOSTENIBILI
E RESILIENTI
IN ACCIAIO**

Questa pubblicazione è un documento tecnico di Fondazione Promozione Acciaio (FPA) commissionato al team di ricerca dell'Università degli Studi di Brescia (UNIBS). Il documento richiama i principi della progettazione di edifici in carpenteria metallica per scopi formativi e divulgativi, oltre a fornire un aggiornamento tecnico/scientifico relativamente alle seguenti macro-tematiche: sostenibilità, economia circolare con approccio LCA ed innovazione tecnologica. Per informazioni sulla metodologia e qualità dei dati utilizzati si prega di contattare gli autori e consultare i riferimenti bibliografici citati nel testo.

Informazioni di contatto



Nome: Marta Maria Sesana – Università degli Studi di Brescia
Indirizzo: Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio, Ambiente e di Matematica (DICATAM),
Via Branze 43, 25123 Brescia, Italia
Email: marta.sesana@unibs.it



Fondazione Promozione Acciaio – Ente per lo sviluppo delle costruzioni in acciaio
Indirizzo: Via Vivaio 11, 20122 Milano, Italia
Email: segreteria@fpacciaio.it
www.promozioneacciaio.it

Documento di proprietà di

Fondazione Promozione Acciaio, Via Viviano 11, 20122 Milano

Responsabile scientifico del documento e della Commissione Sostenibilità di Fondazione Promozione Acciaio

Prof. Marta Maria Sesana – Università degli Studi di Brescia

Gruppo di lavoro

Ing. Paolo Dell'Oro – Università degli Studi di Brescia

In copertina:

ITAS Forum, Trento. Committente: Itas Group – Progetto architettonico: Studio BBS – Progetto strutturale costruttivo: PICHLER projects Srl- Imprese: ATI PICHLER projects Srl (capogruppo), Caliari Giuseppe & C Srl, Giacca Srl, Larentis Lorenz Srl, Gruber Srl. Foto: Alex Filz, PICHLER projects Srl.

Copyright 2024 Fondazione Promozione Acciaio (FPA) – Università degli Studi di Brescia (UNIBS)

Questo documento non deve essere copiato, riprodotto o modificato in toto o in parte per nessuno scopo senza l'autorizzazione scritta da parte di Fondazione Promozione Acciaio e UNIBS.

Come citare questo documento: Sesana M.M.; Dell'Oro P.¹ (2024). White Paper: *Progettare e costruire edifici sostenibili e resilienti in acciaio – White Paper*. Fondazione Promozione Acciaio – Commissione Sostenibilità, Università degli Studi di Brescia. Pubblicazione: Settembre 2024. ISBN: 9791221053869

INDICE

| | |
|--|-----|
| RINGRAZIAMENTI..... | 4 |
| INTRODUZIONE..... | 5 |
| 1 LA DECARBONIZZAZIONE DELL'AMBIENTE COSTRUITO..... | 6 |
| 1.1 NEUTRALITÀ CARBONICA: SFIDA E OPPORTUNITÀ PER LE COSTRUZIONI..... | 7 |
| 1.2 ECONOMIA CIRCOLARE: FONDAMENTI E AMBITI DI APPLICAZIONE..... | 14 |
| 1.3 PANORAMICA NORMATIVA VERSO LA DECARBONIZZAZIONE..... | 20 |
| 1.3.1 DIRETTIVA SULL'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEGLI EDIFICI..... | 25 |
| 1.3.2 DIRETTIVA SULL'EFFICIENZA ENERGETICA..... | 26 |
| 1.3.3 EUROPEAN GREEN DEAL..... | 27 |
| 1.3.4 FIT FOR 55..... | 29 |
| 1.4 STRUMENTI PER LA DECARBONIZZAZIONE DEGLI EDIFICI..... | 31 |
| 1.4.1 LEVEL(S)..... | 31 |
| 1.4.2 SMART READINESS INDICATOR..... | 32 |
| 1.4.3 BUILDING RENOVATION PASSPORT..... | 33 |
| 2 SOSTENIBILITÀ E RESILIENZA: DEFINIZIONI E RATING DI VALUTAZIONE PER LA FILIERA DELLE COSTRUZIONI..... | 34 |
| 2.1 SOSTENIBILITÀ: DEFINIZIONI, METODI E AMBITI DI VALUTAZIONE..... | 35 |
| 2.1.1 PROTOCOLLI E RATING DI SOSTENIBILITÀ..... | 38 |
| 2.1.2 CERTIFICAZIONI AMBIENTALI PER I PRODOTTI DA COSTRUZIONE..... | 42 |
| 2.1.3 EDIFICI COME BANCA DATI DI MATERIALI..... | 46 |
| 2.2 RESILIENZA: DEFINIZIONI, METODI E AMBITI DI VALUTAZIONE..... | 47 |
| 2.3 STRUMENTI E METODI PER LA VALUTAZIONE D'IMPATTO DELLA SOSTENIBILITÀ E DELLA RESILIENZA PER LE INDUSTRIE DELLE COSTRUZIONI..... | 49 |
| 2.4 DEFINIZIONE E VALIDAZIONE DEL METODO SARIA PER LE INDUSTRIE DELLA FILIERA COSTRUTTIVA IN CARPENTERIA METALLICA..... | 51 |
| 2.4.1 LA STRUTTURAZIONE DEL METODO SARIA..... | 51 |
| 3 PROGETTAZIONE LIFE-CYCLE E STRUMENTI DI VALUTAZIONE LCA-BASED..... | 54 |
| 3.1 LIFE CYCLE ASSESSMENT COME STRUMENTO PER L'ANALISI DELL'IMPATTO AMBIENTALE..... | 55 |
| 3.2 L'ANALISI LCA NEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI..... | 61 |
| 3.3 LCA NEI PRINCIPALI GREEN BUILDING RATING SYSTEMS..... | 65 |
| 3.4 STRUMENTI LCA E LCC PER UN'EDILIZIA SOSTENIBILE..... | 68 |
| 4 EDIFICI IN CARPENTERIA METALLICA: DALLA PROGETTAZIONE AL CANTIERE CON COSTRUZIONE OFF-SITE..... | 72 |
| 4.1 LA PROGETTAZIONE INTEGRATA COME MUST HAVE PER EDIFICI SOSTENIBILI E RESILIENTI..... | 73 |
| 4.2 EDIFICI A SECCO IN ACCIAIO: CARATTERISTICHE E VANTAGGI..... | 76 |
| 4.3 REALIZZAZIONI DI EDIFICI IN CARPENTERIA METALLICA..... | 81 |
| 5 CONCLUSIONI..... | 108 |
| CONCLUSIONI..... | 109 |
| 6 BIBLIOGRAFIA..... | 110 |
| INDICE FIGURE..... | 116 |
| INDICE TABELLE..... | 118 |
| INDICE BOX..... | 119 |
| 7 AUTORI..... | 120 |

RINGRAZIAMENTI

Il documento *Progettare e costruire edifici sostenibili e resilienti in acciaio* è stato redatto dal gruppo scientifico dell'Università degli Studi di Brescia, nell'ambito del progetto di ricerca commissionato da Fondazione Promozione Acciaio, con il contributo dei membri della Commissione Sostenibilità di FPA.



Gli autori desiderano ringraziare i Soci di Fondazione Promozione Acciaio, membri della Commissione Sostenibilità, che grazie ai loro contributi, input, commenti e revisioni hanno permesso la realizzazione di questo documento:

- AIZ (Associazione Italiana Zincatura);
- ArcelorMittal;
- Arvedi Tubi Acciaio spa;
- Cogi srl;
- Commerciale Siderurgica Bresciana spa;
- Dalmine spa;
- Dufenco Travi e Profilati spa;
- Gabrielli spa;
- Hilti Italia spa;
- Manni Green Tech srl;
- Metall Steel Metaltubi srl;
- Milan Ingegneria spa,
- Nord Zinc srl;
- PICHLER projects srl;
- Profilsider spa;
- Scaff System srl;
- S.I.C.A.M. spa.

Torre Diamante, Milano. Committente: HINES Italia SGR Spa per conto del Fondo Porta Nuova Varesine - Progetto architettonico: Kohn Pedersen Fox Associates - Progetto strutturale: ARUP - Costruttore metallico: PICHLER projects Srl - Impresa: ATI CMB, Unieco - Foto: Kohn Pedersen Fox Associates



INTRODUZIONE

L'ambiente costruito è uno dei principali consumatori di materie prime e risorse naturali a livello globale, responsabile di quasi il 40% delle emissioni di carbonio legate all'energia e del 50% dei materiali estratti. In questo contesto, si evidenzia la sempre più crescente attenzione degli attori del settore ai temi legati alla sostenibilità, influenzati da: regolamenti più stringenti, efficienza dei costi e crescenti preoccupazioni ambientali. La sostenibilità nelle costruzioni può coinvolgere tutte le fasi di creazione di un'opera, dalla progettazione alla realizzazione e all'esercizio. In ciascuna di queste fasi si può analizzare l'impatto delle scelte effettuate e ottimizzare di conseguenza la scelta dei materiali, dei metodi di lavoro, dell'approvvigionamento energetico, delle emissioni e molto altro.

Il presente documento nasce nell'ambito del progetto di ricerca voluto dalla Fondazione Promozione Acciaio e condotto dall'Università

degli Studi di Brescia, relativo alla progettazione e costruzione di edifici sostenibili e resilienti.

Contestualmente alle attività svolte nel corso del 2022-2023, la Commissione Sostenibilità di Fondazione Promozione Acciaio si è posta come obiettivo la redazione del seguente documento per condividere la profonda conoscenza della tematica "Progettare e costruire edifici sostenibili e resilienti in acciaio" e per promuovere tale conoscenza offrendo una soluzione di formazione sulle tematiche in esso contenute.

Il documento è strutturato come un White Paper, ossia, un documento che illustra nel dettaglio la soluzione a un problema o a una situazione critica, offrendo un punto di vista tecnico, il cui obiettivo infatti è quello di informare, attraverso dati e analisi dettagliate, un ampio numero di interlocutori interessati e coinvolti sul tema.

Nello specifico, il documento è stato diviso in quattro capitoli che forniscono un panorama sui principali argomenti legati al settore delle costruzioni in acciaio. Il Box 1 fornisce un quadro sintetico della struttura del White Paper, specificando temi, obiettivi e parole chiave dei quattro capitoli.

Box 1. Capitoli del White Paper della Commissione Sostenibilità di FPA.

1. LA DECARBONIZZAZIONE DELL'AMBIENTE COSTRUITO

Il capitolo 1 ha come obiettivo quello di presentare il tema della decarbonizzazione secondo un punto di vista olistico, che comprende le tre sfere della sostenibilità: economica, sociale e ambientale. Nello specifico vengono presentate le normative e politiche implementate negli ultimi decenni a scala europea, con lo scopo di ridurre l'impatto ambientale e promuovere l'efficienza energetica del settore delle costruzioni, con focus specifico sugli strumenti e metodi in grado di considerare l'intero ciclo di vita dell'ambiente costruito.

Parole chiave: ambiente costruito, decarbonizzazione, emissioni di gas serra, efficienza energetica, settore delle costruzioni.

2. SOSTENIBILITÀ E RESILIENZA: DEFINIZIONI E RATING DI VALUTAZIONE PER LA FILIERA DELLE COSTRUZIONI

Nel capitolo 2 i concetti di sostenibilità e resilienza vengono studiati nel dettaglio dall'origine dei concetti fino alle più recenti applicazioni nell'ambito delle costruzioni, per arrivare alla definizione di un metodo specifico per le aziende della filiera delle costruzioni in carpenteria metallica con lo scopo di analizzare l'attuale situazione della filiera in relazione allo sviluppo sostenibile, al grado di resilienza e agli eventuali impatti.

Parole chiave: sostenibilità, resilienza, sviluppo sostenibile, metodo di valutazione, impatti.

3. PROGETTAZIONE LIFE-CYCLE E STRUMENTI DI VALUTAZIONE LCA-BASED

Il capitolo 3 presenta un approfondimento specifico sull'analisi del ciclo di vita, anche detta LCA (Life Cycle Assessment). Tale processo oggettivo di valutazione dei carichi ambientali prodotti a seguito del ciclo di vita di un prodotto, processo o attività, è stato recentemente inserito tra gli aspetti di valutazione dei nuovi Criteri Ambientali Minimi (CAM) edilizia. In una logica in cui la sostenibilità diventa asse strategico sul quale prendere decisioni, i dati restituiti dalle analisi LCA e LCC costituiscono elementi fondamentali per comprendere, già in fase di progettazione, come ridurre al minimo costi ed impatto sull'ambiente delle nuove costruzioni.

Parole chiave: LCA, LCC, progetto ARCADIA.

4. EDIFICI A SECCO IN ACCIAIO: DALLA PROGETTAZIONE AL CANTIERE CON COSTRUZIONI OFF-SITE

Il capitolo 4 intende approfondire il tema delle costruzioni a secco in acciaio attraverso una presentazione olistica dei sistemi di costruzione off-site, volti all'ottimizzazione delle attività di costruzione, consentendo il trasferimento delle attività critiche costruttive in officina per poi procedere al solo assemblaggio in cantiere, e analizzando dei casi studio di progetti in acciaio realizzati.

Parole chiave: progettazione integrata, carpenteria metallica, sistema S/R, casi studio.

1 LA DECARBONIZZAZIONE DELL'AMBIENTE COSTRUITO

L'ambiente costruito, composto da agglomerati edilizi e infrastrutture di collegamento, risulta tra i primi responsabili delle emissioni, con circa 14,4 gigatoni metrici di anidride carbonica equivalente (GtCO_{2e}) a livello mondiale ogni anno, corrispondenti al 26% di tutte le emissioni di gas serra. È chiara quindi l'urgenza e l'importanza di affrontare la sfida della decarbonizzazione del settore delle costruzioni adottando un approccio olistico, che comprende le tre principali sfere della sostenibilità: economica, sociale e ambientale. Proprio in questa direzione, negli ultimi decenni sono state promosse una serie di normative e politiche a scala europea volte a ridurre l'impatto ambientale e a promuovere l'efficienza energetica del settore delle costruzioni, implementando strumenti e metodi in grado di considerare l'intero ciclo di vita dell'ambiente costruito.

Parole chiave: *ambiente costruito, decarbonizzazione, emissioni di gas serra, efficienza energetica, settore delle costruzioni.*



1.1 NEUTRALITA' CARBONICA: SFIDA E OPPORTUNITA' PER LE COSTRUZIONI

La transizione verso un settore delle costruzioni a emissioni di carbonio nulle rappresenta una delle sfide più significative e ambiziose degli ultimi vent'anni. Il settore edile gioca un ruolo rilevante nel contribuire alla lotta contro il cambiamento climatico, alla creazione di una società a emissioni zero e nell'affrontare l'urgenza di limitare l'aumento della temperatura media globale sotto i 2°C.

In questo contesto il settore delle costruzioni, che è responsabile per il 37% delle emissioni globali di CO₂ e del 30% dei consumi energetici globali (Legambiente, 2022), presenta varie sfide e opportunità.

La Copernicus Climate Change Service (C3S), il servizio di monitoraggio e vigilanza sui cambiamenti climatici dell'Unione Europea, ha presentato, all'interno del report Global Climate Highlights 2022, i dati aggiornati delle temperature, che rivelano che nel 2022 la temperatura media annuale è stata di 0,3°C superiore alla media di riferimento tra il 1991-2020, equivalente a circa 1,2°C in più rispetto al periodo 1850-1900, tipicamente utilizzato come riferimento dell'era preindustriale. Questo fa del 2022 l'ottavo anno consecutivo in cui si registrano temperature superiori di oltre 1°C rispetto al livello preindustriale, oltre ad essere stato il secondo anno più caldo mai registrato in Europa.

L'analisi preliminare dei dati satellitari di tale report (C3S), mediati sull'intera colonna atmosferica,

rivela, inoltre, che le concentrazioni di anidride carbonica, causa principale dell'effetto serra, sono aumentate di circa 2,1 ppm, raggiungendo i 417 ppm nel 2022, il livello più alto mai registrato da oltre 2 milioni di anni.

Anche altri gas come il metano (CH₄) o il protossido di azoto (N₂O), anch'essi responsabili del cambiamento climatico, hanno visto aumentare le proprie percentuali negli ultimi decenni, con il primo che nel 2022 ha raggiunto i 1894 ppb e il secondo 334,5 ppb, rispettivamente il 262% e il 124% dei livelli preindustriali. Si tratta dei risultati più alti dall'inizio delle misurazioni ufficiali, iniziato quasi 40 anni fa (IPCC, 2023).

I dati, illustrati nel grafico in Figura 1, dimostrano quanto sia urgente agire, dal momento che i cambiamenti climatici sono una criticità a livello globale. Anche se lodevoli, non bastano le azioni intraprese dalle singole nazioni, occorrono accordi internazionali e intersettoriali che coordinino i rapporti e le misure da attuare. Questi aumenti di temperatura e di gas inquinanti nell'aria stanno portando a tangibili effetti sull'ambiente che ci circonda, con impatti sull'intero sistema ecologico (Figura 2).

Due sono i tipi di azioni su cui questi accordi si concentrano: (i) la mitigazione, per ridurre l'entità del riscaldamento globale, e (ii) l'adattamento, necessario per far fronte alle conseguenze dei cambiamenti climatici, che sono già riscontrabili, ad esempio, negli eventi estremi quali alluvioni, tempeste di vento, ondate di calore, grandinate e mareggiate.

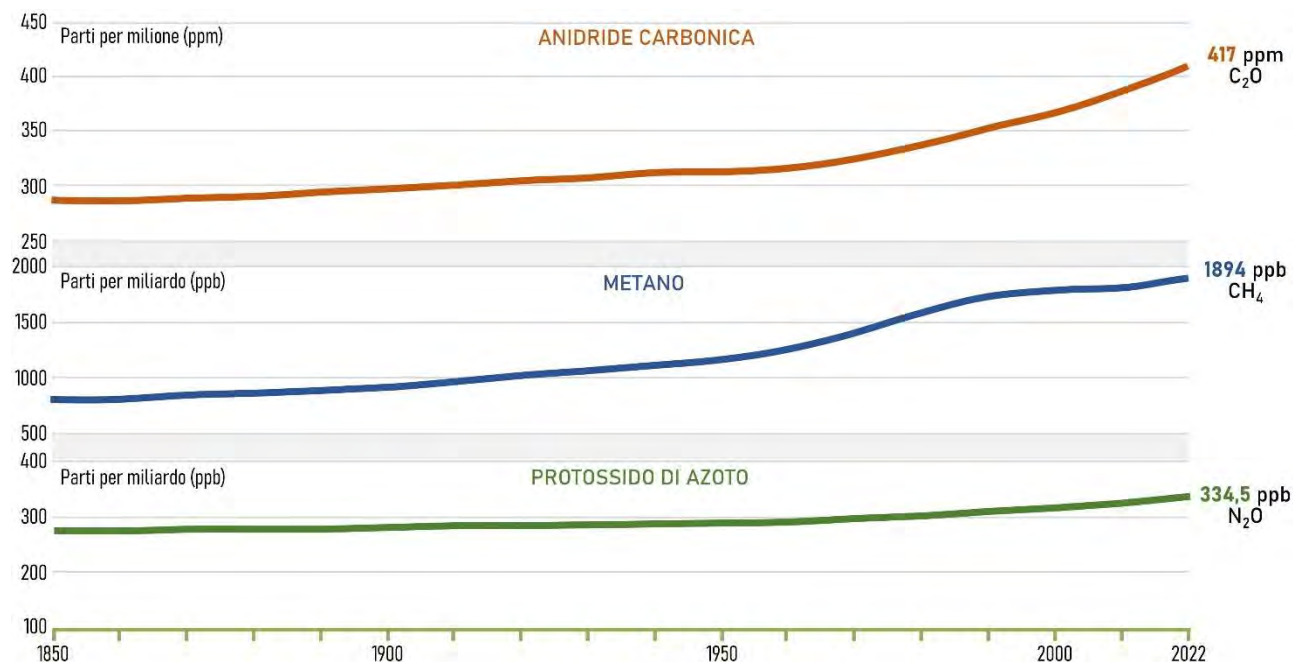


Figura 1. Concentrazione dei gas serra dal 1850 ad oggi. Le scale di rappresentazione differiscono in base ai valori di concentrazione. (IPCC, 2023)

Perche il limite a 1.5 °C è importante?

Effetti nel lungo periodo

Impatti al 2100

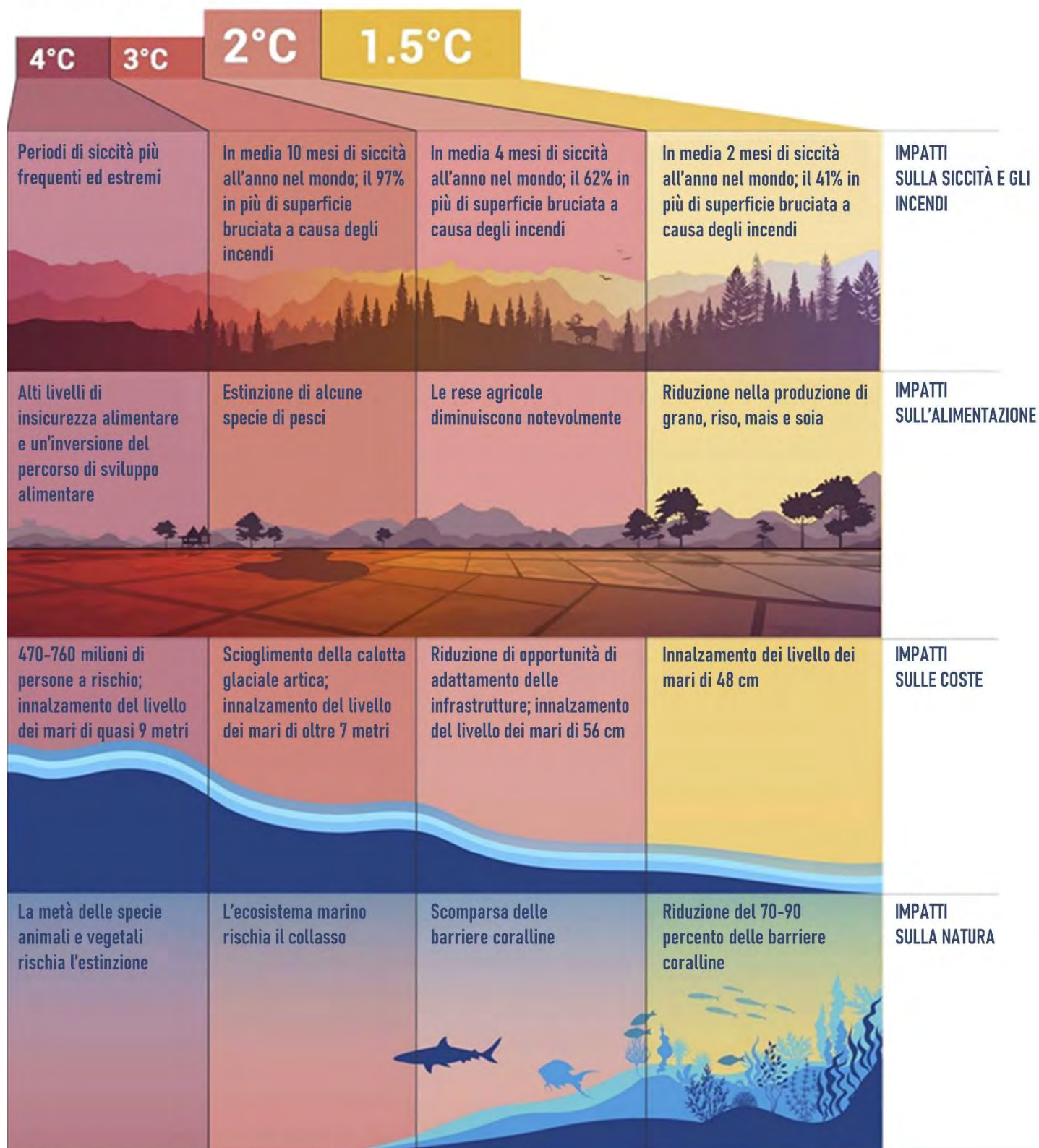


Figura 2. Illustrazione degli effetti del cambiamento climatico a seconda dell'aumento delle temperature globali medie annuali rispetto ai periodi preindustriali. (Nazioni Unite, 2021)

L'Accordo di Parigi, siglato nel 2015, è sicuramente noto come uno dei più importanti trattati internazionali. Stipulato tra 195 stati membri della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (COP21 di Parigi), prevede la riduzione delle emissioni di gas serra, al fine di mantenere l'aumento della temperatura media globale ben al di sotto di 2°C in più rispetto ai livelli preindustriali e di proseguire gli sforzi per limitarlo a 1,5°C. In base al report AR6 2023 dell'IPCC, per centrare l'obiettivo occorre ridurre le emissioni di anidride carbonica del 45% entro il 2030 (rispetto ai dati del 2010), e del 100% entro il 2050, come rappresentato in Figura 3.

L'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), un organismo internazionale che opera sotto il controllo delle Nazioni Unite, riunisce centinaia di scienziati nel mondo con l'obiettivo di raccogliere, valutare e sintetizzare i risultati di tutti i lavori pubblicati sulle riviste scientifiche internazionali inerenti al tema dei cambiamenti climatici e dei suoi impatti, comprese le soluzioni di mitigazione e adattamento necessarie. Ad oggi molti degli stati firmatari sono lontanissimi dal raggiungere gli obiettivi stabiliti e i Contributi determinati a livello nazionale (Nationally Determined Contributions), i piani di azione presentati dai governi di tutto il mondo all'UNFCCC (convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici), in termini di riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra, sono inadeguati a permettere di raggiungere l'obiettivo di limitare l'aumento della temperatura a 2 °C, e a maggior ragione sono perciò inadeguati rispetto all'obiettivo più ambizioso di limitare l'aumento a 1,5 °C.

Accanto ad una situazione di stallo e incertezza riguardo alla fattibilità dell'Accordo di Parigi, si aggiunge il mancato accordo durante l'ultimo incontro della COP28, tenutasi a Dubai nel dicembre 2023, in merito al graduale abbandono delle fonti fossili. Unica nota positiva riguarda la decisione da parte degli Stati partecipanti di presentare entro la COP30 i rispettivi piani aggiornati per il clima per il 2035, in maniera tale da essere allineati al limite di 1,5 °C (United Nations Environmental Programme, 2022a).

Se la comunità internazionale intende raggiungere gli obiettivi climatici previsti dall'Accordo di Parigi sul clima, è indispensabile ridurre quanto prima le emissioni di gas serra. Politica, economia e società devono promuovere e perseguire congiuntamente la svolta energetica fissando obiettivi climatici ambiziosi e adottando misure di sostenibilità efficaci, in modo da ottimizzare il processo di decarbonizzazione adeguato.

Per completare questo panorama iniziale sulla decarbonizzazione dell'ambiente costruito, il Box 2 fornisce un glossario dei termini più in uso e riconosciuti dalla comunità scientifica e normativa.

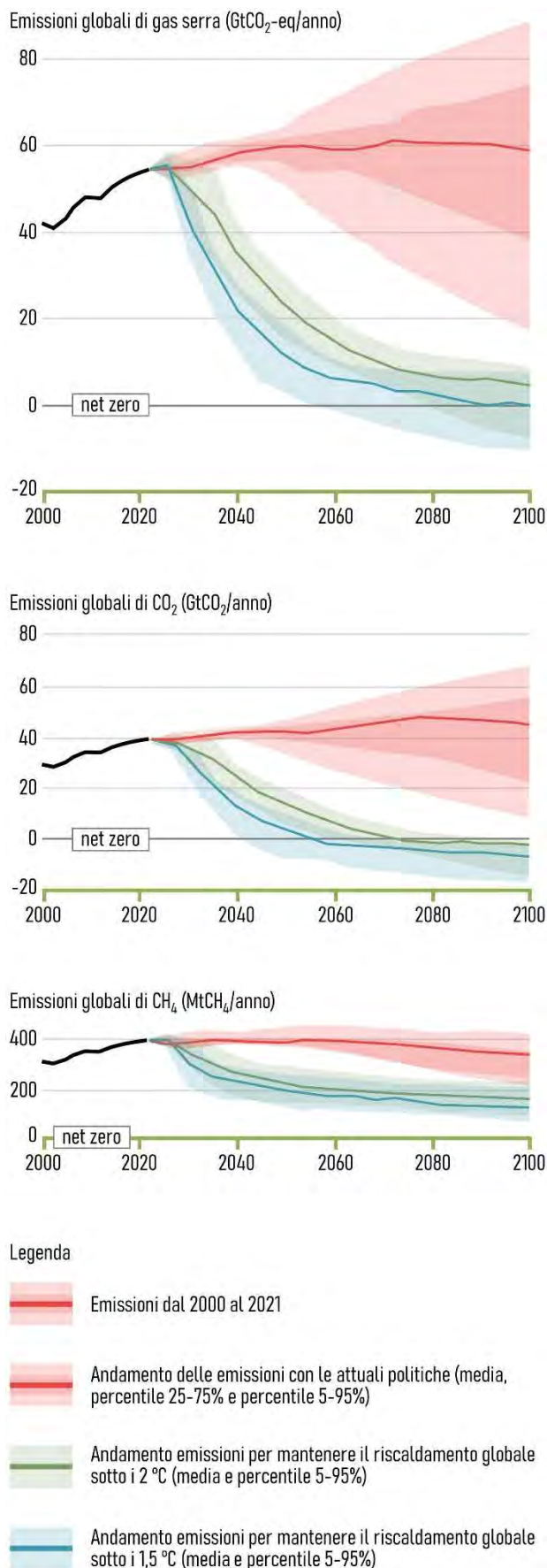


Figura 3. Andamento delle emissioni di gas serra dal 2022 al 2100 in base a diversi scenari. (IPCC, 2023)

Box 2. Glossario: terminologia e target.

1

DECARBONIZZAZIONE

Il termine decarbonizzazione si riferisce al processo di riduzione del rapporto carbonio-idrogeno nelle fonti energetiche. Si tratta di un processo volto a ridurre la quantità di anidride carbonica (CO₂) nell'atmosfera, un gas essenziale per la vita sulla Terra. La decarbonizzazione quindi è strettamente connessa, in particolare, all'abbattimento delle emissioni nocive conseguenti all'utilizzo di energia prodotta da combustibili fossili (come carbone, gas e petrolio).

2

NEUTRALITÀ CARBONICA

La neutralità carbonica (o emissioni zero) consiste nel raggiungimento di un equilibrio tra le emissioni e l'assorbimento di carbonio. Esistono due metodi per raggiungere tale obiettivo: usare pozzi di assorbimento o compensare le emissioni prodotte in un settore riducendole in un altro.

3

POZZI DI ASSORBIMENTO

Sistemi in grado di assorbire maggiori quantità di carbonio rispetto a quelle che emettono. I principali pozzi di assorbimento naturali sono rappresentati dal suolo, dalle foreste e dagli oceani, in grado di rimuovere tra 9,5 e 11 Gt di CO₂ all'anno. Il problema è che le emissioni globali di CO₂ superano le capacità di assorbimento dei pozzi naturali.

4

IMPRONTA CARBONICA

L'impronta di carbonio (carbon footprint) è una misura che esprime il totale delle emissioni di gas ad effetto serra, espresse generalmente in tonnellate di CO₂ equivalente, associate direttamente o indirettamente ad un prodotto, ad un servizio o ad una organizzazione.

5

OBIETTIVI DI DECARBONIZZAZIONE IN EU

- Diventare neutrali dal punto di vista climatico entro il 2050.
- Proteggere la vita umana, gli animali e le piante, riducendo l'inquinamento.
- Aiutare le aziende a diventare leader mondiali in prodotti e tecnologie pulite.
- Contribuire a garantire una transizione giusta e inclusiva.

Alla luce degli approfondimenti presentati nel Box 2, l'impronta carbonica (in inglese *carbon footprint*) è ritenuta essere lo strumento principale per stimare le emissioni di gas ad effetto serra generate da un settore produttivo, permettendo così di identificare le cause principali delle stesse e gli interventi utili per ridurle, verso l'obiettivo finale di decarbonizzazione. Nel calcolo vengono considerate tutte le emissioni di gas climalteranti: anidride carbonica (CO₂); metano (CH₄); ossido nitroso (N₂O); idrofluorocarburi (HFC); perfluorocarburi (PFC); esafluoruro di zolfo (SF₆). L'IPCC ha sviluppato l'indice GWP (Global Warming Potential), strumento utile per comparare gli impatti generati dai diversi gas. Questo indice rappresenta il potenziale specifico di riscaldamento globale attribuito ad ogni singolo gas, rapportato a quello della CO₂ equivalente, utilizzata come unità di misura.

In ambito edile il riferimento normativo per la valutazione della carbon footprint di prodotti e servizi è la UNI CEN ISO/TS 14067:2014 "Gas ad effetto serra - Impronta climatica dei prodotti (Carbon footprint dei prodotti) - Requisiti e linee guida per la quantificazione e comunicazione", entrata in vigore l'11 settembre 2014. Lo scopo di tale normativa è quello di quantificare le emissioni di gas ad effetto serra associate all'intero del ciclo di vita di un prodotto, attraverso la metodologia Life Cycle Assessment. Da menzionare poi è la UNI EN 15804: 2021, la nuova prassi di riferimento sulla sostenibilità ambientale dei prodotti e dei servizi per le costruzioni, fornendo regole quadro per categoria di prodotto (PCR) per l'elaborazione di dichiarazioni ambientali di tipo III, presentate nel dettaglio nel Capitolo 2. Se si volesse invece valutare la carbon footprint di una intera organizzazione, si deve fare riferimento a due standard internazionali, uno pubblicato dal WRI/WBCSD (e denominato GHG Protocol), che viene poi ripreso e approfondito all'interno del GRI (Global Reporting Initiative) Standard 305, e l'altro dall'ISO (International Organization for Standardization) 14064/2019: "*Greenhouse gases*". Entrambi prevedono l'obbligatorietà di considerare le emissioni di GHG prodotte direttamente dall'organizzazione e quelle indirettamente generate nella produzione dell'energia elettrica e termica che la stessa utilizza. Le altre emissioni indirette possono essere invece contabilizzate su base volontaria. Quest'ultime fanno parte della categoria di Embodied Carbon, cioè carbonio incorporato, le quali, secondo le stime di Green Building Council, avranno sempre più un ruolo importante nel calcolo delle emissioni totali di CO₂, rappresentando intorno al 50% delle emissioni totali di carbonio di tutte le nuove costruzioni globali tra il 2020 e il 2050 (Benke B. et al, 2022).



EMBODIED CARBON - CARBONIO INCORPORATO

Le emissioni di CO₂ e altri gas serra provenienti dalla produzione, trasporto e al ciclo di vita dei materiali utilizzati per realizzare gli edifici.

OPERATIONAL CARBON - CARBONIO OPERATIVO

Le emissioni di CO₂ e altri gas serra provenienti dai consumi per riscaldamento, condizionamento, illuminazione ed altri sistemi operativi degli edifici.

Figura 4. Illustrazione di operational ed embodied carbon nel settore delle costruzioni. (rielaborazione autori)

Due sono i tipi di emissioni di carbonio associati agli edifici. Il primo, il carbonio incorporato (*embodied carbon*) si riferisce alle emissioni di CO₂ e di altri gas serra associate alla produzione, alla costruzione e al ciclo di vita dei materiali utilizzati per realizzare un edificio. Questo include l'estrazione e la lavorazione delle materie prime, la fabbricazione dei materiali da costruzione, il trasporto dei materiali, la costruzione dell'edificio stesso e, infine, la sua demolizione e smaltimento. Il secondo, il carbonio operativo (*operational carbon*), si riferisce alle emissioni di CO₂ e di altri gas serra prodotti durante la fase di utilizzo e gestione di un edificio. Questo include ad esempio il consumo di energia per il riscaldamento, il raffreddamento, l'illuminazione, gli elettrodomestici e altri sistemi operativi, ed è strettamente influenzato dai comportamenti degli occupanti, dalle tecnologie energetiche utilizzate e dall'efficienza energetica dell'edificio.

In sintesi, l'*operational carbon* riguarda le emissioni durante l'utilizzo dell'edificio, mentre l'*embodied carbon* riguarda le emissioni associate alla sua costruzione e alla gestione dei materiali impiegati. La Figura 4 mostra una sintesi grafica di queste due tipologie di carbonio.

In parallelo negli ultimi anni è stato introdotto il concetto di *embodied energy*, l'energia incorporata, che misura l'impatto energetico dell'edificio preso in considerazione. Si tratta dell'energia che viene usata per realizzare un prodotto, includendo le fasi di estrazione delle materie prime, il trasporto, la

manifattura, l'assemblaggio, l'installazione e le fasi di fine vita. Un approfondimento su tale concetto verrà presentato nel capitolo 3, in relazione all'analisi LCA.

LE SFIDE PER IL SETTORE DELLE COSTRUZIONI

Il report sullo stato globale delle costruzioni, curato dalla Global Alliance for Buildings and Construction (partnership legata a UNEP) e presentato in occasione della COP 27 del 2022 sottolinea la necessità di decarbonizzazione degli edifici. Nel 2021 gli investimenti per l'efficienza energetica degli edifici sono aumentati del 16%, raggiungendo i 237 miliardi di dollari. Questo aumento però non è stato sufficiente a controbilanciare la crescita della superficie adibita a uso immobiliare, con conseguente aumento dei consumi totali del parco edilizio. Il documento mette in luce che il settore ha rappresenta oltre il 34% della domanda di energia e circa il 37% delle emissioni di CO₂ legate all'energia e ai processi (United Nations Environment Programme, 2022b).

Reinventing Cities, una competizione internazionale avviata dal C40 Cities Climate Leadership Group (una rete globale di sindaci di alcune delle principali città del mondo, tra cui Milano e Roma) con l'obiettivo di rigenerare il contesto urbano in modo resiliente e a zero emissioni, ha ben identificato le sfide principali su cui il settore delle costruzioni è chiamato ad agire per raggiungere gli obiettivi di decarbonizzazione (Box 3).

Box 3. Le sfide del settore delle costruzioni, indicate nel bando di Reinventing Cities (C40 Cities Climate Leadership Group).



DECARBONIZZAZIONE

Le tre sfide del settore delle costruzioni per raggiungere il processo di decarbonizzazione

1 EFFICIENZA ENERGETICA

Il tema dell'efficienza energetica nel settore delle costruzioni tratta l'obiettivo di ridurre la quantità di energia di cui un edificio ha bisogno per riscaldamento, condizionamento estivo, produzione di acqua calda sanitaria, aerazione, illuminazione, apparecchiature, promuovendo anche la produzione e l'uso di energia "pulita" all'interno degli edifici. Gli aspetti principali da considerare per ottenere edifici energeticamente efficienti sono: (i) progettazione olistica ed integrata dell'edificio nel suo contesto; (ii) uso di dispositivi e apparecchiature ad alta efficienza energetica; (iii) controllo degli occupanti con monitoraggio e valutazione dei consumi e del comfort; (iv) produzione e consumo di energia rinnovabile in situ; (v) immagazzinamento e condivisione dell'energia prodotta da fonti rinnovabili.

2 VALUTAZIONE DEL CICLO DI VITA

La valutazione del ciclo di vita degli edifici e la gestione in modo sostenibile dei materiali da costruzione, hanno come obiettivo la riduzione delle emissioni di carbonio del settore delle costruzioni, tenendo conto dei gas serra generati durante la produzione e il trasporto dei materiali edili, durante la costruzione dell'edificio, e durante la sua demolizione. Per raggiungere migliori benefici a livello ambientale, i progetti di rigenerazione e riqualificazione di edifici esistenti sono preferibili rispetto al binomio demolizione/nuova costruzione. L'attenzione, quindi, deve spostarsi su materiali a bassa emissione in tutte le loro fasi di vita (estrazione, lavorazione, trasporto, smaltimento).

3 MOBILITÀ A BASSE EMISSIONI

Lo sviluppo di un'edilizia che possa contribuire a proporre sistemi di mobilità urbana a basse emissioni, che vanno oltre i modelli tradizionali attualmente in essere e in grado di incentivare e promuovere spostamenti a piedi, in bicicletta, con il trasporto pubblico, con servizi di sharing o con mezzi elettrici e a basse emissioni.

Un concreto esempio di strutturazione di un percorso di decarbonizzazione del settore delle costruzioni è stato definito dalla Global Alliance for Buildings and Construction nel 2020 con la *Roadmap for Buildings and Construction 2020-2050: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector*. Questa roadmap presenta un approccio globale alla riduzione delle emissioni dell'ambiente costruito lungo l'intero ciclo di vita, con obiettivi allineati alla MPGCA (Marrakech Partnership for Global Climate Action) Human Settlements Pathways e alle tempistiche per raggiungere edifici a emissioni zero, efficienti e

resilienti tra il 2020 e il 2050. Otto sono i temi principali trattati con l'obiettivo di sfruttare le enormi opportunità del settore per la decarbonizzazione e il raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile (SDGs): pianificazione urbana, nuove costruzioni, edifici esistenti, operazioni edilizie, apparecchiature e sistemi, materiali, resilienza e energia pulita. La Figura 5 presenta una sintesi delle azioni identificate all'interno della roadmap come fondamentali per realizzare edifici a emissioni zero, efficienti e resilienti entro il 2050.

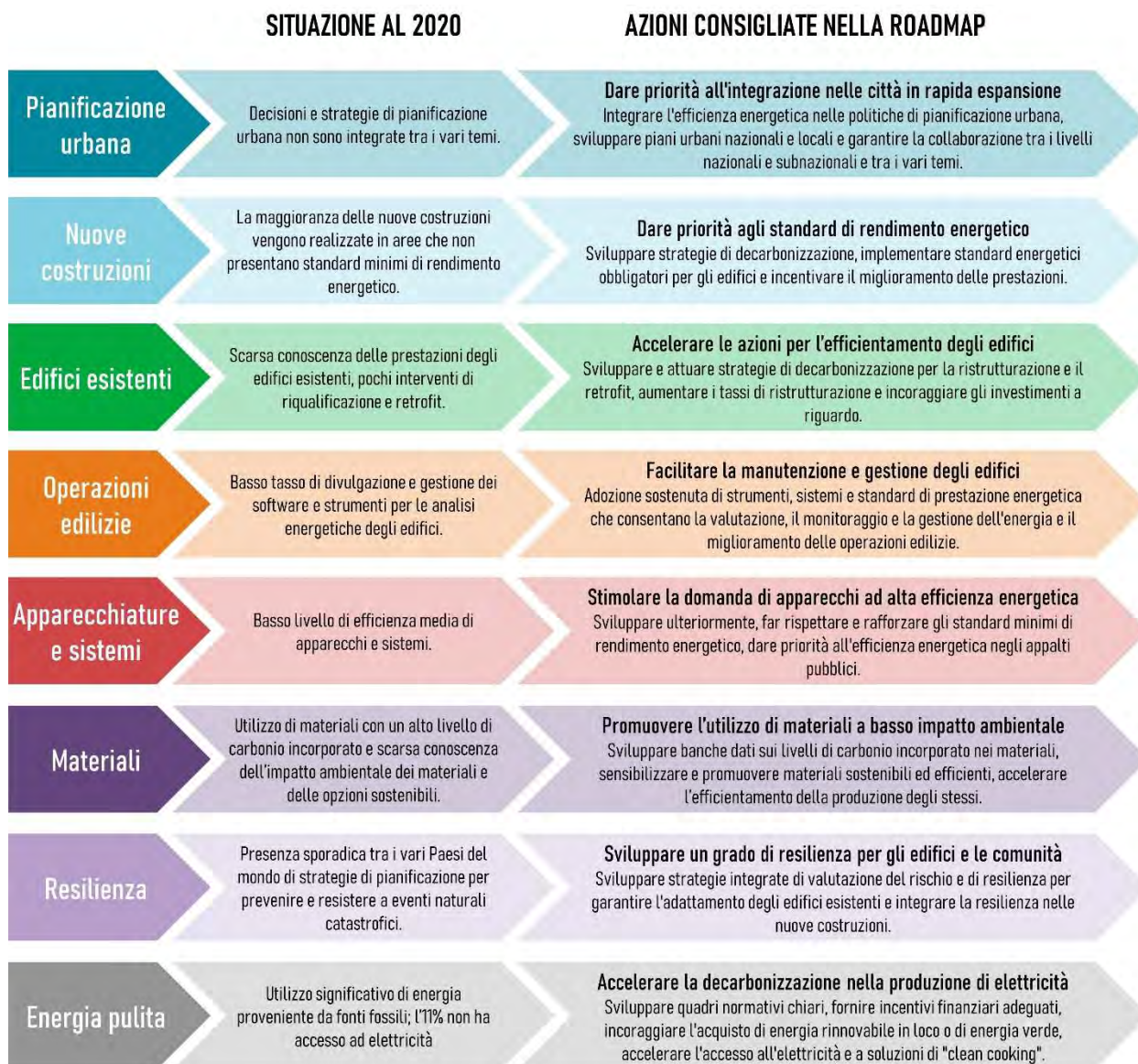


Figura 5. Sintesi delle azioni presentate nella Roadmap for Buildings and Construction 2020-2050 di Global Alliance for Buildings and Construction per il raggiungimento del processo di decarbonizzazione nel settore delle costruzioni. (rielaborazione autori)

1.2 ECONOMIA CIRCOLARE: FONDAMENTI E AMBITI DI APPLICAZIONE

L'economia circolare è un concetto ormai diffuso e riconosciuto, sia dalla letteratura scientifica che dalle industrie, come l'approccio più efficace per ottimizzare i flussi di mercato e renderlo più sostenibile.

Negli ultimi anni il concetto di economia circolare è stato oggetto di crescenti attenzioni e il numero di pubblicazioni sul tema è aumentato in misura considerevole, ma, nonostante l'interesse dimostrato a livello globale, manca ancora una definizione unitaria e condivisa. Tra gli attori internazionali maggiormente impegnati nel favorire l'adozione di un'economia circolare vi è la Ellen MacArthur Foundation, ente di beneficenza fondato nel 2010 dalla ex velista britannica, dalla quale prende il nome, il quale, nel 2012, ha fornito la prima definizione moderna di economia circolare (Box 4).

Box 4. Definizione di economia circolare secondo Ellen MacArthur Foundation (2012).

L'economia circolare è un sistema industriale rigenerativo per programma e progetto. Sostituisce il concetto di fine vita con quello di conservazione, si sposta verso l'uso delle energie rinnovabili, elimina l'uso di sostanze chimiche tossiche, che compromettono il riutilizzo e mira all'eliminazione dei rifiuti attraverso la progettazione ad alto livello di materiali, prodotti, sistemi e, all'interno di questi, di nuovi modelli di business.

L'economia circolare è dunque un sistema in cui tutte le attività, a partire dall'estrazione e dalla produzione, sono organizzate in modo che i prodotti di scarto di qualcuno diventino risorse per qualcun altro.

L'economia circolare è considerata un modello economico capace di ripararsi o rigenerarsi autonomamente, evidenziando come queste capacità discendano da un'attenta progettazione del sistema, basato sulla prevenzione e l'ottimizzazione. Vi è un esplicito riferimento alla necessità di ridefinire l'attuale sistema economico di produzione e scambio, implementando processi atti a minimizzare l'impiego di materiali grezzi, utilizzare energia proveniente da fonti rinnovabili e, in via generale, a ridurre l'impatto ambientale.

L'economia circolare mette al centro dell'attenzione la sostenibilità del sistema, sia a livello ambientale che economico e sociale. Questo modello economico si oppone a quello lineare, nel quale una volta terminato il consumo termina anche il ciclo del prodotto, che diventa rifiuto, costringendo la catena economica a riprendere continuamente lo stesso schema: estrazione, produzione, consumo, smaltimento. Il sistema lineare, da questo punto di vista, è dominato dal cassonetto dei rifiuti, in quanto i prodotti che vengono consumati sono realizzati per rispondere ad un solo bisogno, senza essere riutilizzati o riparati. Come rappresentato nel grafico in Figura 6, gli andamenti dei valori dei prodotti realizzati in economia circolare e lineare seguono due percorsi diversi. In particolare, i metodi e strumenti utilizzati in economia circolare, quali il riutilizzo, la riparazione, la rimessa a nuovo

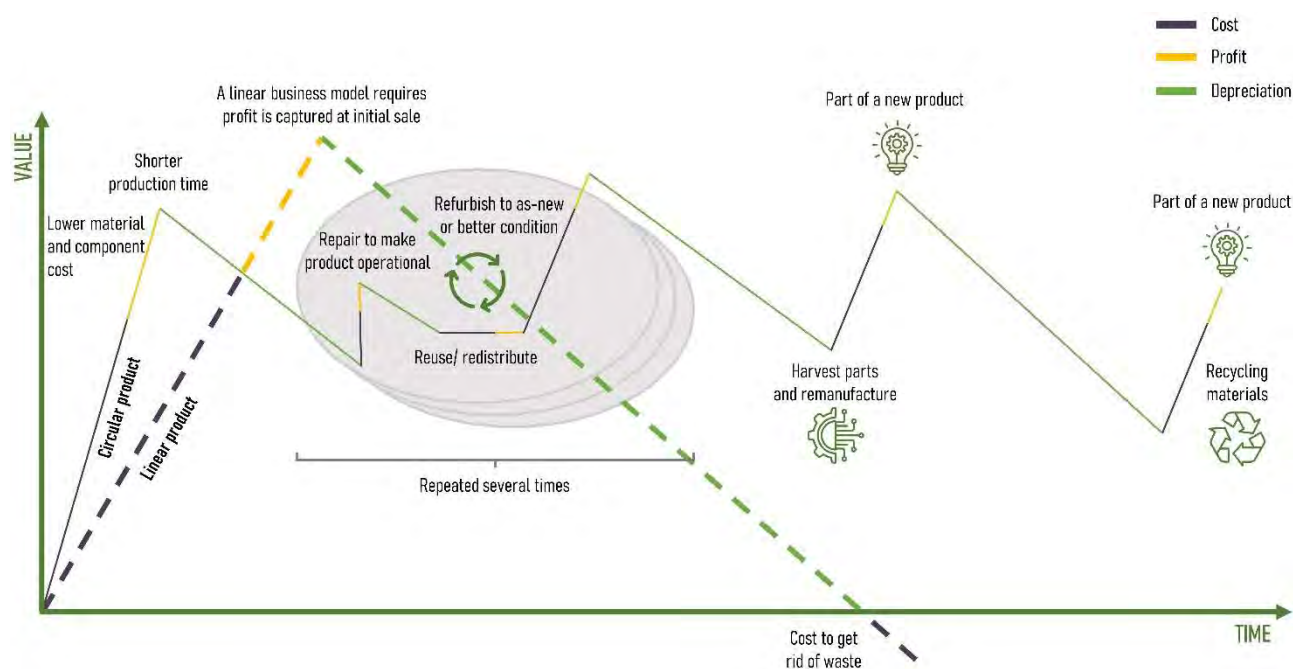


Figura 6. Confronto fra i valori potenziali di prodotti realizzati o con un modello economico lineare (linea tratteggiata) o con un modello economico circolare (linea continua). (DXC Technology, 2023)

e il riciclaggio, permettono di mantenere un livello di valore potenziale dei prodotti più alto e per un lasso di tempo più duraturo rispetto ai corrispettivi in economia lineare.

Facendo durare i prodotti più a lungo, l'economia circolare può fornire più valore in diversi modi.

- Riduzione dei costi: le aziende che adottano pratiche di economia circolare possono risparmiare sul costo delle materie prime e dello smaltimento dei rifiuti.
- Aumento della produttività: progettando prodotti più facili da riparare e riutilizzare, le imprese possono aumentare la loro produttività.
- Migliori prestazioni ambientali: l'economia circolare può contribuire a ridurre i rifiuti, l'inquinamento e le emissioni di gas serra.

L'economia lineare ha caratterizzato gli ultimi 150 anni di evoluzione industriale, e questo modello di produzione e consumo, definito anche *take-make-dispose*, muove inesorabilmente in un'unica direzione. Il processo inizia con il reperimento delle materie prime, prelevate dal suolo o dal sottosuolo terrestre, segue poi la fase di trasformazione delle stesse (produzione), che avviene attraverso l'impiego di energia e forza lavoro. Infine, il prodotto giunge al consumatore (distribuzione), che lo

utilizza finché ne ha bisogno (consumo). Esauritasi la sua utilità, il bene viene scartato e diviene un rifiuto. Un simile modello economico richiede, da un lato, una disponibilità pressoché illimitata di risorse ed energia, dall'altro, un altrettanto infinita capacità, da parte dell'ambiente, di accogliere e smaltire rifiuti ed inquinamento. Appare quindi chiaro come questa pratica sia incompatibile con gli obiettivi di preservare le risorse disponibili in natura.

Il modello di economia circolare, invece, è concepito come un ciclo di sviluppo positivo e continuo, che preserva e valorizza il capitale naturale ottimizzando l'uso delle risorse, riducendo i rischi di sistema attraverso la gestione di materie limitate e flussi rinnovabili. L'obiettivo ultimo è quello di eliminare i rifiuti e lo spreco di risorse nei cicli produttivi, cercando quindi di rendere le attività umane più simili a quelle poste in essere dalla natura, nonché di separare la crescita economica globale dall'uso delle materie prime scarse. L'economia circolare vuole altresì rappresentare un mezzo per prevenire ed evitare gli impatti negativi dell'attività economica, che danneggiano l'ecosistema e la salute umana.

Nel Box 5 vengono presentati i cinque principi fondamentali del modello di economia circolare.

Box 5. I cinque principi dell'economia circolare.

| | | | | |
|--|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |
| ECO PROGETTAZIONE | MODULARITÀ E VERSATILITÀ | ENERGIA PULITA | APPROCCIO ECO-SISTEMICO | RECUPERO DEI MATERIALI |
| Progettare i prodotti pensando fin da subito al loro impiego a fine vita, quindi con caratteristiche che ne permetteranno lo smontaggio o la ristrutturazione. | Dare priorità alla modularità, versatilità e adattabilità del prodotto affinché il suo uso si possa adattare al cambiamento delle condizioni esterne. | Affidarsi ad energie prodotte da fonti rinnovabili favorendo il rapido abbandono del modello energetico fondato su fonti fossili. | Adottare un approccio olistico, avendo attenzione all'intero sistema e considerando le relazioni causa-effetto tra le diverse componenti. | Favorire la sostituzione delle materie prime vergini con materie prime seconde provenienti da filiere di recupero che ne conservino le qualità. |

La creazione di una struttura capace di raggruppare i concetti appartenenti all'economia circolare passa nella maggior parte dei casi dalla definizione di categorie con cui ordinare le diverse strategie sviluppate, con l'obiettivo di mantenere le risorse nel loro ciclo di vita il più a lungo possibile. È in questo ambito che si definisce il paradigma delle "R", un principio fondamentale dell'economia circolare che definisce le linee guida di "come fare" economia circolare, ovvero le strategie da attuare per portare il sistema verso la circolarità.

Nel 2017 lo studio "Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions" (Kirchherr J. et al., 2017) ha teorizzato l'esistenza di almeno 10 strategie "R" e numerose combinazioni possibili di esse. Le 10 "R" più comunemente utilizzate sono suddivise in tre categorie in base all'obiettivo di economia circolare che supportano.

I paradigmi più comunemente utilizzati sono quelli delle "3R" e "4R", dove però la combinazione di "R" può variare in numerosi modi in base agli obiettivi stabiliti e le strategie messe in atto. L'espansione del numero di categorie permette un maggior focus sulle attività da poter svolgere per effettuare la trasformazione da impresa lineare ad impresa

circolare. La Figura 7 definisce le peculiarità di ciascuna strategia, per capirne i limiti e le potenzialità. Risulta importante sottolineare come i confini fra le strategie non siano universali, bensì favoriscano la fusione fra diversi modelli di business capaci di adattarsi alle necessità di ogni singola organizzazione. Un'ulteriore valutazione deve, inoltre, essere effettuata per misurare la sostenibilità di una strategia circolare, in quanto quest'ultima potrebbe comportare per natura un maggior consumo di risorse, piuttosto che uno svantaggio sociale nonché economico. Ecco che lo sforzo non deve essere posto sull'utilizzo della risorsa stessa, bensì nella creazione di prodotti progettati con l'intento di essere utilizzati in un contesto di economia circolare, caratterizzato o da un utilizzo intenso in un breve periodo di tempo, oppure da una seconda vita immediatamente successiva a quella precedente.

Un esempio di utilizzo del paradigma delle "R" si può individuare nella direttiva europea in materia di rifiuti (Waste Framework Directive, 2008), la quale si basa sul paradigma delle "4R" – riduzione, riuso, riciclo e recupero.



Figura 7. Schema delle 10R dell'economia circolare. (Sesana, 2022)

Alla luce della definizione di economia circolare e dei suoi principi fondamentali, emerge la necessità di quantificare la circolarità di un'azienda o di una organizzazione per divenire attore efficace di questo sistema.

Misurare la circolarità significa monitorare diversi aspetti aziendali al fine di acquisire informazioni quali tipologia, caratteristiche e quantità delle risorse impiegate, identificando eventuali criticità, scoprendo ambiti di miglioramento e nuove priorità. In questo ambito esistono diversi strumenti e metodi utili per il calcolo dei livelli di circolarità.

A livello internazionale, la MacArthur Foundation (Box 4) ha sviluppato, all'interno del progetto "Circular Indicators Project", il Material Circularity Indicator (MCI tool), uno strumento che consente alle aziende di identificare il valore circolare aggiuntivo dei loro prodotti e materiali, e di mitigare i rischi legati alla volatilità dei prezzi e all'approvvigionamento dei materiali. In aggiunta, tale strumento consente di analizzare e valutare una serie di rischi ambientali, normativi e di catena di approvvigionamento per i progetti e prodotti, misurando il grado di ripristino dei flussi di materiali di un prodotto. L'inserimento dei dati sui materiali nella formula dello strumento MCI consente all'azienda di supportare il processo decisionale sui compromessi tra circolarità e obiettivi economici, ambientali e sociali nella progettazione dei prodotti e nell'approvvigionamento dei materiali. Lo strumento è disponibile in versione gratuita per tutte le aziende che lo richiedono alla MacArthur Foundation.

Il calcolo del livello di circolarità delle aziende di un determinato paese è uno strumento fondamentale per la definizione del tasso di circolarità del paese stesso, vale a dire la quota di risorse materiali utilizzate provenienti da materiali di scarto riciclati. Nel 2022 il tasso di circolarità ha raggiunto l'12,8% a livello comunitario, aumentando di 1,1% rispetto all'anno precedente (Eurostat, 2023). In Figura 8 si osserva come questo dato abbia mantenuto un percorso di crescita dal 2011 (anno durante il quale il tasso di circolarità era pari a 10,3%) al 2019 (12,0%), per poi diminuire negli anni interessati dall'emergenza sanitaria di COVID-19 (11,8% nel 2020

e 11,7% nel 2021). Tra i vari paesi europei si registrano i tassi più alti nei Paesi Bassi (34%), seguiti da Belgio (23%) e Francia (22,2%), con l'Italia al quarto posto con un tasso di circolarità pari a 21,6% (-3,2 punti percentuali rispetto al 2021).

A seconda della principale tipologia di materiale, anche il tasso di circolarità presenta infine alcune piccole differenze. Nel 2022 il tasso di circolarità per le biomasse è stato del 20% (+0,4 punti percentuali rispetto al 2021), per i minerali non metallici 14% (nessuna variazione), per i materiali/vettori energetici fossili 3% (-0,1 punti percentuali) e per i minerali metallici 23 % (-1,0 punti percentuali) (Eurostat, 2023).

A livello nazionale, il livello di circolarità di un'azienda viene calcolato utilizzando il metodo presentato nella norma UNI/TS 11820 "Misurazione della circolarità - Metodi ed indicatori per la misurazione dei processi circolari nelle organizzazioni" (del 30 novembre 2022), messa a punto dalla commissione tecnica UNI 057. Tale norma definisce come raccogliere le informazioni utili per la misurazione della circolarità delle aziende, prevedendo un set di indicatori - 71 in totale, tra quantitativi, qualitativi e quanti-qualitativi - utili alle organizzazioni per verificare l'efficacia delle loro strategie. Gli indicatori si dividono in 7 categorie e comprendono: risorse materiche e componenti, risorse energetiche e idriche, rifiuti ed emissioni, logistica, prodotto e servizio, risorse umane, asset, policy, e sostenibilità.

La UNI/TS 11820 diventa, quindi, uno strumento operativo per una efficace misurazione della circolarità di imprese ed altre organizzazioni, un metodo per misurare il miglioramento della circolarità nelle politiche aziendali e di settore. Tale standard è, inoltre, allineato ai principi cardine della norma internazionale ISO/DIS 59020, attualmente in fase di sviluppo, che fornirà uno strumento di misurazione della circolarità a livello internazionale, permettendo alle organizzazioni italiane di dotarsi di un proprio strumento di confronto e di scambio sperimentale non solo in territorio italiano, ma anche in relazione a contesti internazionali.



Figura 8. Andamento del tasso di circolarità in UE dal 2010 al 2021. (Eurostat, 2023)

Il governo italiano ha lanciato, nel giugno del 2022, la Strategia nazionale per l'Economia Circolare (SEC) (Ministero della Transizione Ecologica, 2022), un programma con il quale si intende supportare il raggiungimento degli obiettivi di neutralità climatica e circolarità, definendo:

- i nuovi strumenti amministrativi e fiscali per potenziare il mercato delle materie prime seconde;
- la responsabilità estesa del produttore e del consumatore;
- la diffusione di pratiche di condivisione e di "prodotto come servizio";
- una roadmap di azioni e di target misurabili da qui al 2040.

L'ECONOMIA CIRCOLARE NEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI

Un approccio attento verso la sostenibilità e la circolarità dei processi permette alle aziende del settore edile di acquisire competitività e notevoli vantaggi, come la riduzione dei costi, un utilizzo efficiente dell'energia, la diminuzione delle emissioni di CO₂, l'ottimizzazione e la sicurezza della catena di fornitura.

Stando alle cifre riportate dal Forum Economico Mondiale, il settore delle costruzioni costituisce il 6% del Prodotto Interno Lordo (PIL) mondiale (World Economic Forum, 2022). Ripensare l'edilizia secondo questo nuovo modello economico, dunque, significa riformare uno dei settori più importanti e soprattutto più inquinanti ed energivori a livello globale. Per fare un esempio, basti pensare che la metà della produzione annuale di acciaio viene impiegata nel settore delle costruzioni. In Italia, per esempio, stando ai dati resi noti dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, il settore edilizio produce ogni anno circa 52 milioni di tonnellate di rifiuti (pari al 48,4% del totale dei rifiuti non pericolosi): il 65% di questi materiali provengono da lavori di demolizione, il 28% dalle ristrutturazioni e il 7% dalle nuove costruzioni (ISPRA, 2022). Si tratta dunque di 52 milioni di tonnellate di mattoni, cemento, acciaio, legno e materiali plastici, dei quali il tasso di recupero – inteso come preparazione per il riutilizzo, riciclaggio e altre forme di recupero di materia dei rifiuti da costruzioni e demolizioni – si attesta al 78,1% (ISPRA, 2022). Tuttavia, una semplice analisi empirica, che parte dalle esperienze e dalle performance degli operatori, rivela uno scenario più problematico. A fronte di statistiche ufficiali che indicano tassi di avvio a recupero superiori al 70%, le stime di settore e le percezioni degli operatori segnalano che una buona parte dei materiali recuperati da aggregati vengono lasciati nei magazzini o comunque non impiegati nei cantieri per mancanza di mercati competitivi e in generale

per criticità di tipo regolatorio. La filiera dei rifiuti del settore delle costruzioni presenta, infatti, un enorme potenziale di crescita. Il riciclo effettivo è ancora disincentivato dal basso costo e dalla considerevole maggiore sicurezza normativa e regolamentare dei materiali vergini da cava.

La situazione non migliora a livello europeo, dove, all'interno del settore delle costruzioni, gli scarti da demolizione, come rottami metallici, cemento usato o prodotti in legno, costituiscono attualmente il flusso di rifiuti più significativo. Ciò è dovuto principalmente al fatto che, attualmente, molti dei materiali utilizzati nelle opere di demolizione e ristrutturazione non sono adatti al riutilizzo o al riciclaggio di alta qualità (EUROSTAT, 2023).

Le azioni ispirate all'economia circolare possono invertire questo stato dell'arte, soprattutto prevenendo i rifiuti e aumentando la qualità e la quantità di riciclaggio prodotta dai cantieri. Tali pratiche possono, a loro volta, contribuire al raggiungimento degli obiettivi della politica dei rifiuti dell'UE.

Sono principalmente due i modi per approcciarsi all'edilizia circolare. Il primo è quello di incentivare le ristrutturazioni di edifici esistenti, invece di ricorrere alla costruzione di nuove strutture. Il secondo approccio, più tecnologico ed innovativo, è quello che prevede già in fase di progettazione una rifunzionalizzazione e riuso post-smontaggio dell'edificio: in questo senso, il suo ciclo di vita non andrebbe più inteso come costruzione – utilizzo – demolizione, ma come costruzione – utilizzo – smontaggio – riutilizzo, e così via.

La progettazione per strati – *shearing layers* – si rifà a questo approccio e si basa sul concetto di edificio come raccolta di livelli. Definita per la prima volta negli anni Settanta da Frank Duffy, essa prevedeva quattro livelli: *shell, service, scenery, set*. L'architetto Steward Brand ha poi evoluto il concetto negli anni Novanta aggiungendo altri due livelli per completare in modo più strutturato il sistema edificio-impianti (Brand S. 1994). Il concetto di base della progettazione per strati è quello di considerare gli edifici come strati separati e interconnessi, ciascuno con una propria funzione e durata, e in base a ciò costruire in modo tale da poter allungare la vita utile del sistema potendo rimuovere o sostituire uno o più strati che lo necessitano, favorendo così anche la circolarità. Secondo Brand, i sei sistemi (Figura 9) che compongono l'edificio sono:

- sito: ubicazione dell'edificio;
- struttura: scheletro dell'edificio (comprese fondazioni ed elementi portanti);
- pelle: elementi a contatto con l'esterno (comprese facciate e copertura);
- servizi e impianti: sistemi impiantistici;

- spazio: allestimento interno e le finiture (comprese pareti e pavimento);
- altri componenti ed accessori: il resto dell'allestimento interno (compresi mobili e illuminazione).

Edilizia circolare non significa solamente progettare edifici modulari in grado di cancellare il concetto di demolizione come lo conosciamo oggi, significa anche partire da una scelta più oculata dei materiali da costruzione, utilizzando materiali alternativi, riciclati o di riuso, riducendo al minimo il concetto di scarto ed eliminando il più possibile lo spreco.

Se da un lato l'elevato volume e la natura dei rifiuti edili pongono diverse sfide di gestione, dall'altro rappresentano una chiara opportunità per l'implementazione di efficaci pratiche di economia circolare legate alla gestione e al riciclo dei rifiuti. Altrettanto importante è fornire informazioni chiare

riguardo i materiali riciclati, per migliorare la fiducia degli utenti verso le pratiche di economia circolare. In Italia, l'introduzione dei Criteri Ambientali Minimi (CAM) in edilizia (presentati in dettaglio nel Capitolo 2), imponendo requisiti di circolarità nelle gare di appalto pubbliche, ha sicuramente generato una leva fondamentale per un cambiamento positivo nella direzione delle pratiche circolari, inducendo tutti gli attori coinvolti nel processo edilizio ad adeguarsi alle nuove richieste della pubblica amministrazione.

Le attuali politiche edilizie prevedono la redazione di certificazioni elaborate da enti terzi per la dichiarazione della percentuale di riciclato, oltre alle Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (Environmental Product Declaration - EPD) inerenti all'impatto ambientale di un determinato prodotto, elaborate secondo l'analisi del ciclo di vita LCA (Life Cycle Assessment) dello stesso.

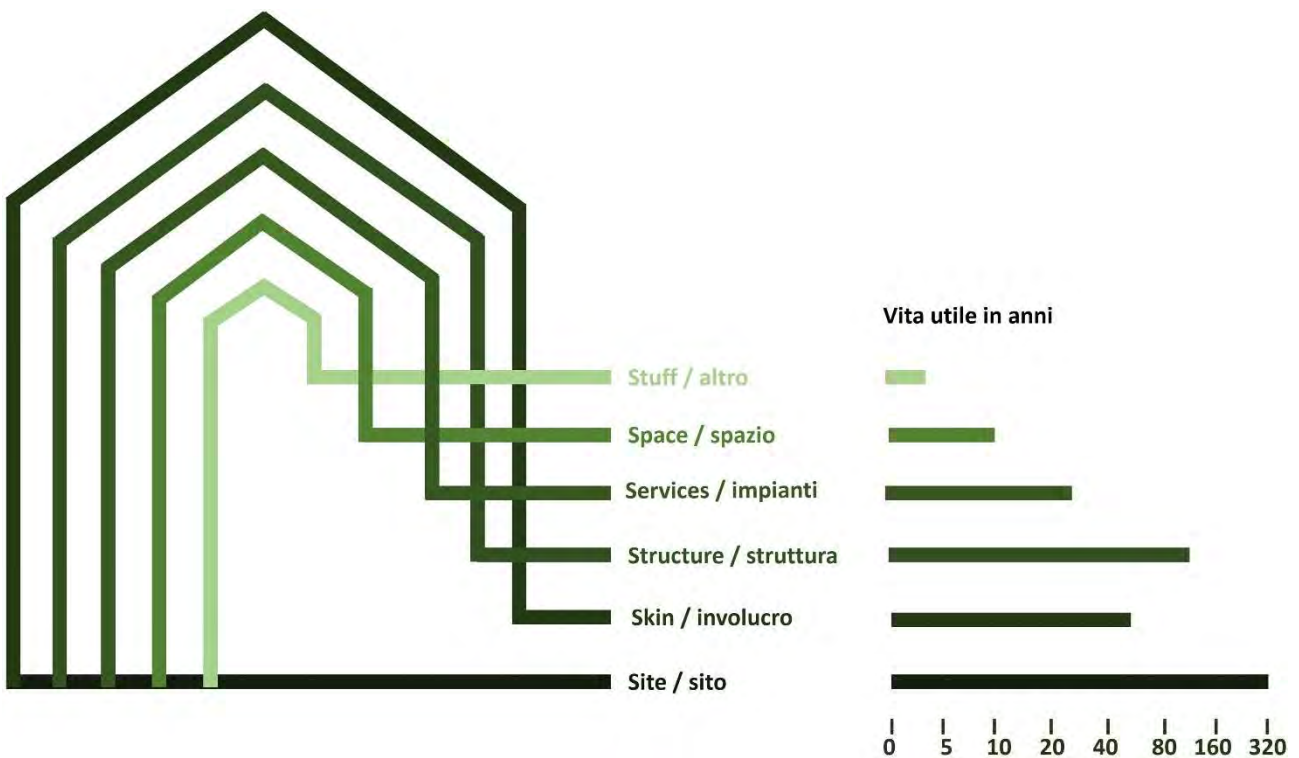


Figura 9. Schematizzazione del modello di Brand per layers con relativa durata in anni di vita utile. (Sesana, 2022)

1.3 PANORAMICA NORMATIVA VERSO LA DECARBONIZZAZIONE

Fin dalla nascita della Comunità Europea del Carbone e dell'Acciaio (CECA), nel 1951, lo sviluppo di una politica energetica comune è sempre stato al centro del progetto europeo. Con la crisi petrolifera del 1973 e il conseguente aumento dei prezzi dell'energia, il tema dell'efficienza energetica iniziò sempre di più ad assumere un ruolo principale all'interno della politica comunitaria. All'epoca, la sicurezza energetica era associata alla sicurezza dell'approvvigionamento di petrolio, ma da allora l'attenzione si è spostata su altre fonti energetiche, tra cui il gas naturale e le energie rinnovabili.

Nel 1974 è stata approvata dal consiglio europeo la prima delibera comunitaria che mirava a migliorare l'efficienza energetica con l'intento di limitare l'aumento dei consumi e di conseguire, entro il 1985, una diminuzione del 15% rispetto alle stime dei livelli registrati nel 1973 (Consiglio delle Comunità Europee, 1984).

Nel 1993 è stata promulgata la prima politica europea in materia di efficienza energetica degli edifici, per limitare le emissioni di biossido di carbonio migliorando l'efficienza energetica ("SAVE Directive", 93/76/EEC) (Council of the European Union, 1993). La Direttiva SAVE, che prende il nome dall'acronimo "Specific Actions for Vigorous Energy Efficiency", aveva come obiettivo principale quello di ridurre il consumo energetico e promuovere un uso più razionale delle risorse, contribuendo così alla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra. Una delle misure principali era l'introduzione di standard minimi di efficienza energetica per gli edifici, al fine di ridurre la dispersione di calore e migliorare l'isolamento termico, e la redazione di una certificazione che includesse informazioni sulle caratteristiche energetiche dell'edificio.

Successivamente, nel 1997, a seguito della terza conferenza delle parti della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sul cambiamento climatico, venne adottato il protocollo di Kyoto, nel quale venne riconosciuto il cambiamento climatico come una delle principali problematiche a livello mondiale (UNFCCC, 1997). All'interno del protocollo vengono classificati i gas serra da considerare nel calcolo dell'impronta ecologica (presentati nel paragrafo precedente), la cui riduzione contribuisce all'adempimento degli obiettivi di decarbonizzazione. Il protocollo stabilisce, inoltre, obiettivi specifici di riduzione delle emissioni per i paesi industrializzati, basandosi su una percentuale di riduzione rispetto ai livelli di emissione del 1990. All'epoca, l'Unione Europea si impegnò a ridurre le proprie emissioni di gas serra dell'8% rispetto ai livelli del 1990 entro il 2012. Per raggiungere questo obiettivo, nel 1998, l'UE

revisionò la direttiva SAVE, con la presentazione della comunicazione COM (1998) 246 definitiva, la quale sottolineava i potenziali miglioramenti raggiungibili entro il 2010 nel settore delle costruzioni, con conseguente risparmio economico pari al 22% rispetto al 1995 (Commissione Europea, 1998). All'interno di tale documento vengono analizzati i principali ostacoli al raggiungimento del target fissato con la precedente versione, esaminati i programmi in atto e individuate delle strategie da attuare per poter sfruttare il potenziale disponibile. LA COM 246 è stata seguita dal "200 Action Plan", che ha dato origine al ciclo di politiche che ha portato allo sviluppo della Direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico degli edifici, la quale si può considerare l'inizio di un processo che ha portato ad una maggiore consapevolezza di quanto il settore dell'edilizia dovesse migliorare i propri standard e potesse contribuire alla diminuzione delle emissioni climalteranti. La Direttiva, approvata dal Parlamento europeo nel dicembre del 2002, stabiliva i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica (Parlamento europeo, 2002).

Le disposizioni principali contenute della Direttiva riguardavano:

- una metodologia per il calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici, definito come la quantità di energia consumata, tipicamente calcolata in kWh/m² annuo;
- l'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione (Minimum Energy Performance Requirement, MEPR);
- l'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici esistenti di grande metratura sottoposti a ristrutturazioni importanti;
- la certificazione energetica degli edifici;
- l'ispezione periodica delle caldaie e dei sistemi di condizionamento d'aria negli edifici, nonché una perizia del complesso degli impianti termici le cui caldaie abbiano più di quindici anni.

All'art.7, la direttiva obbligava gli Stati membri ad adottare, in fase di costruzione, compravendita o locazione di un edificio, l'Attestato di Certificazione Energetica (ACE).

Il secondo piano d'azione sull'efficienza energetica della Commissione Europea è stato rilasciato nel 2006, con l'obiettivo di risparmiare il 20% dei consumi annuali dell'energia primaria rispetto alle previsioni del 2020, portando ad un risparmio annuo di circa 1,5%. La discussione del secondo piano di azione ha portato, nel 2009, la Commissione Europea a revisionare nuovamente la direttiva

EPBD del 2002 nella EPBD Recast, 2010/31/CE, con l'obiettivo di rafforzare alcune disposizioni e aggiungerne altre (Parlamento europeo, 2010). Questa revisione promuoveva il miglioramento della prestazione energetica degli edifici definendone una metodologia per il calcolo, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e dell'efficacia sotto il profilo dei costi. All'interno della EPBD Recast, 2010/31/CE venne presentata per la prima volta la definizione di edificio a energia quasi zero (nZEB) (Box 7), stabilendone, inoltre, l'obbligatorietà per tutti gli edifici pubblici di nuova costruzione a partire dal 1° gennaio 2021.

Nel 2012 viene promulgata dalla Commissione la Direttiva sull'efficienza energetica (EED), per stabilire le misure per raggiungere un obiettivo di efficienza energetica del 20% entro il 2020 (Parlamento europeo, 2012).

Le Direttive EPBD ed EED subiscono, a partire dal 2016, un processo di revisione, per allineare le misure di efficienza energetica con i nuovi obiettivi climatici definiti dall'Agenda 2030 nel 2015 per lo sviluppo sostenibile.

La procedura di revisione della EPBD terminò nel maggio 2018 con l'approvazione dell'ulteriore revisione della direttiva 2018/844/EU (Parlamento europeo, 2018a), nella quale venivano introdotte varie novità, tra cui il Building Renovation Passport (BRP), l'Osservatorio del patrimonio edilizio dell'UE (EU Building Stock Observatory, BSO) e le strategie di ristrutturazione a lungo termine (LTRS), strumenti pensati per supportare l'obiettivo di decarbonizzazione entro il 2050.

La svolta verso la definizione di un piano di neutralità carbonica arriva nel marzo 2019 con l'approvazione del New Green Deal in cui l'UE dichiara di voler diventare il primo continente a impatto climatico zero entro il 2050 (Commissione Europea, 2019). Il Green Deal copre quasi tutti gli aspetti generali dell'economia europea, tra cui la salute, i trasporti, l'alimentazione, l'occupazione e la riqualificazione edilizia, convertendo le sfide ambientali in opportunità per i diversi settori. Tuttavia, un'enfasi specifica è posta sulla giusta transizione verso un parco edifici a zero emissioni di carbonio, attraverso l'iniziativa "Renovation Wave", che ha l'obiettivo di migliorare l'efficienza energetica degli edifici garantendo al contempo l'accessibilità economica per i cittadini dell'unione. Tra i diversi impatti associati a tale iniziativa, si ricordano la riduzione delle bollette energetiche, la riduzione della povertà energetica e il rilancio del settore edilizio attraverso l'aumento della percentuale di ristrutturazioni degli edifici.

Il Green Deal richiede una revisione profonda delle politiche energetiche e climatiche dell'unione

europea per raggiungere l'obiettivo di diminuire le emissioni prodotte del 55% entro il 2030. Un primo passo viene fatto con il pacchetto normativo "Fit for 55" anche detto "Green Package" adottato dalla commissione il 14 luglio 2021, comprendente una sezione dedicata alle prestazioni energetiche degli edifici. Il pacchetto fissa una serie di revisioni delle direttive di efficienza energetica (EPBD ed EED) per raggiungere i nuovi obiettivi climatici: tutti gli edifici di nuova costruzione dovrebbero essere a emissioni zero entro il 2030, mentre gli edifici esistenti dovrebbero raggiungere il medesimo obiettivo entro il 2050.

Il raggiungimento degli obiettivi di riduzione dei consumi e neutralità climatica vengono supportati dal pacchetto di finanziamenti NextGenerationEU del 2020, il cui accesso da parte degli stati membri è subordinato all'approvazione di un piano nazionale (per l'Italia il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, PNRR), e dal piano RePowerEU, elaborato dalla Commissione Europea nel 2022 in risposta alla crisi in Ucraina, che include una serie di azioni volte a limitare l'utilizzo di energia e accelerare la sostituzione dei combustibili fossili con fonti rinnovabili (proponendo un loro incremento del 12% entro il 2030 rispetto a quanto previsto nella direttiva sulle energie rinnovabili) (Commissione europea, 2022a).

L'Italia, per rispondere alla legislazione dell'UE riguardo la decarbonizzazione, ha promulgato, nel 2019, il Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC), un documento nel quale vengono ripresi gli obiettivi dell'European Green Deal e tradotti nel quadro normativo italiano. Il documento si articola fondamentalmente in cinque macroaree di riferimento, che a livello di contenuti riguardano: decarbonizzazione; efficienza energetica; sicurezza energetica; mercato interno dell'energia; ricerca, innovazione e competitività (Ministeri dello Sviluppo Economico, dell'Ambiente e delle Infrastrutture e Trasporti, 2019).

Con il Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima 2030 l'Italia intende perseguire 10 obiettivi:

- accelerare il percorso di decarbonizzazione, considerando il 2030 come una tappa intermedia verso una decarbonizzazione profonda del settore energetico entro il 2050 e integrando la variabile ambiente nelle altre politiche pubbliche;
- mettere il cittadino e le imprese al centro, in modo che siano protagonisti e beneficiari della trasformazione energetica e non solo soggetti finanziatori delle politiche attive; ciò significa promozione dell'autoconsumo e delle comunità energetiche rinnovabili, ma anche massima regolazione e massima trasparenza del segmento della vendita, in modo che il consumatore possa trarre benefici da un mercato concorrenziale;

- favorire l'evoluzione del sistema energetico, in particolare nel settore elettrico, da un assetto centralizzato a uno distribuito basato prevalentemente sulle fonti rinnovabili;
- adottare misure che migliorino la capacità delle stesse rinnovabili di contribuire alla sicurezza e, nel contempo, favorire assetti, infrastrutture e regole di mercato che, a loro volta, contribuiscano all'integrazione delle rinnovabili;
- continuare a garantire adeguati approvvigionamenti delle fonti convenzionali, perseguendo la sicurezza e la continuità della fornitura, con la consapevolezza del progressivo calo di fabbisogno di tali fonti convenzionali, sia per la crescita delle rinnovabili che per l'efficienza energetica;
- promuovere l'efficienza energetica in tutti i settori, come strumento per la tutela dell'ambiente, il miglioramento della sicurezza energetica e la riduzione della spesa energetica per famiglie e imprese;
- promuovere l'elettificazione dei consumi, in particolare nel settore civile e nei trasporti, come strumento per migliorare anche la qualità dell'aria e dell'ambiente;
- accompagnare l'evoluzione del sistema energetico con attività di ricerca e innovazione che, in coerenza con gli orientamenti europei e con le necessità della decarbonizzazione profonda, sviluppino soluzioni idonee a promuovere la sostenibilità, la sicurezza, la continuità e l'economicità di forniture basate in modo crescente su energia rinnovabile in tutti i settori d'uso, accompagnate da politiche di sostegno della domanda, favorendo il riorientamento del sistema produttivo verso processi e prodotti a basso impatto di emissioni di carbonio;
- adottare, anche tenendo conto delle conclusioni del processo di Valutazione Ambientale Strategica e del connesso monitoraggio ambientale, misure e accorgimenti che riducano i potenziali impatti negativi della trasformazione energetica su altri obiettivi parimenti rilevanti, quali la qualità dell'aria e dei corpi idrici, il contenimento del consumo di suolo e la tutela del paesaggio;
- continuare il processo di integrazione del sistema energetico nazionale in quello dell'Unione Europea. La neutralità climatica nell'UE entro il 2050 e l'obiettivo intermedio di riduzione netta di almeno il 55% delle emissioni di gas serra entro il 2030 hanno costituito il riferimento per l'elaborazione degli investimenti e delle riforme in materia di Transizione verde contenuti nei Piani nazionali di ripresa e resilienza, istituiti nel 2020 per affrontare le sfide connesse alla crisi pandemica COVID-19 e il conseguente rallentamento delle economie nazionali, compresi nel quadro del Next Generation EU. Il Piano nazionale italiano di ripresa e resilienza

ha aggiornato, quindi, gli obiettivi sia del PNIEC che della Strategia di lungo termine per la riduzione delle emissioni dei gas a effetto serra.

A seguito degli aggiornamenti normativi a livello comunitario, il Ministero della Transizione ecologica italiano ha promulgato ed adottato, nel marzo 2022, il Piano per la Transizione Ecologica (PTE), che fornisce un quadro integrato delle politiche ambientali ed energetiche ed incorpora gli obiettivi del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR). Il documento indica un nuovo obiettivo nazionale di riduzione delle emissioni climalteranti entro il 2030. Il precedente obiettivo del PNIEC consisteva, in termini assoluti, in una riduzione da 520 milioni di tonnellate emesse nel 1990 a 328 milioni al 2030. Ora, il target 2030 è intorno a quota 256 milioni di tonnellate di CO₂ equivalente (-72 tonnellate). Il piano indica quindi la necessità di operare ulteriori riduzioni di energia primaria rispetto a quanto già disposto nel PNIEC: la riduzione di energia primaria dovrebbe passare dal 43 al 45%, da ottenere nei comparti a maggior potenziale di risparmio energetico come residenziale e trasporti, grazie anche alle misure avviate con il PNRR. La generazione di energia elettrica dovrà dismettere l'uso del carbone entro il 2025 e provenire nel 2030 per il 72% da fonti rinnovabili, fino a livelli prossimi al 95-100% nel 2050.

Almeno due sono gli ostacoli - strettamente collegati - che devono essere superati: (i) le difficoltà autorizzative che rallentano e limitano la crescita del settore e degli investimenti; (ii) la lenta progressione della capacità rinnovabile, che nel 2019 è cresciuta di soli 0,9 GW (550 MW di solare e 350 MW di eolico) e nel 2022 di poco più di 2,5 GW (GSE, 2023).

Uno degli obiettivi del PTE è ridurre a breve e in modo significativo l'incidenza della povertà energetica (che interessa il 13% delle famiglie italiane), andando oltre il "bonus sociale", lo sconto sulla bolletta elettrica e del gas, con misure più strutturali.

L'elettificazione del sistema dell'energia primaria, nella prospettiva di decarbonizzazione totale al 2050, dovrà superare il 50%. Sarà dunque necessario puntare a un'accelerazione dello sviluppo del vettore elettrico rispetto alla quota del 22% raggiunta nel 2018 (era al 17% nel 1990), in virtù soprattutto di una decisa crescita nel settore dei trasporti e degli edifici, con una maggior diffusione delle pompe di calore.

Il documento, in linea con gli investimenti delineati dal PNRR, si prefigge una sostanziale decarbonizzazione del comparto industriale, in particolare nei settori "hard to abate" (siderurgia, vetro, ceramica, cemento, chimica), il cui principio guida è quello dell'"Energy Efficiency First".

In sintesi, il quadro giuridico italiano relativo alla decarbonizzazione stabilisce obiettivi ambiziosi per il 2030 e il 2050 senza, però, fornire una chiara definizione degli obiettivi specifici per i vari settori di interesse. Questa situazione non è presente solo a livello nazionale, ma anche a livello europeo. Inoltre, a marzo 2023 è stato diffuso un annuncio comunitario che prevede la revisione della Direttiva EPBD, per poter alzare gli obiettivi di decarbonizzazione. Sarà quindi necessario

prevedere una modifica dei piani e delle strategie italiane riguardo la tematica, per allinearli alle direttive europee in materia al fine di raggiungere gli obiettivi per il 2030 e la decarbonizzazione entro il 2050.

Nei paragrafi successivi viene fornito un approfondimento delle principali direttive in vigore, da tenere in considerazione per la progettazione di edifici sostenibili e resilienti.

Box 6. Il quadro riassuntivo delle principali direttive e politiche europee di efficientamento energetico degli ultimi 50 anni per il settore delle costruzioni.

DAL 1970 AL 1979

| | |
|------|---|
| 1975 | Risoluzione del Consiglio, del 17 dicembre 1974, concernente gli obiettivi per il 1985 della politica energetica comunitaria. |
| 1976 | 76/492/CEE: Raccomandazione del Consiglio, del 4 maggio 1976, concernente l'utilizzazione razionale dell'energia attraverso la promozione di un migliore isolamento termico degli edifici. 76/493/CEE: Raccomandazione del Consiglio, del 4 maggio 1976, concernente l'utilizzazione razionale dell'energia negli impianti di riscaldamento degli edifici esistenti. 76/496/CEE: Raccomandazione del Consiglio, del 4 maggio 1976, concernente l'utilizzazione razionale dell'energia necessaria al funzionamento degli elettrodomestici. |
| 1977 | 77/712/CEE: Raccomandazione del Consiglio, del 25 ottobre 1977, concernente la regolazione del riscaldamento, la produzione di acqua calda per usi igienici e la misurazione delle quantità di calore nei nuovi edifici. |
| 1978 | Direttiva 78/170/CEE del Consiglio, del 13 febbraio 1978, concernente la resa dei generatori di calore impiegati per il riscaldamento di locali e la produzione di acqua calda negli edifici non industriali nuovi o già esistenti, nonché l'isolamento della distribuzione del calore e di acqua calda per usi igienici nei nuovi edifici non industriali. |
| 1979 | 79/167/CECA, CEE, Euratom: Raccomandazione del Consiglio, del 5 febbraio 1979, concernente la riduzione del fabbisogno energetico degli edifici nella Comunità. |

DAL 1980 AL 1989

| | |
|------|---|
| 1980 | Risoluzione del Consiglio, del 9 giugno 1980, concernente gli obiettivi di politica energetica della Comunità per il 1990 e la convergenza delle politiche degli Stati membri. |
| 1986 | Risoluzione del Consiglio, del 16 settembre 1986, relativa a nuovi obiettivi comunitari di politica energetica per il 1995 e alla convergenza delle politiche degli Stati membri. |
| 1987 | Comunicazione della Commissione: per il proseguimento di una politica di efficienza energetica nella comunità europea. COM (87) 223 finale, 13 maggio 1987. |
| 1989 | Direttiva 89/106/CEE del Consiglio del 21 dicembre 1988 relativa al ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati Membri concernenti i prodotti da costruzione. |

DAL 1990 AL 1999

| | |
|------|--|
| 1992 | Direttiva 92/42/CEE del Consiglio, del 21 maggio 1992, concernente i requisiti di rendimento per le nuove caldaie ad acqua calda alimentate con combustibili liquidi o gassosi. Direttiva 92/75/CEE del Consiglio, del 22 settembre 1992, concernente l'indicazione del consumo di energia e di altre risorse degli apparecchi domestici, mediante l'etichettatura ed informazioni uniformi relative ai prodotti. |
| 1993 | Direttiva 93/76/CEE del Consiglio, del 13 settembre 1993, intesa a limitare le emissioni di biossido di carbonio migliorando l'efficienza energetica (SAVE). |

DAL 2000 AL 2009

- 2002 Direttiva 2002/91/CE del Parlamento e del Consiglio, del 16 dicembre 2002, sul rendimento energetico nell'edilizia.
- 2005 Direttiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 6 luglio 2005, relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia e recante modifica della direttiva 92/42/CEE del Consiglio e delle direttive 96/57/CE e 2000/55/CE del Parlamento europeo e del Consiglio.
- 2006 Direttiva 2006/32/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 5 aprile 2006, concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e recante abrogazione della direttiva 93/76/CEE del Consiglio (Testo rilevante ai fini del SEE).
- 2009 Direttiva 2009/125/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 ottobre 2009, relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti connessi all'energia (rifusione) (Testo rilevante ai fini del SEE).

DAL 2010 AL 2019

- 2010 Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia (rifusione).
- 2011 Regolamento (UE) n. 305/2011 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 9 marzo 2011, che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio (Testo rilevante ai fini del SEE).
- 2012 Direttiva 2012/27/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 25 ottobre 2012, sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE (Testo rilevante ai fini del SEE).
- 2018 Direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 30 maggio 2018, che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica (Testo rilevante ai fini del SEE).
- Direttiva (UE) 2018/2002 del Parlamento europeo e del Consiglio, dell'11 dicembre 2018, che modifica la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica (Testo rilevante ai fini del SEE.)
- 2019 Direttiva (UE) 2019/944 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 5 giugno 2019, relativa a norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica e che modifica la direttiva 2012/27/UE (rifusione) (Testo rilevante ai fini del SEE.)

DAL 2020 ad oggi

- 2020 Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle regioni: Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare per un'Europa più pulita e più competitiva. COM/2020/98 finale, 11 Marzo 2020.
- 2021 Regolamento (UE) 2021/1119 del Parlamento europeo e del Consiglio del 30 giugno 2021 che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica.
- 2024 Direttiva (UE) 2024/1275 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 24 aprile 2024, sulla prestazione energetica nell'edilizia (Testo rilevante ai fini del SEE).

1.3.1 DIRETTIVA SULL'EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEGLI EDIFICI

La direttiva sull'efficientamento energetico degli edifici (Energy Performance Building Directive - EPBD 2002/91/CE) (Parlamento europeo, 2002) è stata la prima direttiva europea in ambito di politica energetica nel settore delle costruzioni. Con la sua introduzione, l'UE mirava a sfruttare l'enorme potenziale di risparmio economico del settore, pari a circa il 22% in dieci anni. Tale direttiva ha permesso di stabilire standard di prestazione energetica minimi sia per gli edifici nuovi che per quelli esistenti che hanno subito modifiche significative, fino a raggiungere un fabbisogno energetico talmente basso, o nullo, da poter essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa quella prodotta in loco o nelle vicinanze, introducendo così il concetto di edifici nZEB (approfondimento nel Box 7). Inoltre, grazie all'introduzione della direttiva, è stato garantito ai potenziali acquirenti o affittuari di un immobile la totale trasparenza delle informazioni energetiche. La direttiva EPBD è stata adottata nel 2002, rivista nel 2010 (Parlamento europeo, 2010) e ulteriormente integrata nel 2018 (2018/844/UE) (Parlamento europeo, 2018a). Le modifiche del 2018 hanno stabilito una chiara direzione verso la completa decarbonizzazione del patrimonio edilizio europeo entro il 2050, concentrandosi al contempo su come modernizzare il patrimonio esistente. La direttiva EPBD 2018/844/EU stabilisce, infatti, obiettivi chiari e ambiziosi per il settore edilizio, come la decarbonizzazione del patrimonio edilizio entro il 2050, l'uso di fonti energetiche rinnovabili e l'aumento del tasso di ristrutturazioni. La direttiva ha introdotto, inoltre, una serie di importanti

strumenti a supporto di tali obiettivi. I principali sono i seguenti:

- Building Renovation Passport (BRP): un documento che fornisce informazioni dettagliate sulle caratteristiche energetiche degli edifici e sugli interventi di ristrutturazione necessari per migliorarne l'efficienza energetica. Il BRP facilita la pianificazione e l'implementazione di progetti di ristrutturazione energetica.
- Strategie di ristrutturazione a lungo termine (LTRS): Gli Stati Membri sono invitati a sviluppare strategie di ristrutturazione a lungo termine che delineino le azioni necessarie per raggiungere gli obiettivi di efficienza energetica e decarbonizzazione del settore edilizio entro il 2050. Queste strategie devono essere basate sull'analisi del patrimonio edilizio nazionale e includere obiettivi intermedi per il 2030 e il 2040.
- Osservatorio del patrimonio edilizio dell'UE (EU Building Stock Observatory, BSO): un database per monitorare le prestazioni energetiche degli edifici nell'Unione Europea. L'EU BSO fornisce dati e informazioni sul consumo energetico degli edifici e supporta la valutazione dell'efficacia delle politiche di efficienza energetica.

La Direttiva EPBD 2018/844/EU è stata revisionata nell'aprile del 2024 con la Direttiva EPBD 2024/1275, comunemente conosciuta come "Direttiva Case Green", con l'obiettivo di rivedere gli obiettivi di decarbonizzazione del settore delle costruzioni. La direttiva è entrata in vigore il 28 maggio 2024 e gli Stati membri hanno due anni per recepirne i contenuti. La nuova direttiva ha ricadute immediate sulle modalità di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici e sulle regole che disciplinano la certificazione energetica e il progetto degli edifici.

Box 7. nearly Zero Energy Building (nZEB).

Nearly Zero Energy Building (nZEB)

L'edificio a energia quasi zero (nZEB) è definito come un "edificio ad altissima prestazione energetica in cui il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo è coperto in misura significativa da energia da fonti rinnovabili, prodotta in situ". Il concetto di nZEB è stato introdotto dalla direttiva EPBD (2010/31/EU), recepita in Italia con decreto-legge 63/2013, convertito in legge n. 90/2013. L'obiettivo europeo al 2050 mira ad ottenere e realizzare un ambiente costruito decarbonizzato, in cui tutti gli edifici sono a energia zero. In particolare, le caratteristiche di un "edificio a energia quasi zero" in Italia sono stabilite dal Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 del Ministero dello Sviluppo Economico, "Requisiti Minimi": Sono nZEB gli edifici, sia di nuova costruzione che esistenti, per cui sono contemporaneamente rispettati i requisiti prestazionali previsti dal decreto stesso e gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili previsti dal Decreto Legislativo 28/2011 sulle rinnovabili. Lo standard nazionale prevede l'inclusione di altri requisiti minimi nZEB in aggiunta al limite complessivo sul consumo di energia: gli indici di prestazione termica utile da confrontare con i valori limite dell'edificio di riferimento, il coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione, l'area solare equivalente estiva per unità di superficie utile, i rendimenti degli impianti di climatizzazione invernale ed estiva e di produzione dell'acqua calda sanitaria, i limiti sulle trasmittanze degli elementi disperdenti. La realizzazione di nuovi edifici nZEB richiede il ricorso a soluzioni innovative per i componenti ed i sistemi sia dell'involucro edilizio che degli impianti che, tuttavia, sono già presenti sul mercato. Non ci sono ricette predefinite per la realizzazione di un nZEB, piuttosto combinazioni di tecnologie di efficienza e facenti uso di fonti d'energia rinnovabili, adeguate e dettate da fattori economici, climatici, tipologici e comportamentali.

1.3.2 DIRETTIVA SULL'EFFICIENZA ENERGETICA

La Direttiva sull'efficienza energetica (EED) (Parlamento europeo, 2012) definisce il quadro giuridico generale per la politica di efficienza energetica nell'UE. È entrata in vigore nel 2012, stabilendo misure per raggiungere un obiettivo di efficienza energetica del 20% entro il 2020. La revisione del 2018 (Parlamento europeo, 2018b) fissa un obiettivo di efficienza energetica del 32,5% per il 2030 ed estende la durata di una delle sue disposizioni principali, l'"obbligo di risparmio energetico", oltre il 2020. La EED comprende anche un'importante disposizione che riguarda gli edifici governativi: gli stati membri sono tenuti a rinnovare ogni anno il 3% della superficie totale degli edifici riscaldati e/o raffreddati di proprietà o occupati dalle amministrazioni centrali, in linea con almeno i requisiti minimi di prestazione energetica.

L'obiettivo di efficienza per il 2030 non è vincolante e il suo raggiungimento dipende fortemente dai risparmi derivanti dall'attuazione della legislazione dell'UE, compresa la direttiva EPBD, e dalle misure nazionali. Per raggiungere l'obiettivo dell'UE, gli stati membri devono stabilire il loro contributo nazionale all'efficienza energetica (ossia la loro quota dell'obiettivo principale dell'UE) e comunicarlo alla commissione europea nell'ambito dei loro piani nazionali per l'energia e il clima. Nello stabilire il proprio contributo, gli stati membri possono concentrare le azioni nazionali sui settori con il più alto potenziale di risparmio energetico, compreso il settore dell'edilizia.

L'ambizione dell'obiettivo generale dell'UE in materia di efficienza energetica e dei contributi nazionali ha un impatto diretto sull'ambizione della politica nazionale di ristrutturazione: più alti sono gli obiettivi, più severe sono le misure che gli Stati membri devono adottare per ridurre il consumo energetico nel settore dell'edilizia. Dato che gli edifici sono responsabili di circa il 40% del consumo energetico e che il 75% di essi è inefficiente, esiste un potenziale significativo (Legambiente, 2022).

L'obbligo di risparmio energetico (articolo 7 della EED) è una delle pietre miliari della politica di efficienza energetica dell'UE. Esso impone agli stati

membri di risparmiare annualmente una certa quantità di energia istituendo un regime obbligatorio di efficienza energetica o adottando misure alternative che ottengano lo stesso effetto. Se gli stati membri scelgono la prima opzione, le parti obbligate nell'ambito del regime (ad esempio le società energetiche) dovranno conseguire i risparmi richiesti attuando misure di efficienza energetica principalmente nei locali dei loro clienti, ad esempio ristrutturando gli edifici o passando a un'illuminazione più efficiente. Se gli stati membri scelgono la seconda opzione, devono mettere in atto misure - come schemi di finanziamento, incentivi fiscali e tasse sull'energia o sul carbonio - per raggiungere la quantità di risparmi richiesta. Con la revisione della EED, questa disposizione cruciale è stata estesa oltre il 2020, in quanto l'articolo 7 originario prevedeva che la misura fosse in vigore solo per il periodo 2014-2020. Inoltre, stabilisce un nuovo obiettivo di risparmio energetico annuale dello 0,8% addizionale per il periodo 2021-2030, calcolato sul consumo energetico finale annuale. Nel periodo 2014-2020 questo obiettivo era stato fissato all'1,5% annuo, ma i risparmi conseguiti ammontano solo a circa la metà dell'obiettivo, poiché sono state concesse diverse esenzioni. Se ben attuati, gli obblighi di risparmio energetico possono contribuire in modo sostanziale a migliorare l'efficienza energetica del patrimonio edilizio dell'UE.

Per incentivare gli interventi di ristrutturazione del patrimonio edilizio, le politiche di risparmio energetico presenti nella direttiva EED sono state concepite in modo tale da favorire le riduzioni di consumi derivanti da misure di lunga durata. La direttiva chiarisce anche quali risparmi degli edifici possono essere conteggiati. L'allegato V stabilisce che i risparmi legati alla ristrutturazione di edifici esistenti possono essere dichiarati a condizione che si possa dimostrare che sono il risultato di un'azione specifica e diretta di un soggetto riconosciuto, come un'autorità pubblica di attuazione. Questo chiarimento mira a incoraggiare le ristrutturazioni edilizie e a contabilizzare le misure che producono ulteriori ristrutturazioni, sia in termini di numero che di risparmi ottenuti (tasso e profondità della ristrutturazione).

1.3.3 EUROPEAN GREEN DEAL

L'European Green Deal (Commissione europea, 2019) rappresenta un piano ambizioso e trasformativo messo in atto dall'Unione Europea per affrontare la sfida del cambiamento climatico e promuovere una transizione verso un'Europa sostenibile. Lanciato dalla Commissione Europea nel dicembre 2019, questo piano è concepito come una strategia integrata che abbraccia tutti i settori dell'economia e si propone di rendere l'Europa il primo continente a impatto climatico neutro entro il 2050.

Il Green Deal europeo offre un quadro completo per raggiungere l'obiettivo di una società più verde, più pulita e più resiliente. La Figura 10 rappresenta schematicamente i principali componenti del Green Deal europeo.

Il Green Deal europeo prevede ingenti investimenti, in parte pubblici, in parte privati, da spendere nell'arco di trent'anni: per il periodo 2021-2027 verranno mobilitati circa 100 miliardi di euro all'anno. L'obiettivo principale, il raggiungimento della neutralità climatica entro il 2050, è stato fissato in modo da rispettare i limiti stabiliti dagli Accordi di Parigi del 2015, ovvero tentare di mantenere l'aumento medio della temperatura mondiale sotto gli 1,5°C rispetto ai livelli preindustriali. Inoltre, sono previsti due obiettivi intermedi, uno con scadenza 2030, l'altro fissato per il 2040, il primo dei quali prevede una riduzione delle emissioni di CO₂ in una percentuale compresa tra il 50 e il 55%.

La legge sul clima rappresenta la base legislativa per tutti i futuri provvedimenti del Green New Deal, in quanto ha il compito di dare forza di legge all'obiettivo fissato (Parlamento europeo, 2021). Prevede misure per verificare, con cadenza quinquennale, i progressi compiuti ed allineare, di conseguenza, gli interventi futuri. Inoltre pone l'obiettivo di offrire prevedibilità agli investitori e agli altri attori economici e garantire che la transizione verso la neutralità climatica sia irreversibile.

Nel settore delle costruzioni, l'obiettivo principale del Green Deal Europeo è di rendere il parco edilizio europeo a impatto zero entro il 2050. Questo implica la ristrutturazione energetica profonda degli edifici esistenti, l'adozione di standard più elevati per le nuove costruzioni e la promozione di tecnologie innovative e sostenibili. Per raggiungere tali obiettivi, sono state implementate politiche e misure che promuovono l'efficienza energetica, l'uso di energie rinnovabili, la riduzione delle emissioni di CO₂ e l'adozione di soluzioni intelligenti per la gestione energetica degli edifici.

Una delle principali priorità del Green Deal Europeo è la ristrutturazione energetica degli edifici esistenti.

Vengono introdotte misure volte ad accelerare il ritmo delle ristrutturazioni, come finanziamenti agevolati, incentivi fiscali e programmi di sostegno. L'obiettivo è migliorare l'isolamento termico, sostituire gli impianti obsoleti con soluzioni a basso consumo energetico e promuovere l'uso di energie rinnovabili. Inoltre, viene incoraggiata l'adozione di tecnologie digitali e soluzioni intelligenti per il monitoraggio e il controllo dell'energia negli edifici. In questo ambito, nel 2020 la Commissione europea ha lanciato un importante programma: la Renovation Wave Strategy, dedicato all'edilizia, in un quadro che associa la qualificazione/rigenerazione dell'architettura, pubblica e privata, con la sua funzione ambientale, sociale, sanitaria, ecologica (Commissione europea, 2020c). Obiettivo del programma è di raddoppiare i tassi annuali di rinnovamento energetico entro i prossimi dieci anni. Oltre a ridurre le emissioni, gli interventi di ristrutturazione degli edifici previsti nel programma miglioreranno la qualità della vita delle persone che li utilizzano, ponendo le basi per la creazione di molteplici posti di lavoro "green" nel settore delle costruzioni.

La strategia darà priorità a tre aree: (i) la decarbonizzazione del riscaldamento e del raffreddamento; (ii) la lotta alla povertà energetica, con interventi negli edifici inefficienti; (iii) la ristrutturazione di edifici pubblici come scuole, ospedali ed edifici amministrativi. L'obiettivo è di lavorare lungo tutta la filiera: dalla concezione di un progetto al suo finanziamento e al suo completamento, eliminando i possibili ostacoli con una serie di misure politiche, strumenti di finanziamento e di assistenza tecnica.

Presupposto per realizzare questa ambiziosa strategia è costruire o almeno rafforzare le filiere edilizie con:

- trasferimento dell'innovazione digitale nelle pratiche correnti di tutti i soggetti della filiera, dall'industria del settore sino ai soggetti pubblici preposti alla programmazione e controllo;
- nuove sinergie tra pubblico e privato attraverso la concezione di pratiche avanzate e interdisciplinari di progetto.

Nel marzo 2020, la Commissione Europea ha lanciato, come parte integrante del Green Deal, un "Piano d'azione per una nuova economia circolare" (Commissione europea, 2020b) che punta tra le altre cose a prodotti più sostenibili e alla riduzione dei rifiuti, con una particolare attenzione a quei settori considerati ad alta intensità di risorse, tra cui appunto quello delle costruzioni. Come visto nella sezione precedente, la transizione verso un'economia circolare potrà ridurre la pressione ecologica, attenuare la perdita di biodiversità e garantire uno sviluppo sostenibile. Le ambizioni, con questo piano, sono elevate. L'UE deve aprire la

strada a un'economia circolare a livello globale, ridurre la propria impronta di consumo e raddoppiare il tasso di utilizzo di materiali circolari. L'obiettivo generale è stabilire un "modello di crescita rigenerativa che restituisca al pianeta più di quanto prende". Attraverso una serie di misure non legislative e legislative, il piano d'azione si concentra sull'intero ciclo di vita, che include la progettazione, il consumo sostenibile, la prevenzione e la riduzione dei rifiuti, la responsabilizzazione dei consumatori, gli investimenti nei settori rilevanti per la circolarità e i piani di governance multilivello.

Nel febbraio 2021 il parlamento europeo ha adottato la risoluzione 2021/C 465/03 riguardante il nuovo

piano d'azione, chiedendo misure aggiuntive per raggiungere un'economia a zero emissioni di carbonio, sostenibile dal punto di vista ambientale, libera dalle sostanze tossiche e completamente circolare entro il 2050. In essa sono anche incluse norme più severe sul riciclo, e obiettivi vincolanti per il 2030 sull'uso e l'impronta ecologica dei materiali. Nel marzo 2022 poi, la Commissione ha pubblicato un primo pacchetto di misure per accelerare questa transizione, con proposte concrete che includono il potenziamento dei prodotti sostenibili e, in edilizia, la revisione del regolamento sui prodotti da costruzione.

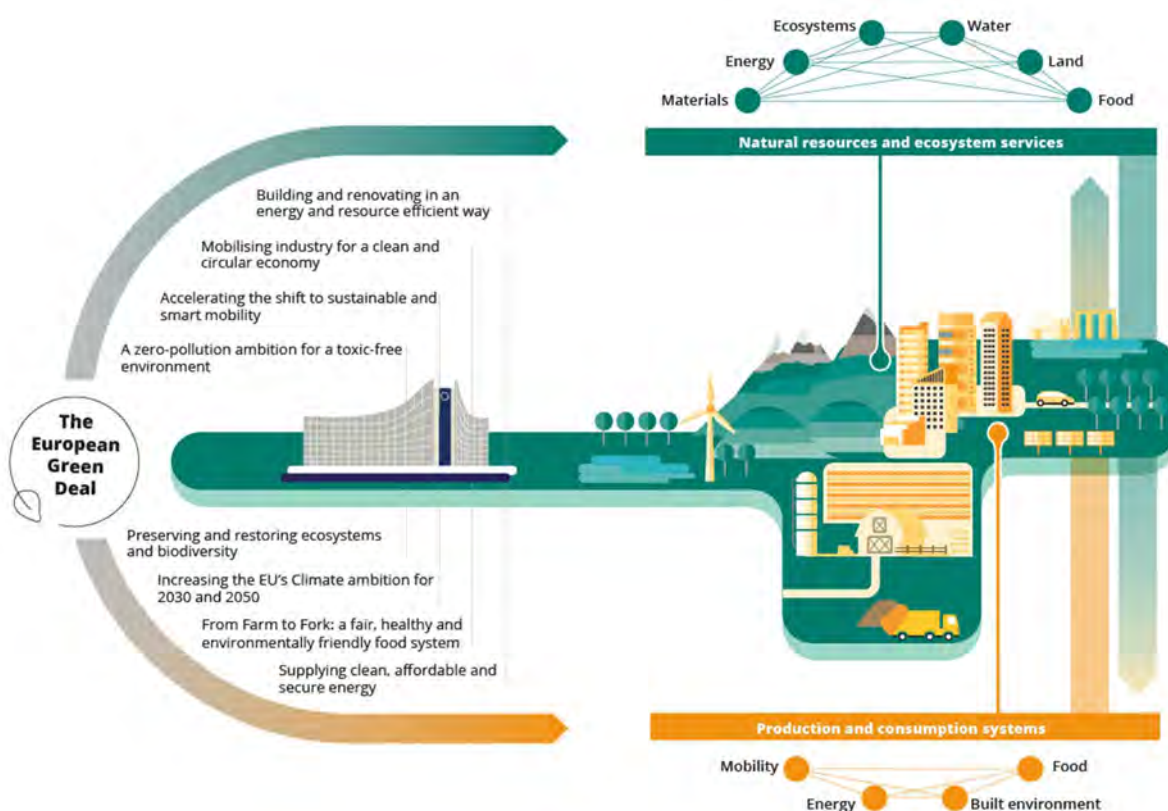


Figura 10. Schema riassuntivo dei vari elementi che compongono il Green New Deal dell'Unione Europea. (Commissione Europea, 2019)

1.3.4 FIT FOR 55

Il pacchetto di proposte denominato "Pronti per il 55%" ("Fit for 55%") è un ulteriore strumento a supporto della EPBD e della EED, con l'obiettivo di allineare la normativa vigente in materia di clima ed energia al nuovo obiettivo di riduzione, entro il 2030, delle emissioni nette di gas a effetto serra di almeno il 55 % rispetto ai livelli del 1990, nella prospettiva della neutralità climatica entro il 2050. L'obiettivo del 55%, reso vincolante dalla normativa europea per il clima, rappresenta il contributo determinato a livello nazionale (national determined contribution - NDC) dell'UE e dei suoi Stati membri trasmesso alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) nel quadro del rispetto degli obiettivi dell'Accordo di Parigi.

Il pacchetto è composto da cinque strumenti cardine: potenziamento dell'emission trading; carbon border adjustment; riforma tassazione combustibili fossili; incentivi a privati e PMI e stop alla vendita di auto a combustione interna a partire dal 2035. Questi strumenti hanno influenze diverse sul settore delle costruzioni, come rappresentato in Figura 11.

Il pacchetto *Fit for 55* prevede una revisione dei meccanismi che da anni disciplinano la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra e che costituiscono il perno della politica climatica europea, al fine di adeguarli ai nuovi e più ambiziosi obiettivi climatici. Le proposte facenti parte del pacchetto, strettamente interconnesse e complementari, intervengono in una serie di settori: clima, energia e combustibili, trasporti, edilizia, uso

del suolo e silvicoltura. Nel settore delle costruzioni, il pacchetto si focalizza su due aspetti principali: "efficienza energetica" e "prestazione energetica degli edifici".

Per il primo aspetto, il pacchetto *Fit For 55* si pone come obiettivo principale di ridurre il consumo di energia finale a livello dell'UE dell'11,7% nel 2030 rispetto alle proiezioni del 2020. Le norme proposte comprendono varie disposizioni tese ad accelerare gli sforzi in materia di efficienza energetica da parte degli stati membri, quali maggiori obblighi annuali di risparmio energetico e nuove norme volte a ridurre il consumo di energia negli edifici pubblici. Nel dettaglio, il pacchetto prevede una riduzione del consumo finale di energia per edifici pubblici e un processo di rinnovo degli stessi rispettivamente dell'1,9% e del 3% l'anno. Nel marzo del 2023 Il Consiglio e il Parlamento hanno concordato un graduale aumento dell'obiettivo di risparmio energetico annuale per il consumo di energia finale dal 2024 al 2030. Gli stati membri garantiranno in media un nuovo risparmio annuale dell'1,49% sul consumo di energia finale nel corso di tale periodo, raggiungendo gradualmente l'1,9% il 31 dicembre 2030.

Per aumentare l'efficienza energetica degli edifici entro il 2030, il pacchetto *Fit For 55* ha previsto una revisione della direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD 2018/884/UE), portando al 2030 l'anno in cui tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere a emissioni zero. Nel Box 8 vengono presentate le principali novità della nuova Direttiva (EPBD 2024/1275), pubblicata dal Parlamento europeo e dal Consiglio nell'aprile del 2024, nota come "Direttiva Case Green".



Figura 11. Gli strumenti cardine del pacchetto Fit for 55 in ordine di importanza per il settore delle costruzioni. (ANCE, 2021)

Box 8. Direttiva "Case green" (UE 2024/1275).

Il Parlamento europeo ha pubblicato, in data 24 aprile 2024, la "Direttiva Case Green" finalizzata ad aumentare il tasso di ristrutturazioni e ridurre il consumo energetico ed emissioni nel settore edilizio entro il 2030. La direttiva richiede ad ogni Stato membro dell'Unione Europea di impegnarsi nell'implementazione di un nuovo piano di riqualificazione degli edifici, adottando misure mirate a garantire una riduzione dell'energia primaria media utilizzata dagli edifici, comò p scopo di trasformare gli edifici esistenti in edifici a emissioni zero. Di seguito si presentano le principali misure indicate nella direttiva e mirate a rendere gli edifici più ecologici e a ridurre il loro impatto ambientale.

- All'articolo 7 - "new buildings": nuovi standard per la costruzione di nuovi edifici. A partire dal 2028, tutti i nuovi edifici di proprietà degli enti pubblici dovranno essere a emissioni zero. A questi si aggiungeranno tutte le altre tipologie di edifici a partire dal 2030, rappresentando un significativo passo avanti verso la decarbonizzazione del settore edilizio.
- All'articolo 9 - "minimum energy performance standards": nuovi standard per la ristrutturazione di edifici esistenti. Entro il 2030, gli edifici non residenziali dovranno raggiungere la classe di prestazione energetica E, mentre entro lo stesso anno gli edifici pubblici dovranno raggiungere la classe D. Entro il 2033, gli edifici residenziali sottoposti a ristrutturazioni dovranno raggiungere la classe di prestazione energetica D. Per affrontare la diversità delle situazioni dei parchi immobiliari nazionali, la proposta di legge stabilisce che la classe G dovrà corrispondere al 15% degli edifici con le più basse prestazioni energetiche di ogni Stato membro. Questa disposizione tiene conto delle diverse condizioni esistenti nei vari paesi dell'Unione Europea e promuove un approccio graduale verso la sostenibilità energetica.
- All'articolo 10 - "solar energy in building": nuove scadenze specifiche per l'adozione di tecnologie solari negli edifici. Entro a fine del 2026, tutti i nuovi edifici pubblici e non residenziali con una superficie coperta utile superiore a 250 m² dovranno essere dotati di impianti solari adeguati, laddove tecnicamente appropriato ed economicamente e funzionalmente fattibile. A questi si aggiungeranno tutte le altre tipologie di edifici pubblici con superficie coperta superiore a 250 m² entro la fine del 2030 e i nuovi edifici residenziali privati entro il 31 dicembre 2029.
- All'articolo 12 - "Renovation passport": viene definito il di Passaporto di Ristrutturazione come una tabella di marcia su misura per la ristrutturazione profonda di un determinato edificio, in un numero massimo di fasi che ne miglioreranno sensibilmente la prestazione energetica.
- All'articolo 13 - "technical building systems": gli interventi di miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici devono essere effettuati in occasione della vendita o ristrutturazione dell'edificio. Gli Stati membri si devono inoltre adoperare per sostituire le caldaie uniche alimentate a combustibili fossili negli edifici esistenti, in linea con i piani nazionali di eliminazione graduale delle caldaie a combustibili fossili.

1.4 STRUMENTI PER LA DECARBONIZZAZIONE DEGLI EDIFICI

All'interno delle normative descritte nel paragrafo precedente, vengono proposti alcuni strumenti di analisi delle performance degli edifici, con lo scopo di migliorarne l'efficienza energetica e supportare l'obiettivo di decarbonizzazione del settore delle costruzioni. I seguenti paragrafi propongono una trattazione più dettagliata di tali strumenti.

1.4.1 LEVEL(S)

All'interno del Circular Economy Action Plan (Commissione europea, 2020a), lanciato dall'Unione Europea nel 2020 come piano operativo per il raggiungimento degli obiettivi del Green Deal, è prevista un'intera sezione dedicata allo studio di uno strumento per l'analisi dei livelli di efficienza degli edifici, il *framework* Level(s).

Level(s) è uno strumento *open source* sviluppato dalla Commissione Europea per regolare il mercato dell'edilizia sostenibile all'interno dell'Unione Europea (Commissione Europea, 2022b). È un sistema di indicatori chiave di performance per misurare e valutare le prestazioni in termini di sostenibilità degli edifici in tutta Europa durante il loro intero ciclo di vita. Si tratta di un quadro comune volto ad aiutare a progettare e costruire edifici che utilizzino meno energia e materiali, e che, allo stesso tempo, offrano spazi più sani e confortevoli per gli occupanti.

Il *framework* dello strumento è diviso in tre aree:

1. uso delle risorse e prestazioni ambientali durante il ciclo di vita di un edificio ciclo;
2. salute e comfort;
3. costo, valore e rischio.

All'interno del quadro di riferimento Level(s), ogni indicatore è progettato per collegare l'impatto del singolo edificio con le priorità per la sostenibilità a livello europeo. In questo modo l'utente di Level(s) si concentra su un numero gestibile di concetti e indicatori essenziali a livello di edificio che contribuiscono al raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità e decarbonizzazione dell'UE e degli Stati membri.

Come indicato nella Tabella 1, gli indicatori che compongono lo strumento Level(s) sono suddivisi in 6 macro-obiettivi chiave: (1) emissioni di gas serra e di inquinanti atmosferici; (2) efficienza delle risorse; (3) uso dell'acqua; (4) salute e comfort; (5) resilienza e adattamento; (6) costi e valore.

Lo strumento è, inoltre, diviso in livelli che definiscono quanto approfondito sarà il reporting rispetto al ciclo di vita del progetto e dell'edificio. Il Livello 1 si applica al progetto preliminare e ne restituisce una valutazione qualitativa. Il Livello 2 si applica al progetto esecutivo e alla fase di cantiere, per una valutazione quantitativa delle prestazioni. Infine, il Livello 3 si applica alla conclusione dei lavori e durante la fase d'uso dell'edificio per misurare e monitorare le prestazioni. Ogni macro-obiettivo viene calcolato con l'uso di specifici indicatori.

Tabella 1. Indicatori componenti lo strumento Level(s).

| N. | Macro obiettivi | N. | Indicatori |
|----|--|-----|--|
| 1 | Emissioni di gas serra lungo il ciclo di vita di un edificio | 1.1 | Prestazioni energetiche nella fase di utilizzo (kWh/m ² anno). |
| | | 1.2 | Potenziale di riscaldamento globale del ciclo di vita (CO ₂ eq./m ² anno). |
| 2 | Cicli di vita dei materiali circolari ed efficienti nell'uso delle risorse | 2.1 | Strumento per il ciclo di vita: distinta dei materiali di costruzione (kg). |
| | | 2.2 | Strumenti per il ciclo di vita: scenari riguardanti la vita utile, l'adattabilità e lo smantellamento. |
| | | 2.3 | Rifiuti e materiali di costruzione e demolizione. |
| | | 2.4 | Strumento per il ciclo di vita: valutazione del ciclo di vita (LCA) dalla culla alla culla. |
| 3 | Utilizzo efficiente delle risorse idriche | 3.1 | Consumo idrico nella fase di utilizzo (m ³ /occupante anno) |
| 4 | Spazi salubri e confortevoli | 4.1 | Qualità dell'aria interna. |
| | | 4.2 | Tempo al di fuori dell'intervallo di comfort termico. |
| | | 4.3 | Illuminazione e comfort visivo |
| | | 4.4 | Acustica e protezione dal rumore |
| 5 | Adattamento e resilienza al cambiamento climatico | 5.1 | Tutela della salute e del comfort termico degli occupanti |
| | | 5.2 | Maggiore rischio di eventi atmosferici esterni |
| | | 5.3 | Maggiore rischio di inondazioni |
| 6 | Ottimizzazione del valore e del costo del ciclo di vita | 6.1 | Costi del ciclo di vita (€/m ² anno). |
| | | 6.2 | Creazione di valore e fattori di rischio. |

1.4.2 SMART READINESS INDICATOR

Le tecnologie intelligenti negli edifici hanno il potenziale di aumentare l'efficienza energetica del parco edilizio, aumentare la flessibilità delle reti energetiche intelligenti e migliorare il comfort e la salute degli occupanti degli edifici. Questo potenziale è stato fortemente enfatizzato nella revisione del 2018 della Direttiva Europea sulla Prestazione Energetica degli Edifici (EPBD) 2018/844 (Parlamento europeo, 2018), con l'introduzione del concetto di Smart Readiness Indicator (SRI) al fine di aumentare la visibilità e l'adozione delle tecnologie intelligenti nel patrimonio edilizio europeo. Questo indicatore consente di valutare la *smart readiness* degli edifici, ossia l'indice di intelligenza degli edifici (o delle unità immobiliari) nell'adattare il proprio funzionamento alle esigenze degli occupanti, ottimizzando anche l'efficienza energetica e le prestazioni complessive, e nell'adattare il proprio funzionamento in reazione ai segnali provenienti dalla rete (flessibilità energetica).

Lo SRI è stato ufficialmente adottato con la pubblicazione di due atti giuridici sulla Gazzetta Ufficiale dell'UE:

- il regolamento delegato (UE) 2020/2155 della Commissione ha stabilito la definizione del SRI e una metodologia comune per il suo calcolo;
- il regolamento di esecuzione (UE) 2020/2156 della Commissione ha dettagliato le modalità tecniche per un'efficace attuazione del SRI.

Il metodo di calcolo del SRI si basa sul metodo di valutazione multicriteriale flessibile e modulare, definito nel Regolamento delegato (UE) 2020/2155 della Commissione, che si basa sulla valutazione dei servizi *smart-ready* presenti in un edificio. I servizi

sono abilitati dalle tecnologie *smart-ready*, ma sono definiti in modo tecnologicamente neutrale. La metodologia di calcolo proposta è strutturata in 9 domini tecnici e 7 criteri d'impatto, per un totale di 54 indicatori. Per ogni servizio sono stati definiti diversi livelli di funzionalità. Un livello di funzionalità più elevato riflette un'implementazione più intelligente del servizio, che in genere fornisce impatti più vantaggiosi agli utenti degli edifici o alla rete rispetto ai servizi implementati a un livello di funzionalità inferiore. Nel metodo proposto, il punteggio di *smart readiness* di un edificio o di un'unità immobiliare è espresso come una percentuale che rappresenta il rapporto tra la *smart readiness* dell'edificio rispetto al massimo raggiungibile.

L'applicabilità della metodologia SRI può variare a seconda delle circostanze specifiche (tipo di edificio, clima, condizioni specifiche del sito, ecc.) Il contesto locale e specifico del sito farà sì che alcuni ambiti e servizi non siano rilevanti, non siano applicabili o non siano auspicabili, e quindi il SRI deve essere sufficientemente flessibile per tenerne conto.

Attualmente l'indicatore è ancora in fase di sperimentazione e la possibilità di avviare una fase di test o di implementare il SRI da parte degli Stati membri è su base volontaria.

Per sostenere l'attuazione del SRI in Europa, la Commissione ha incaricato un gruppo di supporto di fornire assistenza tecnica ai servizi della Commissione e ai Paesi dell'UE nella sperimentazione e nell'attuazione del SRI e nella creazione e gestione di una struttura permanente per sostenere efficacemente l'ampia diffusione dello stesso.

(https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/smart-readiness-indicator_en)



Figura 12. Struttura della metodologia di calcolo del metodo *Smart Readiness Indicator*, con i 9 domini tecnici e i 7 criteri d'impatto. (Commissione Europea, 2020)

1.4.3 BUILDING RENOVATION PASSPORT

Il Building Renovation Passport (BRP) è un altro importante strumento previsto dalla direttiva EPBD 2018/844/UE, visto come un'evoluzione dell'attestato di prestazione energetica (Energy Performance Certificate, EPC), che prevede di supportare i proprietari di immobili con suggerimenti personalizzati sulle possibili opzioni di ristrutturazione. All'interno della direttiva, il BRP viene presentato come: "una tabella di marcia a lungo termine, passo dopo passo, per una ristrutturazione profonda di un edificio specifico, basata su criteri di qualità, a seguito di una diagnosi energetica, e delineando le misure e le ristrutturazioni pertinenti che potrebbero migliorare la prestazione energetica".

Il BRP è quindi uno strumento in grado di aumentare la disponibilità di informazioni per un'ampia gamma di utenti, ma anche di migliorare il flusso di dati lungo la catena per migliorarne la qualità. La mancanza di informazioni e di trasparenza causa un aumento dei rischi legati alla gestione dell'edificio e mina la fiducia degli investitori. Pertanto, un'acquisizione e un'elaborazione sistematica e ottimizzata delle informazioni può supportare il processo decisionale di investimento e opportunità per l'innovazione e l'adozione di misure, processi e progetti di efficienza energetica e sostenibilità.

La struttura tipica di un BRP prevede due elementi principali: un registro digitale (Digital Building Logbook, DBL) e un piano di ristrutturazione (*renovation roadmap*). Il primo è stato concepito come un archivio digitale con informazioni storiche e attuali sull'immobile, la sua costruzione e le sue prestazioni operative; mentre il secondo identifica le strategie di riqualificazione in termini di tempo e costi.

Il Digital Building Logbook è uno strumento informativo completo volto a incoraggiare la trasparenza e la disponibilità dei dati e a semplificare il processo decisionale per gli

stakeholder della catena del valore degli edifici. Tra questi vi sono proprietari di immobili, locatari, investitori, istituzioni finanziarie e pubbliche amministrazioni. Il concetto di Digital Building Logbook è stato ulteriormente ribadito nella strategia europea "Renovation Wave" (Commissione Europea, 2020c) e definito come "un registro digitale degli edifici e un archivio comune per i dati rilevanti degli edifici che facilita la trasparenza, la fiducia, il processo decisionale informato e la condivisione delle informazioni all'interno del settore delle costruzioni, tra proprietari e occupanti di edifici, istituzioni finanziarie e autorità pubbliche". Le prime esperienze di BRP, invece, sono avvenute in Germania, con l'*Individueller Sanierungsfahrplan* (iSFP), in Belgio, con il *Woningpas*, e in Francia, con il *Passeport Efficacité Energétique* (Salvalai et al, 2019). Successivamente, diversi progetti di ricerca finanziati nell'ambito del programma Horizon 2020 della Commissione Europea hanno studiato e continuano tutt'ora a studiare il BRP cercando di definire un linguaggio comune e di prevedere sinergie e connessioni con i database esistenti per il popolamento dei dati del BRP e in particolare del DBL, con l'obiettivo di introdurre uno strumento a livello comunitario sia per edifici riqualificati che non riqualificati. Gli ultimi aggiornamenti a riguardo risalgono al 24 aprile 2024, data di pubblicazione della nuova Direttiva EPBD 2024/1275 "Case Green" da parte del Parlamento europeo (Box 9) (Parlamento europeo, 2023).

Il Building Passport non si concentra su un particolare aspetto, ma contiene tutte le informazioni relative agli edifici, compresi i dati (in formato aggregato o disaggregato) generati da altre iniziative più specifiche di acquisizione e gestione dei dati. Ad esempio, i dati provenienti da certificati di prestazione energetica, schemi di certificazione della sostenibilità, passaporti dei materiali e/o delle ristrutturazioni e del clima, nonché i certificati di sostenibilità dei materiali (DPP, EPD).

Box 9. Direttiva EPBD 2024/1275 "Case Green": gli aggiornamenti per l'implementazione del Building Renovation Passport nei paesi membri.

La Direttiva "Case Green", approvata dal Parlamento europeo il 24 aprile 2024, propone, all'interno dell'articolo 12 – "Renovation Passport" il 29 maggio 2026 come scadenza per gli Stati membri per introdurre il Building Renovation Passport, sottoscritto da professionisti abilitati, che ha come obiettivo quello di fare una fotografia dello stato energetico degli edifici, di stabilire quali sono gli interventi necessari e la tabella di marcia, di stimare i costi delle varie fasi di ristrutturazione. Una sorta di libretto delle istruzioni del fabbricato, ma specifico dal punto di vista energetico e con l'ottica di programmare gli interventi necessari per raggiungere i requisiti stabiliti.

La direttiva indica che il passaporto di ristrutturazione deve avere determinati requisiti tra i quali:

- deve essere rilasciato in un formato digitale da un esperto qualificato,
- deve comprendere una tabella di marcia con la quale viene stabilito il numero massimo di fasi di ristrutturazione in ottica di efficientamento energetico entro il 2050,
- deve contenere i costi stimati degli interventi.

2 SOSTENIBILITÀ E RESILIENZA: DEFINIZIONI E RATING DI VALUTAZIONE PER LA FILIERA DELLE COSTRUZIONI

La sostenibilità è un concetto che si presta a molteplici interpretazioni e declinazioni. Chiarirne il perimetro è fondamentale per garantirne una sua applicazione e declinazione sia nel presente che in futuro. Accanto a questo concetto si è diffuso più recentemente il termine resilienza. Entrambi questi concetti sono stati studiati nel dettaglio, dalle origini fino alle più recenti applicazioni nell'ambito delle costruzioni, per arrivare alla definizione di un metodo specifico per le aziende della filiera delle costruzioni che le supporti nella comprensione della loro corrente situazione in relazione allo sviluppo sostenibile e resiliente e agli impatti che generano. Sostenibilità e resilienza vengono quindi analizzati come due concetti integrati e valutati sia qualitativamente che quantitativamente tramite lo sviluppo di un metodo di valutazione nuovo e specifico chiamato SARIA (Sustainability And Resilience Impact Assessment).

Parole chiave: *sostenibilità, resilienza, sviluppo sostenibile, metodo di valutazione, impatti.*

State Office De Knoop. Nuovi uffici governativi Comune di Utrecht, Olanda. Committente: R Creators, Consorzio tra: Strukton, Facilicom e Ballast Nedam - Progetto architettonico: Cepezed - Progetto strutturale: Pieters Bouwtechniek - Costruttore metallico: Staalbouw Nagelhout Bakhuizen - Foto: Lucas van der Wee



2.1 SOSTENIBILITÀ: DEFINIZIONI, METODI E AMBITI DI VALUTAZIONE

Le origini del termine "sostenibilità" risalgono all'inizio del XX secolo e sono radicate nello sviluppo storico dell'ambientalismo. Negli anni Settanta, i problemi causati dall'inquinamento ambientale e dal consumo di risorse hanno iniziato a riscontrare un maggiore interesse, portando le Nazioni Unite nel 1987 alla definizione di "sviluppo sostenibile" all'interno del rapporto Brundtland, dal titolo "Our Common Future".

Il rapporto Brundtland (1987) ha rappresentato un atto fondamentale per l'introduzione del concetto di sostenibilità, e a partire da questo documento si è avviato un processo continuo di riflessione sulla sostenibilità come paradigma fondamentale d'azione, in particolare per il settore delle costruzioni.

Successivamente, nel 1989, l'Assemblea generale dell'ONU istituì una conferenza delle Nazioni Unite specifica su ambiente e sviluppo, che ha permesso nel tempo di diffondere maggiormente la consapevolezza su questi concetti e ha portato all'adozione dell'Agenda 21 nel 1992 a Rio de Janeiro, seguita nel 1997 dall'adozione di obiettivi chiari sulle emissioni con il Protocollo di Kyoto. In ultimo, nel 2015 viene adottata dai Paesi membri delle Nazioni Unite l'Agenda 2030, all'interno della quale sono contenuti gli ormai ben noti 17 obiettivi di sviluppo sostenibile (*Sustainable Development Goals - SDG*) che coinvolgono e interessano tutte le dimensioni

della sostenibilità a scala planetaria. Ad oggi l'ultimo tassello in Europa legato allo sviluppo economico è il Green Deal, analizzato nel precedente capitolo, con il quale l'Unione Europea si è posta l'obiettivo di diventare il primo continente a impatto zero entro il 2050.

La definizione data dalle Nazioni Unite all'interno del rapporto Brundtland lega il termine sostenibilità esclusivamente con il tema ambientale. Con il passare degli anni si sono aggiunte sempre più accezioni diverse, fino ad arrivare ad integrare nel termine sostenibilità non solo l'aspetto ambientale, ma anche gli aspetti sociali ed economici. Questo implica che la protezione dell'ambiente è legata al mantenimento e al miglioramento dell'equità delle generazioni presenti e future. Come descritto da Filho et al. (2014), lo sviluppo sostenibile dovrebbe essere promosso da "una crescita economica sostenuta, inclusiva ed equa, che crei maggiori opportunità per tutti, riduca le disuguaglianze, aumenti gli standard di vita di base, promuova uno sviluppo sociale equo e l'inclusione, e promuova una gestione integrata e sostenibile delle risorse naturali e degli ecosistemi che sostenga, tra l'altro, lo sviluppo economico, sociale e umano, facilitando al contempo la conservazione, la rigenerazione e il ripristino degli ecosistemi e la resilienza di fronte alle sfide nuove ed emergenti".

Ne è derivata l'importanza e la necessità di analizzare e strutturare il modello concettuale della sostenibilità in relazione a tre distinti pilastri, anche detti "dimensioni": economica, ecologica e sociale, ancor oggi accettate a livello internazionale come modello consolidato di sostenibilità.

Box 10 - Definizione delle Nazioni Unite di sostenibilità (1987) e la linea del tempo della sostenibilità



Per poter applicare il termine sostenibilità all'interno del settore delle costruzioni, bisogna rivolgere la propria attenzione ad una prospettiva più ampia. Questo significa che per definire un edificio sostenibile si devono applicare strategie di sostenibilità non solo a livello della costruzione, ma anche a livelli più ampi, come quello locale, regionale e globale. Realizzare un edificio

sostenibile significa analizzarlo e documentarlo all'interno delle tre dimensioni descritte precedentemente. Charles Kibert (1994) ha difeso l'importanza dei tre pilastri durante la prima conferenza internazionale sull'edilizia sostenibile tenutasi a Tampa nel 1994, introducendo il concetto di "edilizia sostenibile" (Box 11).

Box 11 - Definizione di edilizia sostenibile

Definizione di edilizia sostenibile secondo C. Kibert (1994):

La creazione e la gestione responsabile di un ambiente costruito sano, basato su principi ecologici ed efficienti dal punto di vista delle risorse.

L'ultimo decennio ha registrato una crescente scarsità di risorse e alti livelli di emissioni e di produzione di rifiuti motivo per cui è aumentata la promozione di un'edilizia più sostenibile. Il tessuto edilizio svolge un ruolo centrale nel consumo di energia primaria e nel potenziale di riscaldamento globale del pianeta, basti pensare che in Europa più della metà del patrimonio edilizio è costituito da edifici antecedenti all'attuazione dei primi regolamenti edilizi in ambito di risparmio energetico e progettazione sostenibile, emanati nei primi anni Settanta.

Operare a livello sostenibile nel settore delle costruzioni significa progettare e costruire edifici ponendosi come finalità progettuali l'efficienza energetica, il miglioramento della salute, del comfort e della qualità della fruizione degli abitanti, tenendo conto, fin dalla fase iniziale del progetto, del potenziale impatto ambientale delle costruzioni sull'intero ciclo di vita.

Per raggiungere questi obiettivi, è stato implementato un nuovo approccio al modo di concepire le costruzioni. In passato, la progettazione degli edifici si concentrava principalmente sui costi di costruzione, sul tempo di costruzione e sulla qualità dell'opera come misura del ritorno sull'investimento. Con una maggiore consapevolezza ambientale, le preoccupazioni relative allo sfruttamento delle risorse, all'inquinamento (emissioni nell'aria, nel suolo e nell'acqua) e al degrado della biodiversità degli ecosistemi sono ora sempre più considerate nell'approccio alla costruzione. A queste si aggiunge la ricerca di un migliore equilibrio sociale che permetta di ridurre le disuguaglianze e di assicurare un ambiente dignitoso in cui vivere a tutta la popolazione.

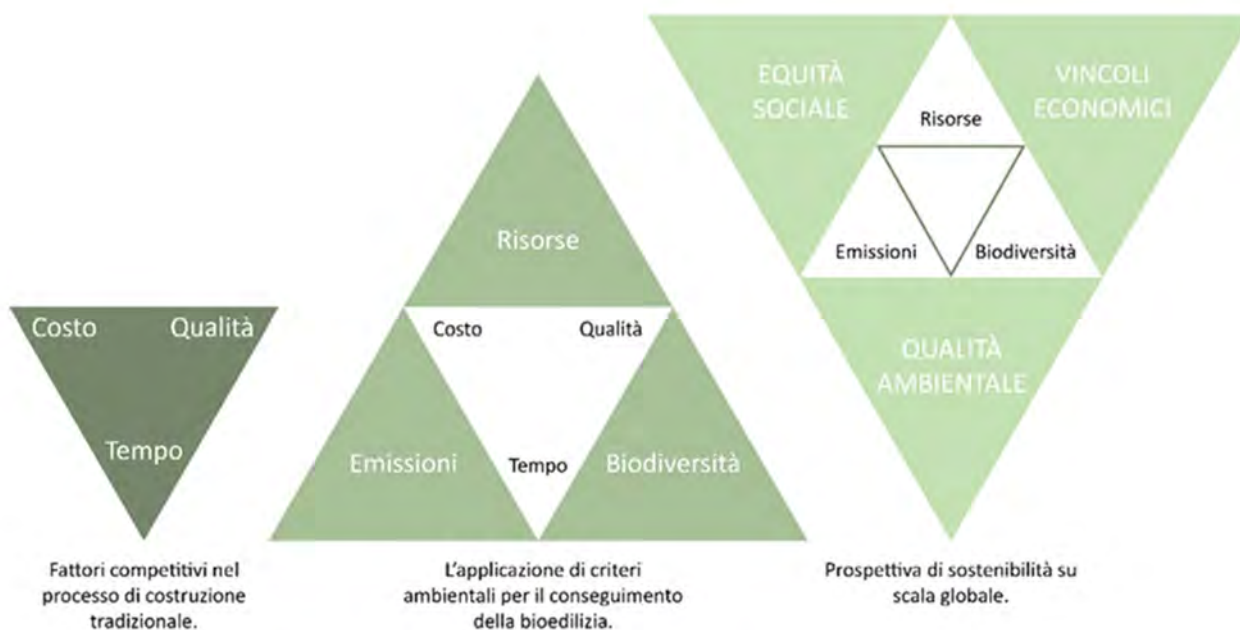


Figura 13 - Evoluzione dell'approccio alla costruzione sostenibile. Fonte: Mateus et al., 2004.

Un ambiente costruito sostenibile è, quindi, frutto di un equilibrio tra le tre dimensioni fondamentali della sostenibilità: ambiente, società ed economia. Purtroppo non esiste una formula globale per raggiungerlo, soprattutto perché le preoccupazioni della società e lo stato economico variano notevolmente nel mondo. Non sarebbe sensato progettare edifici identici in condizioni diverse e cercare di considerarli sostenibili. Pertanto, quando si tratta di progettare in modo sostenibile nel settore edilizio, è necessario tenere conto di circostanze specifiche, poiché una buona progettazione è fondamentale per l'edilizia sostenibile. Esistono alcuni elementi di base che possono aiutare nel processo di progettazione di edifici sostenibili, come la determinazione tempestiva degli obiettivi di base, la pianificazione integrale che comprende l'intero ciclo di vita di un edificio e una buona gestione della qualità. Alti livelli di sostenibilità all'interno di un qualsiasi settore, tra cui anche quello delle costruzioni, sono frutto di processi di sostenibilità operati all'interno delle aziende che compongono il settore stesso. Quando si parla di sostenibilità aziendale ci si riferisce a una nuova concezione dell'attività imprenditoriale, secondo cui il fine ultimo

dell'attività d'impresa non può consistere nella sola massimizzazione del profitto, ma va esteso alla creazione di valore nel lungo periodo, a vantaggio di tutti gli interlocutori aziendali e delle esigenze delle generazioni future. Un'azienda sostenibile deve quindi operare non solo con l'obiettivo di generare un ritorno economico per i proprietari (shareholder), ma deve cercare di garantire benefici (economici e non) per tutti i soggetti che a vario titolo hanno a che fare con essa (stakeholder). Per essere sostenibile un'azienda deve trovare, quindi, nuovi modelli di operatività che le permettano di generare valore per i proprietari (equi risultati economici), valore per i propri interlocutori (risultati sociali in linea con le attese) e preservare il valore delle risorse naturali (impatto positivo sull'ambiente). La decisione di integrare i principi della sostenibilità all'interno del modo di operare di un'azienda comporta un cammino di progressiva innovazione che solitamente si sviluppa per gradi. Sono stati identificati cinque stadi che portano a una crescente integrazione dei principi della sostenibilità nel modo di operare dell'azienda. Il passaggio da uno stadio al successivo è favorito da alcuni elementi che sono sinteticamente illustrati nella Figura 14.

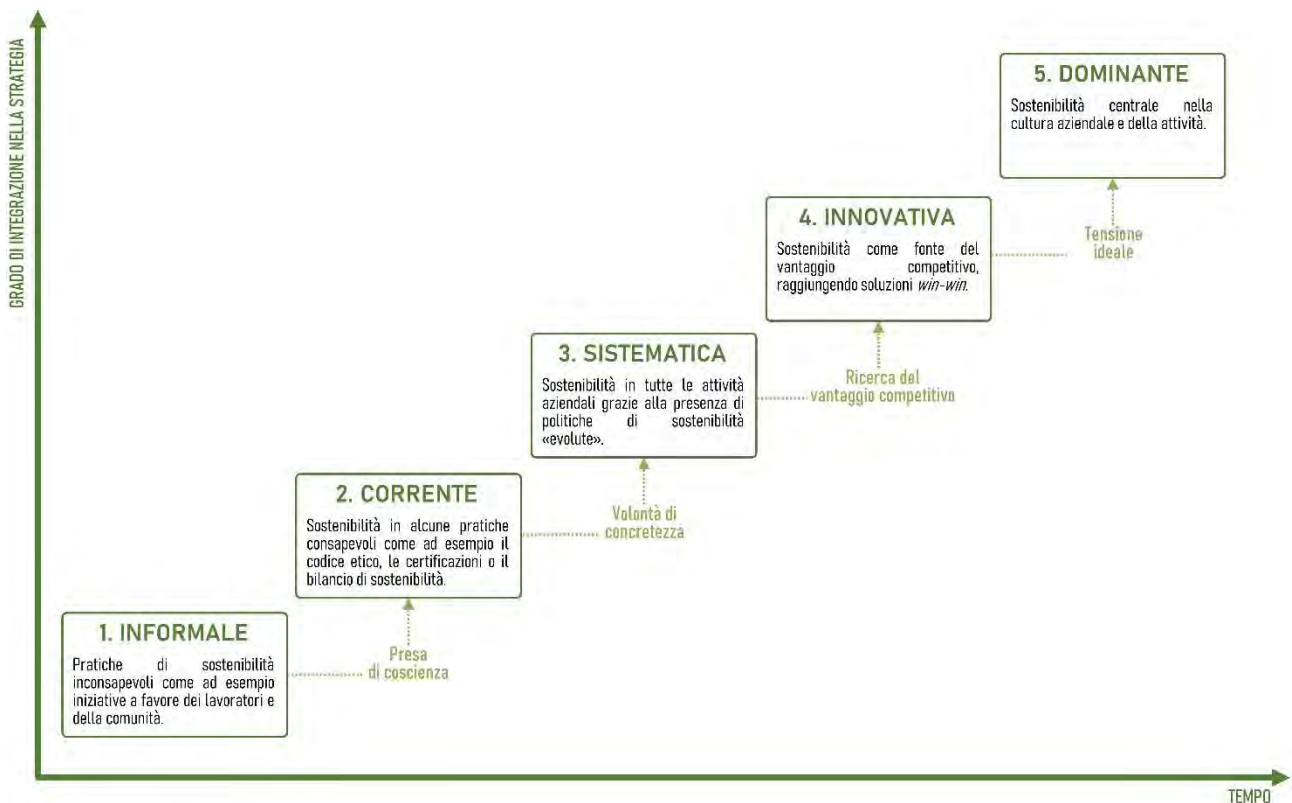


Figura 14 - Stadi di integrazione della sostenibilità nelle strategie aziendali. Fonte: Pedrini et al., 2019.

2.1.1 PROTOCOLLI E RATING DI SOSTENIBILITA'

Dopo aver analizzato l'evoluzione del termine sostenibilità, dalla comparsa nel rapporto della Commissione Brundland fino all'Agenda 2030, e averlo calato all'interno del settore delle costruzioni e del mondo aziendale, è importante approfondire quali sono gli strumenti e i metodi esistenti per la quantificazione del livello di sostenibilità.

A partire dagli inizi degli anni '90 sono iniziati a sorgere i primi strumenti per dare oggettività ai concetti di sostenibilità espressi fino a quel momento, in particolare riguardo al settore delle costruzioni. Questi strumenti sono poi divenuti i primi sistemi di valutazione e certificazione dei livelli di sostenibilità degli edifici, atti a consentire una maggiore trasparenza riguardo all'utilizzo di energia e gli effettivi impatti che questi hanno sull'ambiente.

Nel 1990 è stato lanciato il Building Research Establishment's Environmental Assessment Method (BREEAM), il primo sistema di classificazione degli edifici ecologici al mondo. Successivamente, anche lo US Green Building Council (USGBC) ha sviluppato il proprio sistema di classificazione LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) per migliorare le prestazioni ambientali degli edifici. A questi due protocolli si sono aggiunti negli anni diversi altri strumenti, andando così a creare un vero e proprio ecosistema di certificazioni ambientali volontarie.

Oltre ai protocolli per gli edifici, negli anni '80 sono comparsi sul mercato vari standard per i prodotti ecologici, che si sono diversificati per tipo di prodotto o progetto. Questi standard sono nati per rispondere alle crescenti preoccupazioni riguardanti la tossicità dei prodotti e il loro impatto sulla salute delle persone e sulla qualità ambientale interna (IEQ). Da allora, sono state introdotte numerose iniziative per promuovere lo sviluppo sostenibile e limitare l'uso eccessivo delle risorse. Nel mondo sono stati sviluppati migliaia tra certificazioni di prodotti ecologici e programmi di valutazione delle prestazioni ambientali e della sostenibilità degli edifici.

Inoltre, a partire dall'inizio del XXI secolo sono iniziate a sorgere una serie di organizzazioni, la maggior parte senza scopo di lucro, con l'obiettivo di fornire una collaborazione con aziende ed enti di diversi settori per sviluppare aspetti sociali, ambientali ed economici. Queste organizzazioni si basano su piani e programmi che permettono di analizzare i livelli di sostenibilità dei soggetti che ne usufruiscono e di individuare possibili percorsi per ridurre l'impatto ambientale. Uno dei frutti della proliferazione di queste organizzazioni è la diffusione di nuovi standard aziendali e di progettazione ispirati agli obiettivi degli SDGs. Nel Box 12 vengono descritti i principali termini ed organizzazioni che si occupano della valutazione del livello di sostenibilità a diverse scale per fronteggiare i cambiamenti climatici.



Figura 15 - Icone di alcuni dei principali protocolli e certificazioni in attivo.

Box 12 - Glossario dei principali termini ed organizzazioni che si occupano della valutazione del livello di sostenibilità a diverse scale per fronteggiare i cambiamenti climatici.

CERTIFICAZIONE DI SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

La certificazione di sostenibilità ambientale consente di valutare l'edificio nel suo complesso, non solo in termini di consumo di energia, ma anche considerando l'impatto sull'ambiente circostante. Esistono diversi protocolli di certificazione che utilizzano metodi qualitativi e quantitativi per valutare gli elementi tecnologici e impiantistici dell'edificio, assegnando punteggi variabili. Il punteggio totale determina il livello di sostenibilità raggiunto sulla scala prestabilita dall'ente gestore del sistema.

CERTIFICAZIONI DI PRODOTTO

L'obiettivo delle certificazioni per prodotti ecologici è di definire e attestare che un prodotto soddisfa determinati standard e offre benefici ambientali. Molte etichette di prodotto attestano la conformità dei prodotti a criteri basati sul ciclo di vita, che li rendono programmi multi-attributo.

SDGs (SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS)

Gli SDGs, in italiano OSS (Obiettivi di Sviluppo Sostenibile), sono i 17 obiettivi principali che compongono l'Agenda 2030, sottoscritta nel 2015 dai Paesi membri delle Nazioni Unite. Questi obiettivi sono inquadrati all'interno di un programma di azione composto da 169 target, da raggiungere entro il 2030. I 17 goals fanno riferimento a questioni che prendono in considerazione le tre dimensioni della sostenibilità, con l'obiettivo ultimo di eliminare la povertà, combattere l'ineguaglianza e affrontare i cambiamenti climatici. A livello nazionale il percorso per l'attuazione dell'Agenda 2030 è coordinato dalla Strategia Nazionale di Sviluppo Sostenibile che prevede la creazione di un nuovo modello economico circolare, a basso impatto ambientale e resiliente a crisi e cambiamenti climatici.

CDP (CARBON DISCLOSURE PROJECT)

CDP è un'organizzazione no-profit internazionale che fornisce a enti, governi e aziende un metodo per misurare, rendicontare e condividere a livello globale informazioni e dati riguardanti il cambiamento climatico. L'organizzazione supporta cinque programmi diversi: Climate Change Program, Water Program, Forests Program, Supply Chain Program e Cities, States and Regions Program. Per ogni programma, sono stati realizzati dei questionari che le aziende o governi partecipanti devono compilare. Una volta raccolte le informazioni, la piattaforma di CDP elabora i risultati, creando una base comune di informazioni utili per investitori e governi. CDP si concentra su quattro obiettivi principali: aumentare la trasparenza delle aziende sull'impatto ambientale, rendere le performance ambientali centrali nei processi decisionali di business e investimento, collaborare con città ed enti per la riduzione dell'inquinamento e sviluppare modelli di adattamento al cambiamento climatico e, infine, stimolare l'attuazione di politiche e leggi in difesa dell'ambiente.

GRI (GLOBAL REPORTING INITIATIVE)

GRI è un ente internazionale no-profit fondato a Boston nel 1997 con l'intento di collaborare con aziende e organizzazioni per renderle consapevoli del proprio impatto ambientale, attraverso l'uso di standard composti da parametri legati al tema della sostenibilità. Gli standard GRI sono divenuti un riferimento per le aziende di tutto il mondo e vengono utilizzati come strumento principale per la comunicazione delle proprie performance in termini di sostenibilità ambientale, sociale ed economica.

CREEM (CARBON RISK REAL ESTATE MONITOR)

Il CREEM è un progetto di ricerca finanziato dall'Unione Europea con l'obiettivo di aiutare le aziende del settore immobiliare a sviluppare una propria strategia ESG, per contribuire a limitare il riscaldamento globale sotto a 2°C. Attraverso l'uso dello strumento CREEM, le aziende del settore possono calcolare le emissioni di gas serra del proprio patrimonio immobiliare e limitare i rischi ESG associati alle loro attività. Il progetto CREEM è frutto di un consorzio di istituzioni con esperienza nell'ambito della decarbonizzazione e cambiamento climatico: IIO Istituto di Economia Immobiliare (Austria), Università di Alicante (Spagna), Università dell'Ulster (Regno Unito), GRESB (Paesi Bassi), TIAS Business School dell'Università di Tilburg (Paesi Bassi).

CSR (CORPORATE SOCIAL RESPONSABILITY)

La CSR, responsabilità sociale d'impresa, altro non è che l'integrazione da parte delle aziende delle preoccupazioni sociali e ambientali all'interno delle proprie attività. All'interno della CSR vengono definiti una serie di parametri che l'azienda ritiene essenziali rispettare nei propri processi lavorativi, tra cui: il rispetto delle leggi e norme, le attività filantropiche e la creazione di un clima lavorativo ottimale per il personale.

LE CERTIFICAZIONI AMBIENTALI VOLONTARIE

Le certificazioni ambientali volontarie per gli edifici sono uno strumento importante per promuovere la sostenibilità ambientale delle costruzioni. Basandosi su un approccio olistico di valutazione dell'impatto ambientale dell'edificio durante l'intero ciclo di vita, queste rappresentano un mezzo efficace per migliorare l'impatto ambientale dell'edilizia, ridurre i costi operativi e migliorare la qualità della vita degli occupanti degli edifici.

La nascita delle prime certificazioni ambientali volontarie per gli edifici risale agli anni '90, quando il crescente interesse per la sostenibilità e la riduzione dell'impatto ambientale ha portato alla creazione di nuove norme e standard. Nel 1990 la Building Research Establishment (BRE) del Regno Unito sviluppò il sistema di certificazione ambientale BREEAM (BRE Environmental Assessment), basato su un approccio di valutazione che considerava l'intero ciclo di vita dell'edificio, dalla progettazione alla demolizione, includendo diversi criteri di sostenibilità, tra cui l'efficienza energetica, l'uso di fonti rinnovabili, la gestione delle acque piovane e la qualità dell'aria interna. A questa certificazione si è aggiunta nel 1998 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), sviluppata dal US Green Building Council e basata su criteri che miravano a incrementare le prestazioni ambientali di nuove costruzioni.

Nel corso degli anni, sono state sviluppate molte altre certificazioni ambientali per gli edifici, come indicato in Figura 16 sia a livello nazionale che internazionale. Alcune di queste, come la

certificazione LEED, si sono diffuse in tutto il mondo e sono diventate un punto di riferimento per la valutazione dell'impatto ambientale non solo di edifici, ma anche di interi quartieri.

Attualmente solo in territorio europeo sono in uso più di 20 certificazioni volontarie diverse, tutte con specifici approcci di valutazione, creando non poche difficoltà tra gli operatori del settore. Per ovviare a questa problematica, la Commissione Europea ha condotto uno studio di mercato per valutare la possibilità di rilasciare uno schema di certificazione volontaria comune. I risultati di questo studio hanno denotato la necessità che un eventuale schema di certificazione comune si basi su standard CEN e sia applicabile sia per edifici pubblici che privati, sia per edifici nuovi che esistenti.

Nonostante il numero di certificazioni volontarie sia in continuo aumento, nella maggior parte dei casi la struttura di funzionamento risulta la medesima. Le valutazioni sono solitamente suddivise in diverse categorie tematiche, con lo scopo di misurare il livello di sostenibilità globale di un edificio. Ogni categoria presenta diverse voci, ciascuna corrispondente a un indicatore che determina lo standard di qualità raggiunto. Per ognuno di questi indicatori si ottiene un punteggio numerico, attraverso un processo di conversione della prestazione reale in un voto. L'interpolazione di questi voti permette di ottenere il risultato finale e la conseguente tipologia di certificazione.

Nel Box 13, per completare la panoramica fornita in questo paragrafo, vengono presentati alcuni sistemi di valutazione volontaria utilizzati in Europa ed Italia.

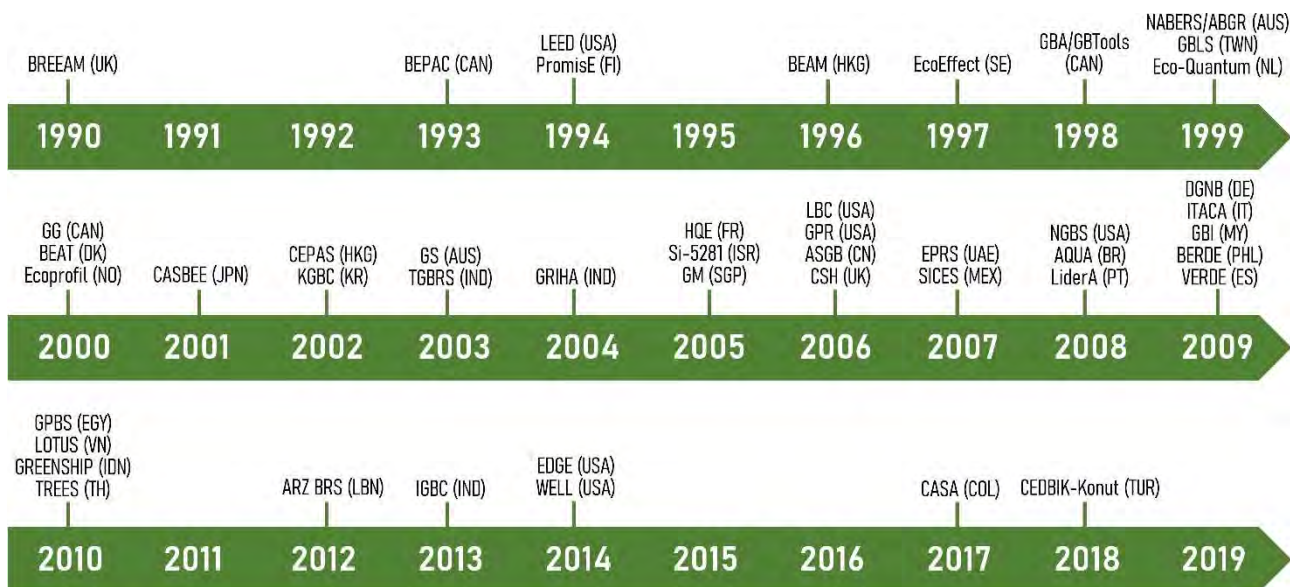


Figura 16 - Linea del tempo delle principali certificazioni ambientali volontarie nel mondo al 2019. Fonte: Zang et al., 2019.

Box 13 - Descrizione delle principali certificazioni volontarie presenti in Italia.

BREEAM (BRE Environmental Assessment Method)

BREEAM è un criterio di **valutazione ambientale degli edifici** sviluppato nel 1990 dalla Building Research Establishment (BRE). Il protocollo è utilizzato a livello globale, con declinazioni specifiche per le diverse aree geografiche. Si basa su un **approccio olistico che tiene conto dell'intero ciclo di vita dell'edificio**. Il protocollo BREEAM si compone di **dieci categorie** di analisi legate ai vari aspetti che si presentano durante la costruzione e utilizzo di un edificio, quali: **gestione del cantiere, uso di energia, acqua, trasporti, materiali, salute e benessere, inquinamento, uso del suolo ed ecologia, innovazione e gestione dei rifiuti**. La prestazione di un edificio viene valutata seguendo un sistema a punteggio percentuale: da accettabile (minore di 25%) fino a eccezionale (maggiore di 85%), con un **punteggio minimo per la classificazione di almeno 10%**. La certificazione viene effettuata in **due fasi distinte**, la prima legata agli aspetti di progettazione dell'edificio, mentre la seconda analizza la fase di costruzione dello stesso.

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

LEED è un programma di classificazione volontario del **livello di sostenibilità ambientale degli edifici** e aree territoriali più diffuso al mondo. Il protocollo LEED è stato ideato nel 1993 negli Stati Uniti dallo USGBC (U.S. Green Building Council) ed è arrivato in Italia nel 2009 grazie al Green Building Council Italia, con una serie di modifiche rispetto all'originale per adattarsi alle normative nazionali. Il funzionamento del protocollo si basa sull'assegnazione di un punteggio complessivo, frutto dei risultati in **otto aree: Trasporto e Ubicazione, Sostenibilità del sito, Efficienza risorse idriche, Energia e Atmosfera, Materiali e Risorse, Qualità degli ambienti interni, Innovazione, Priorità Regionale**. L'ente certificatore determina otto punteggi differenti, uno per ogni area. Questi punteggi hanno un peso differente in base alla tipologia di edificio da certificare. Per ottenere la certificazione, un edificio deve raggiungere un **punteggio finale di minimo 40 punti**, ricevendo così la certificazione chiamata "base", oltre la quale si hanno altri tre livelli fino a raggiungere la certificazione "platinum" per la quale è richiesto un punteggio di almeno 80 punti.

ACTIVE HOUSE (AH)

Active House è un protocollo di certificazione per edifici, focalizzato sugli aspetti di **energia, sostenibilità e comfort**. Il protocollo Active House è frutto di una partnership globale di centri di ricerca e istituzioni, industrie, sviluppatori e professionisti del settore, con l'**obiettivo di creare edifici sostenibili per l'ambiente e a impatto zero**, grazie alla produzione di energia da fonti rinnovabili. Diversamente da altre certificazioni, Active House si concentra su edifici di piccole dimensioni.

WELL International WELL Building Institute (IWBI)

WELL Building Standard, rilasciato nel 2016 dall'International WELL Building Institute (IWBI), è il primo sistema di certificazione a focalizzarsi sugli **aspetti di comfort all'interno degli edifici**, al fine di migliorare la salute e il benessere delle persone. La certificazione si basa sull'analisi degli effetti che gli ambienti interni hanno sui comportamenti e sui livelli di benessere delle persone che li usufruiscono. Alla base del sistema ci sono una serie di ricerche medico-scientifiche, con lo scopo di identificare i parametri necessari per raggiungere ambienti salubri e confortevoli. La certificazione WELL si suddivide in **dieci categorie: aria, acqua, nutrimento, luce, movimento, comfort termico, suono, materiali, comunità e mente**. Il sistema si basa su **quattro livelli di certificazione: bronze, silver, gold e platinum**.

Protocollo ITACA

Il protocollo ITACA è uno strumento per la **valutazione dei livelli di sostenibilità energetica e ambientale degli edifici in Italia**. Il protocollo ITACA è stato sviluppato dal gruppo Itaca e dal CNR a partire dal 2004 per sopperire all'esigenza delle Regioni di strumenti utili per la certificazione dei livelli di sostenibilità ambientale all'interno del settore delle costruzioni. Il protocollo ITACA deriva dal **modello di valutazione internazionale SBTool**, contestualizzato nel panorama normativo italiano. Le fasi principali del protocollo sono: individuazione dei criteri da analizzare, definizione di benchmark di riferimento per effettuare le comparazioni con l'edificio in analisi, ponderazione dei livelli di importanza dei criteri e infine la determinazione del punteggio finale sintetico che definisce il grado di miglioramento delle prestazioni dell'edificio rispetto al livello standard.

CasaClima (Agenzia per l'Energia Alto Adige - CasaClima)

CasaClima (Klima Haus) è un certificato energetico, di validità decennale, che **attesta la sostenibilità e qualità di un edificio** rilasciato dall'Agenzia CasaClima, ente pubblico non coinvolto nel processo edilizio. La certificazione si **basa sulla Direttiva EPBD dell'Unione Europea (2010/31/UE)**. La certificazione CasaClima si basa su analisi effettuate sull'edificio in **due fasi distinte**: in fase di costruzione si verifica la conformità dei lavori rispetto al progetto esecutivo e, una volta terminati i lavori, avviene la seconda fase di analisi delle prestazioni, compreso il test di tenuta dell'aria (**Blower Door Test**). Una volta conclusi i test, se risultano soddisfatti tutti i requisiti di qualità costruttiva definiti dalle Direttive tecniche di riferimento, viene emesso il certificato.

2.1.2 CERTIFICAZIONI AMBIENTALI PER I PRODOTTI DA COSTRUZIONE

In questi ultimi anni, sia a livello internazionale che europeo, hanno iniziato a diffondersi le etichette e le dichiarazioni ambientali di prodotto. Tali strumenti, di natura volontaria, hanno lo scopo di comunicare al mercato le caratteristiche e le prestazioni ambientali di un prodotto. I destinatari di tali messaggi, a seconda dei prodotti analizzati, possono essere sia i semplici consumatori, sia i professionisti che possono proporre tali manufatti a clienti terzi.

Queste certificazioni ambientali sono volontarie ma diventano necessarie per alcune forniture legate agli appalti pubblici e per la realizzazione di costruzioni progettate in accordo a determinati protocolli di sostenibilità.

ETICHETTE ECOLOGICHE

Le etichette ecologiche rappresentano uno degli strumenti individuati a livello nazionale ed internazionale per favorire la diffusione di prodotti "verdi" facendo leva, tra l'altro, sul coinvolgimento dei consumatori, delle amministrazioni pubbliche e delle imprese. Le etichette ambientali sono marchi applicati direttamente su un prodotto o su un servizio e forniscono informazioni sulla sua performance ambientale complessiva, o su uno o più aspetti ambientali specifici.

Box 14 - Etichetta ecologica di Tipo I - Ecolabel - ISO 14024.

ECOLABEL - Regolamento CE 66/2010 - Etichetta di Tipo I

L'Ecolabel UE è il marchio dell'Unione Europea legato alla qualità ecologica dei prodotti e servizi che, durante il loro ciclo di vita, presentano un ridotto impatto ambientale. Ecolabel si basa su criteri definiti su base scientifica in relazione all'intero ciclo di vita dei prodotti (dall'estrazione delle materie prime, alla fase di produzione, di imballaggio e trasporto, di utilizzo e di recupero e smaltimento). I criteri base su cui si basa il marchio sono: energia, acqua, sostanze chimiche e produzione dei rifiuti, le funzionalità del prodotto e la qualità delle sue prestazioni. I criteri Ecolabel riguardano anche aspetti importanti inerenti alla salute e la sicurezza dei consumatori e i principali aspetti sociali ed etici dei processi produttivi. Il marchio si presenta come uno strumento volontario, essendo su richiesta dei privati, e selettivo. I criteri di selezione vengono revisionati e resi più restrittivi, quando se ne verifichi la necessità, in modo da premiare sempre l'eccellenza e favorire il miglioramento continuo della qualità ambientale dei prodotti. Il marchio Ecolabel con diffusione in tutti i Paesi membri dell'Unione Europea, oltre che a Norvegia, Islanda e Liechtenstein.

Box 15 - Etichetta ecologica di Tipo II - Ciclo di Mobius - ISO 14021.

Ciclo di Mobius - Etichetta di Tipo II

Il ciclo di Mobius è un diffusa etichetta ecologica di tipo II che funge da asserzione di riciclabilità di un materiale. Il simbolo nasce nel 1983 come risultato della Direttiva europea sugli imballaggi (85/339/CEE), oggi sostituita dalla Direttiva 94/62/CE. Il simbolo viene apposto su tutti i prodotti riciclabili e, nel caso in cui sia presente un valore in percentuale all'interno di esso, questo indica la quota percentuale di peso di materiale rispetto al peso totale. L'utilizzo del ciclo di Mobius viene regolato dalla norma ISO 7000-1135.

Alcuni sistemi di etichettatura sono obbligatori e riguardano principalmente gli elettrodomestici, utilizzando la cosiddetta etichetta energetica, ma si applicano anche ai prodotti pericolosi e tossici e agli imballaggi. Altri invece sono ad adesione volontaria, differenziati secondo diversi gradi di attendibilità per l'utente finale, in relazione al giudizio espresso da un organismo terzo ed imparziale che verifica il superamento di standard qualitativi prestabiliti. Secondo la norma ISO 140201, le etichette ecologiche di natura volontaria si possono classificare in tre tipologie:

- Etichette di Tipo I - ISO 14024;
- Etichette di Tipo II - ISO 14021 - autodichiarazioni ambientali;
- Etichette di Tipo III - ISO 14025 - dichiarazioni ambientali di prodotto.

Le etichette ambientali di Tipo I sono assegnate da organismi autonomi, pubblici o privati e indipendenti dal produttore. Queste si basano su criteri sviluppati tenendo conto di tutte le fasi del ciclo di vita del prodotto secondo un approccio LCA e stabiliscono dei valori soglia e limiti prestazionali da rispettare, la cui conformità è appunto certificata dall'organismo preposto. Le procedure legate al riconoscimento di queste etichette sono di tipo volontario, e sono accessibili a tutti i potenziali richiedenti. Rientra tra le etichette di Tipo I l'Ecolabel Europeo, il marchio ufficiale dell'Unione Europea, descritto nel Box 14.

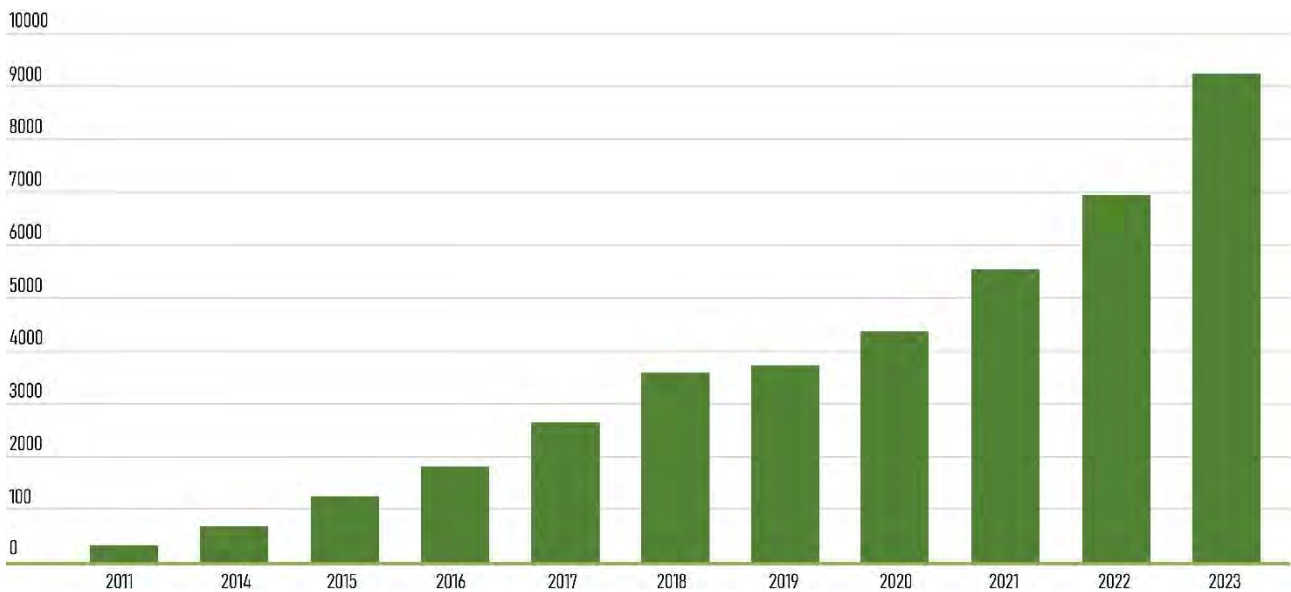


Figura 17 - Grafico rappresentate l'andamento del numero di EPD in Europa fino al 2023. Fonte: ConstructionLCA, 2023.

Le etichette ecologiche di Tipo II, invece, sono realizzate da produttori, importatori o distributori di prodotti che utilizzano autodichiarazioni e simboli di valenza ambientale su prodotti, imballaggi o materiale informativo e pubblicitario, senza ottenere convalidazioni né certificazioni da organismi indipendenti (self declared environmental claims). Il fatto che non vi sia una certificazione ufficiale da parte di un ente terzo non significa che questa tipologia di etichettatura non debba seguire requisiti di attendibilità e serietà nei riguardi del consumatore e utente in generale. Infatti, la norma UNI EN ISO 14021:2016 specifica i requisiti delle etichette ecologiche di Tipo II, e specifica la necessità che queste contengano dichiarazioni non ingannevoli, verificabili (attraverso documentazione specifica relativa alle qualità ambientali dichiarate), precise e chiare, non soggette a errori di interpretazione, escludendo quindi asserzioni ambientali vaghe e non specifiche. La norma descrive, inoltre, i termini selezionati e generalmente utilizzati in questa tipologia di etichette e specifici metodi di valutazione e verifica. Al Box 15 viene descritto il ciclo di Mobius, una delle etichette ecologiche di Tipo II più diffuse sul mercato. Infine, le etichette ecologiche di Tipo III, note come Dichiarazioni Ambientali di Prodotto, DAP o EPD (Environmental Product Declaration), sono i sistemi più dettagliati di etichettatura ambientale, in quanto contengono le informazioni oggettive e confrontabili relative alla prestazione ambientale dell'intero ciclo di vita di prodotti e servizi. L'obiettivo di questa certificazione è quello di fornire al consumatore le nozioni per un confronto tra servizi e prodotti funzionalmente equivalenti, così da incentivare le

aziende ad attuare procedimenti produttivi più efficienti da un punto di vista ambientale.

La Dichiarazione, creata su base volontaria, deve essere predisposta facendo riferimento all'analisi del ciclo di vita del prodotto basata su uno studio LCA, che definisce il consumo di risorse (materiali, acqua, energia) e gli impatti sull'ambiente circostante nelle varie fasi del ciclo di vita del prodotto. Le fasi minime considerate vanno dall'estrazione delle materie prime, il loro trasporto al sito di produzione e la produzione stessa ("cradle to gate") oppure fino alla dismissione del prodotto ("cradle to grave"). L'analisi LCA necessaria per la DAP viene effettuata utilizzando le PCR (product Category Rules), che, per ogni prodotto/servizio, definiscono quali sono le prestazioni ambientali significative da comunicare, in modo da rendere possibili confronti omogenei tra più prodotti simili tra loro.

I risultati delle analisi sono presentati in forma sintetica attraverso l'impiego di una serie d'indicatori ambientali, quali ad esempio la quantità di anidride carbonica emessa o GWP (Global Warming Potential) per unità dichiarata di prodotto. La DAP viene verificata e convalidata da un organo indipendente che garantisce la credibilità e veridicità riguardo alla metodologia, alle informazioni contenute nello studio LCA e alla dichiarazione stessa.

Le Dichiarazioni Ambientali di Prodotto risultano sempre più diffuse sia in Europa che nel Resto del mondo, frutto della crescente attenzione pubblica verso le tematiche della sostenibilità. A riguardo, la Figura 17 rappresenta l'andamento di EPD all'interno dell'Unione Europea dal 2011 fino al 2023.

CAM

Il Green Public Procurement (GPP) è l'iniziativa in ambito comunitario europeo avente come obiettivo la riduzione degli impatti ambientali e la promozione nel mercato di prodotti ecologici, che ha richiesto a tutti i Paesi membri di stabilire delle politiche tali per cui fosse avvantaggiata l'acquisizione di prodotti e servizi a minor impatto ambientale da parte delle Pubbliche Amministrazioni.

Questa politica è stata recepita dall'Italia attraverso il Piano d'Azione Nazionale per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della Pubblica Amministrazione e adottata con D.M. già nel 2013. Questo stabiliva che un certo numero e una certa quota percentuale di gare d'appalto fossero svolte come appalti verdi, quindi con requisiti specifici che limitassero gli impatti ambientali.

I Criteri Ambientali Minimi (CAM) sono di fatto lo strumento attraverso il quale il Ministero della Transizione Ecologica – il soggetto che in Italia regola e dà attuazione al GPP – definisce i criteri per le diverse categorie di fornitura, attraverso i diversi Decreti Ministeriali. Nonostante i CAM siano basati sui criteri ambientali europei, risultano in determinati argomenti più o meno

rigorosi, dovendo rispecchiare le specifiche esigenze del mercato italiano.

I CAM svolgono la funzione di requisiti ambientali, definiti per le varie fasi del processo di acquisto e volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita, tenuto conto della disponibilità di mercato. Il loro obiettivo è quello di promuovere l'acquisto di beni e servizi a basso impatto ambientale e di incoraggiare lo sviluppo di mercati sostenibili. Tale obiettivo può essere raggiunto attraverso una serie di azioni quali la riduzione dei consumi energetici e dei rifiuti, la riduzione delle emissioni di sostanze inquinanti e l'impiego di materiali e prodotti provenienti dal riciclo.

I criteri coprono una vasta gamma di categorie di prodotti, tra cui i prodotti in acciaio per le costruzioni.

I Criteri Ambientali Minimi sono periodicamente aggiornati per rispecchiare gli sviluppi tecnologici e normativi. Nell'ultimo aggiornamento, del 2021, sono stati pubblicati nuovi criteri per gli appalti pubblici relativi all'efficienza energetica degli edifici, che mirano a ridurre il consumo energetico e le emissioni di gas serra.

Box 16 - Specifiche trattanti l'acciaio all'interno dell'ultimo aggiornamento dei Criteri Ambientali per l'edilizia del D.M. 23/06/2022.

CRITERI AMBIENTALI MINIMI PER L'EDILIZIA – D.M. 23/06/2022

I Criteri Ambientali Minimi per l'edilizia hanno subito un aggiornamento nel giugno del 2022, con il Decreto Ministeriale 23/06/2022. Tra le modifiche presentate, molte sono legate al settore delle costruzioni in acciaio, in particolare nel capitolo 2, relativo ai criteri per l'affidamento dei servizi di progettazione, e il capitolo 3, relativo ai criteri per l'affidamento dei lavori. Di seguito sono riportati gli aggiornamenti di interesse per le costruzioni in acciaio presentati nei due capitoli sopra citati.

**CAPITOLO
2
CRITERI PER
L'AFFIDAMENTO DEI
SERVIZI DI PROGETTAZIONE**

2.5 - Specifiche tecniche per i prodotti da costruzione

L'aggiornamento del capitolo 2 dei CAM presenta le seguenti aggiunte e modifiche:

- distinzione tra acciaio per usi strutturali e acciaio per usi non strutturali;
- differenziazione tra acciai legati e non legati prodotti da forno elettrico;
- percentuali di riciclato in funzione della tipologia di produzione dell'acciaio.

Il contenuto minimo di materiale riciclato e/o recuperato e/o di sottoprodotto deve essere almeno del:

- 75% per acciai da forno elettrico, per usi strutturali, non legati;
- 60% per acciai da forno elettrico, per usi strutturali, legati;
- 12% per acciai da ciclo integrale, per usi strutturali;
- 65% per acciai da forno elettrico, per usi non strutturali, non legati;
- 60% per acciai da forno elettrico, per usi non strutturali, legati;
- 12% per acciai da ciclo integrale, per usi non strutturali.

2.6 - Specifiche tecniche progettuali relative al cantiere

Almeno il 70% del peso dei componenti edilizi sul totale (impianti esclusi) deve essere sottoponibile a disassemblaggio o demolizione selettiva per poi essere sottoposto a riutilizzo, riciclo, recupero.

2.7 - Criteri premianti

È attribuito un punteggio premiante per la realizzazione di uno studio LCA secondo le norme UNI EN 15643 e UNI EN 15978 e uno studio LCC, secondo la UNI EN 15643 e la UNI EN 16627, per dimostrare il miglioramento della sostenibilità ambientale ed economica del progetto di fattibilità tecnico-economica approvato.

**CAPITOLO
3
CRITERI PER
L'AFFIDAMENTO DEI
LAVORI**

3.2 - Criteri premianti per l'affidamento dei lavori

L'aggiornamento del capitolo 3 dei CAM presenta modifiche dei seguenti criteri premianti:

- punteggio premiante all'operatore economico che propone di sostituire uno o più prodotti da costruzione previsti dal progetto esecutivo posto a base di gara con prodotti aventi le stesse prestazioni tecniche ma con prestazioni ambientali migliorative (ad es. maggiore contenuto di riciclato, minore contenuto di sostanze chimiche pericolose ecc.). Tale punteggio è proporzionale all'entità del miglioramento proposto.
- punteggio premiante all'operatore economico che presenta proposte migliorative relative al progetto posto a base di gara che determinino un miglioramento degli indicatori ambientali ed economici dell'LCA e dell'LCC che fanno parte della documentazione di gara.
- punteggio premiante all'operatore economico che si impegna ad approvvigionarsi di almeno il 60% in peso sul totale dei prodotti da costruzione ad una distanza massima di 150 km dal cantiere di utilizzo. I prodotti da costruzione devono possedere le caratteristiche tecniche richieste negli elaborati progettuali. Tale distanza è calcolata tra il sito di fabbricazione (ossia il sito di produzione e non un sito di stoccaggio o rivendita di materiali) ed il cantiere di utilizzo dei prodotti da costruzione.
- punteggio premiante nel caso in cui il prodotto da costruzione rechi il marchio di qualità ecologica Ecolabel UE, oppure abbia una prestazione pari alla classe A dello schema "Made Green in Italy" (MGI). L'entità del punteggio è proporzionale al numero di prodotti recanti le etichettature qui richieste.

2.1.3 EDIFICI COME BANCA DATI DI MATERIALI

Come anticipatamente spiegato, per un'integrazione ottimale della sostenibilità nella pratica odierna della progettazione, serve applicare regole e norme non solo alla scala del singolo edificio nel suo complesso, ma anche a livello del singolo prodotto. In questo contesto si inserisce l'iniziativa "Ecodesign for Sustainable Products" dell'Unione Europea, la quale prevede l'implementazione di un passaporto digitale dei prodotti (DPP) che raccoglie dati sulla catena del valore per promuovere la produzione sostenibile e consentire la transizione verso l'economia circolare, fornendo nuove opportunità commerciali e aiutando i consumatori a fare scelte sostenibili.

Il passaporto digitale dei prodotti (DPP) è un sistema di tracciabilità digitale che raccoglie informazioni sulla catena del valore di un prodotto, dalla sua produzione fino alla fine della sua vita utile. Le informazioni raccolte includono dati sulla composizione del prodotto, le modalità di produzione, il trasporto e la gestione dei rifiuti, e possono essere utilizzate per valutare l'impatto ambientale complessivo del prodotto. Si basa su tecnologie come l'internet delle cose (IoT) e la blockchain per raccogliere, memorizzare e condividere le informazioni sul prodotto in modo sicuro e trasparente. Nel settore delle costruzioni, il DPP è uno strumento utile per ottenere informazioni sulla composizione dei materiali, sulla loro provenienza e sulla loro durabilità. Inoltre, può essere utilizzato per monitorare l'uso dei materiali durante la fase di costruzione e durante la vita utile dell'edificio. Ciò può contribuire a ridurre gli sprechi e a ottimizzare la gestione delle risorse. Inoltre, con i progressi tecnologici, i dati stanno diventando una risorsa essenziale per gestire gli edifici e i loro componenti in modo sostenibile, garantendo la manutenzione dell'edificio e la durata tecnica dei materiali impiegati. Il monitoraggio dei flussi di risorse è quindi importante per fornire informazioni dettagliate sull'input e l'output delle risorse per le diverse parti coinvolte nella filiera delle costruzioni. Grazie all'utilizzo del passaporto digitale, i consumatori possono valutare l'impatto ambientale complessivo dei prodotti e scegliere quelli che sono più sostenibili, mentre i professionisti del settore possono utilizzare le informazioni per selezionare i materiali più adatti alle specifiche esigenze del progetto. Inoltre, il passaporto è un utile strumento per monitorare la conformità dei prodotti alle normative ambientali e per garantire la tracciabilità dei materiali lungo tutta la catena del valore. Ciò può contribuire a ridurre il rischio di impiego di materiali non conformi e a garantire la qualità dei materiali utilizzati.

Il DPP può anche consentire la condivisione di informazioni tra i diversi attori della filiera delle costruzioni, come i produttori, i fornitori, i costruttori e i gestori degli edifici. Ciò può favorire la collaborazione tra le diverse parti interessate e contribuire a ottimizzare la gestione delle risorse e la pianificazione dei progetti e degli interventi di manutenzione preventiva volti a migliorare l'efficienza energetica degli edifici.

I passaporti dei materiali sono stati creati per valorizzare il recupero e il riutilizzo di materiali, prodotti e sistemi utilizzati negli edifici lungo la catena del valore. Questi passaporti rappresentano anche uno strumento di mercato per promuovere la progettazione di prodotti, sistemi di recupero dei materiali e partnership nella catena di approvvigionamento che migliorino la qualità, il valore e la sicurezza dell'approvvigionamento dei materiali, in modo che possano essere riutilizzati in cicli continui o chiusi. Questo aggiunge una nuova dimensione di valore alla qualità dei materiali, basata sulla loro idoneità per il recupero e il riutilizzo come risorse in altri prodotti o processi lungo tutto il ciclo di vita dell'edificio.

Tuttavia, l'applicazione pratica del Digital Product Passport è ancora ostacolata dalla scarsa trasparenza da parte degli attori chiave del settore, come fornitori, acquirenti e regolatori. La creazione di un passaporto digitale dei prodotti solleva anche questioni riguardanti la protezione dei dati, della privacy e del segreto industriale aziendale. Pertanto, è necessario che le aziende di tutta la catena di approvvigionamento trovino un modo per condividere le informazioni cruciali e stabilire quali informazioni devono essere condivise, in modo da ridurre le preoccupazioni riguardanti la violazione dei diritti di proprietà intellettuale.

L'importanza di avere banche dati affidabili e legate al contesto reale in cui si opera verrà ripreso nel capitolo 3, in relazione all'esperienza di ricerca condotta nell'ambito del progetto Arcadia, sviluppato e coordinato da ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), per la creazione di dataset per l'analisi LCA della filiera acciaio, con l'obiettivo di favorire l'approccio di ciclo di vita e gli acquisti verdi negli appalti pubblici e rafforzare le competenze delle PA in questo settore. Nell'ambito della ricerca, le attività della Fondazione si inseriscono per l'appunto nel progetto di ENEA, volto a realizzare una banca dati italiana LCA di oltre 15 filiere di supporto alle PA, con l'obiettivo di garantire una fonte di dati rappresentativi del contesto italiano per le aziende che intendano sviluppare studi di LCA dei loro prodotti.

2.2 RESILIENZA: DEFINIZIONI, METODI E AMBITI DI VALUTAZIONE

Sempre più frequentemente la resilienza si connota come concetto imprescindibile nell'ambito dello sviluppo sociale, ecologico e urbano sostenibile. La capacità di un territorio, di una città o di un sistema complesso di adattarsi e di reagire positivamente alle trasformazioni del contesto, viene infatti riconosciuto come uno dei valori primari in una prospettiva evolutiva sostenibile.

In letteratura sono state proposte e discusse diverse definizioni concettuali di resilienza. La prima è stata rilasciata da Crawford Stanley Holling nel

1973, il quale la studiò nell'ambito dei sistemi ecologici concentrandosi solo su un aspetto: la resilienza può essere misurata in base all'entità del disturbo che un sistema può tollerare e persistere. All'interno della definizione di Holling, la resilienza viene considerata come una proprietà del sistema, e la persistenza o la probabilità di estinzione è il risultato. La stabilità, invece, è la capacità di un sistema di tornare a uno stato di equilibrio dopo un disturbo temporaneo. Quanto più rapidamente un sistema ritorna in equilibrio e con la minore fluttuazione possibile, più è stabile.

Una definizione di resilienza maggiormente riconosciuta ancora oggi è quella diffusa da Peter Timmerman nel 1981.

Box 17 - Definizioni di Resilienza

Definizione di resilienza secondo C.S. Holling (1973):

La resilienza determina la persistenza delle relazioni all'interno di un sistema e misura la capacità di questi sistemi di assorbire cambiamenti delle variabili di stato, delle variabili guida e dei parametri e di persistere.

Definizione di resilienza secondo P. Timmerman (1981):

La resilienza è la capacità delle comunità umane di sopportare shock esterni o perturbazioni alle loro infrastrutture e di riprendersi da tali eventi.

La definizione di Timmerman permette di evidenziare come la resilienza non riguardi solo la capacità di resistere a una certa perturbazione ma anche la disponibilità di risorse e mezzi per un recupero rapido, efficiente ed efficace.

Nel corso dei decenni, diversi autori hanno proposto altre definizioni concettuali. Nel complesso si possono comunque osservare due tendenze generali. La prima è che gli aspetti di resistenza a uno shock esterno insolito (spesso definita "robustezza") e capacità di recupero rapido (spesso definita "rapidità") sono diventati una costante di quasi tutte le definizioni. La seconda tendenza è l'espansione della definizione con l'aggiunta di molti altri aspetti. Partendo da un unico aspetto considerato nella prima definizione (Holling 1973) e da due aspetti combinati nella seconda definizione (Timmerman 1981), Bruneau nel 2003 ha fornito una descrizione completa della resilienza che tiene conto di tre aspetti principali (Figura 18): la dimensione della resilienza, le sue proprietà e i risultati ottenibili da un approccio resiliente.

A sua volta, le dimensioni che compongono la resilienza si dividono in:

- la dimensione tecnica, che comprende tutti gli aspetti associati alla costruzione e agli altri aspetti tecnologici;
- la dimensione organizzativa, che riguarda il piano di gestione, la manutenzione e la risposta alle emergenze;
- la dimensione sociale, che si riferisce agli impatti sulla società e la loro possibile mitigazione;

- la dimensione economica, che riguarda i costi diretti e indiretti associati alla riduzione della funzionalità dell'infrastruttura e alla sua riabilitazione.

La resilienza è caratterizzata inoltre da quattro proprietà principali: (i) robustezza; (ii) rapidità; (iii) abbondanza; (iv) inventiva. La robustezza è la capacità di resistere a un determinato evento estremo e di continuare a fornire il servizio, spesso misurata dal livello di funzionalità residua dopo il verificarsi dell'evento. La rapidità, invece, è la velocità con cui una struttura si riprende da tale evento per raggiungere un livello di funzionalità elevato. L'abbondanza è la misura in cui gli elementi e i componenti del sistema indagato sono sostituibili. Infine, l'inventiva è la capacità di mettere a disposizione il budget appropriato, identificare i problemi, stabilire le priorità e mobilitare le risorse dopo un evento estremo.

La robustezza e la rapidità sono talvolta considerate come gli "obiettivi" della resilienza stessa, mentre l'abbondanza e l'inventiva sono i "mezzi" per raggiungerla.

In letteratura, tre sono considerati i risultati esito della resilienza: (i) affidabilità; (ii) rapidità di recupero; (iii) minori conseguenze. L'affidabilità è la minore probabilità di raggiungere stati limite. Invece, la rapidità di recupero è la rapidità del ripristino delle funzionalità durante un disastro. Infine, le minori conseguenze sono il ridotto impatto degli eventi estremi sulla società.

Sempre nel 2003, il ricercatore Joseph Fiksel ha descritto la resilienza in termini di leggi della

termodinamica, come la capacità di un sistema di resistere al disordine e la capacità di mantenere o tornare a uno stato stabile dopo una perturbazione. Da questa definizione, Fiskel passa poi a descrivere il comportamento dei diversi tipi di sistemi. I sistemi ingegnerizzati sono sistemi altamente controllati, progettati per rimanere in equilibrio, resistere e riprendersi rapidamente in una gamma limitata di perturbazioni, ma possono fallire se le perturbazioni sono troppo grandi. I sistemi ecologici, invece, funzionano in una gamma di stati (non solo in equilibrio), sono in grado di sopravvivere a grandi perturbazioni e tendono a tornare gradualmente al loro stato di equilibrio nel tempo. È proprio dopo aver dato queste definizioni di resilienza che si inizia a parlare di categorizzazione della stessa, in base alla tematica trattata. Vengono individuati tre gruppi di resilienza: resilienza e sostenibilità; resilienza e adattamento; resilienza e rischi territoriali.

In termini di edifici, la resilienza è stata più spesso affrontata come un modo per anticipare e affrontare i disastri nel modo più efficace ed efficiente in termini di sforzo di recupero e durata. È stata vista come un'estensione delle migliori pratiche e dei codici edilizi attuali, tipicamente incentrati sulle prestazioni minime e sulla sicurezza della vita, in quanto mira a ottimizzare la capacità di resistenza e di adattamento degli edifici attraverso una serie di fattori, e non solo a ridurre al minimo le vittime dovute al verificarsi di determinati tipi di disastri. Altri recenti cambiamenti del nostro clima, come le dinamiche mutevoli delle tempeste, il riscaldamento globale e l'innalzamento del livello del mare, hanno portato a discutere della necessità di rendere gli edifici e le infrastrutture non solo resistenti, ma anche adattabili all'ambiente che cambia.



Figura 18 - Aspetti della resilienza considerati nella definizione di Bruneau. Fonte: Bruneau et al., 2003.

2.3 STRUMENTI E METODI PER LA VALUTAZIONE D'IMPATTO DELLA SOSTENIBILITÀ E DELLA RESILIENZA PER LE INDUSTRIE DELLE COSTRUZIONI

I termini sostenibilità e resilienza, descritti nei precedenti paragrafi, sono comunemente utilizzati nel settore delle costruzioni come parole chiave e come trend topic per la ricerca e lo sviluppo industriale, al fine di rispettare gli obiettivi di decarbonizzazione previsti dal Green Deal europeo entro il 2050 (Commissione europea, 2021). Questi termini sono spesso presenti nelle posizioni aperte presso atenei o centri di ricerca legati al mondo delle costruzioni, nei titoli degli articoli scientifici di conferenze internazionali e nei temi trattati dai principali gruppi di lavoro o "Think tank" di gruppi imprenditoriali di vari settori industriali. Inoltre, sono considerati prerequisiti chiave del pensiero resiliente, che richiede una conoscenza e una gestione delle capacità di resilienza dei sistemi complessi che compongono le aziende in relazione ai propri prodotti e processi adattivi nel settore delle costruzioni (Carpenter et al., 2001). Di solito, ci sono metodi di valutazione specifici e distinti per i due termini, ma entrambi sono legati a tre aree principali: ambiente, società ed economia. Questi tre pilastri sono alla base del modello concettuale della sostenibilità, riconosciuto a livello mondiale. Inoltre, le pubbliche amministrazioni locali richiedono sempre più la realizzazione di nuovi edifici o la riqualificazione di quelli esistenti in base a questi criteri di sostenibilità e resilienza.

Riguardo al settore industriale, è importante citare i criteri ESG (Environmental, Social, Governance), noti e sempre più diffusi. Questi criteri mirano a valutare l'impegno di un'azienda secondo le tre dimensioni, al fine di quantificare il livello di sostenibilità e resilienza. Questa valutazione dell'impatto ambientale dell'azienda viene riconosciuta come uno strumento vitale per la gestione e l'organizzazione aziendale a livello mondiale. Le prime idee per lo sviluppo di un sistema di controllo dell'impatto ambientale di un'azienda risalgono alla normativa ISO 14001 del 1996, che è stata successivamente aggiornata nel 2004 e nel 2015. Questa tratta di un sistema polivalente che permette alle aziende di ridurre il proprio impatto sull'ambiente, di prevenire l'inquinamento e di migliorare le proprie prestazioni ambientali. Inoltre, consente alle aziende di conformarsi alla legislazione appropriata. Tuttavia, per implementare questi sistemi, si devono affrontare costi elevati di sviluppo, formare personale qualificato e coinvolgere i vertici aziendali. Pertanto, le aziende che desiderano

intraprendere questo percorso devono valutare attentamente i vari benefici e le barriere riscontrate. Secondo quanto evidenziato da Fitcher et al. (2023), l'impatto della sostenibilità è rappresentato dall'influenza esercitata dalle attività aziendali sulle principali problematiche della sostenibilità, identificate dagli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (SDGs), e possono portare a generare vantaggi economici, sociali ed ecologici per tutte le parti interessate (Dijkstra-Silva et al., 2022).

Bhatnagar et al. (2022) hanno evidenziato l'importanza delle valutazioni dell'impatto sulla sostenibilità nel processo di sviluppo dei modelli di business. Secondo Bhatnagar, le valutazioni di sostenibilità che guidano i processi possono avere un impatto positivo sul futuro della sostenibilità delle aziende.

Basandosi sui risultati di studi precedenti, si può individuare nel metodo CAMO (Context, Actions, Mechanisms, Outcomes) un utile strumento per valutare gli impatti dell'industria delle costruzioni in acciaio. Questo metodo considera diversi fattori, come il contesto (C), le azioni (A), i meccanismi (M) e i risultati (O), al fine di sviluppare e applicare valutazioni integrate nei processi di innovazione. Inoltre, vengono considerati principi come la co-creazione, la comprensione del contesto normativo e tecnologico e l'adozione di una prospettiva sistemica.

In letteratura, si sta affermando sempre di più l'idea che gli studi sulla valutazione della sostenibilità stiano perdendo di utilità, poiché forniscono solo una visione parziale della situazione. Pertanto, si sta proponendo di integrarli con altri metodi di analisi, come ad esempio l'analisi della resilienza, per renderli più efficaci e completi nella valutazione degli aspetti sempre più fondamentali (Mahmoudi et al., 2013). Le prime indagini che combinano vari strumenti e metodologie di valutazione evidenziano i vantaggi multipli di questi approcci e la loro applicazione in diversi contesti, come l'industria, le strutture civili e gli edifici individuali (Vanclay, 2004). Bocchini et al. (2014) hanno sviluppato un approccio integrato per valutare la sostenibilità e la resilienza delle infrastrutture civili, concentrandosi sugli impatti che queste infrastrutture hanno sulla comunità, considerata come una triade composta da persone, ambiente ed economia. Ciò che rende innovativo il loro approccio è la combinazione dei concetti di sostenibilità e resilienza, con la definizione dei termini all'interno del loro metodo. Poiché la resilienza si concentra sugli impatti associati ad eventi estremi (con basse probabilità ma altissime conseguenze), mentre la sostenibilità può causare impatti contenuti ma distribuiti nel tempo, il loro metodo di valutazione ha permesso di quantificare il livello di resilienza e sostenibilità delle infrastrutture per l'intera vita utile del sistema.

È stato condotto, inoltre, uno studio sulla definizione e sulla relazione tra i concetti di sostenibilità e resilienza, esaminando le sfide nella creazione di un quadro di valutazione degli edifici che includa entrambi i concetti. I risultati dello studio hanno evidenziato che, nel caso specifico delle costruzioni, creare un quadro unificato che integri completamente i due concetti è molto impegnativo, poiché richiede l'inclusione degli standard di resilienza nell'agenda della sostenibilità. Inoltre, il quadro di valutazione combinato deve essere adattato e personalizzato in base alla natura del progetto, tra cui l'ubicazione, il clima e il tipo di rischi naturali presenti nella zona. Il processo di integrazione richiede anche la partecipazione attiva di diverse parti interessate in tutte le fasi. Pertanto, secondo le conclusioni dello studio, per integrare gli indicatori di resilienza nei sistemi di valutazione della sostenibilità, è necessario sviluppare nuovi sistemi o migliorare quelli esistenti per concettualizzare correttamente e sviluppare un quadro combinato coerente dei due parametri, indipendentemente dal contesto applicativo.

In letteratura (Pitt et al., 2009), si può notare come la sostenibilità aziendale rappresenti una nuova visione dell'imprenditorialità, in cui l'obiettivo principale non si limita alla sola massimizzazione del profitto a breve termine, ma si estende alla creazione di valore a lungo termine per tutti gli stakeholder aziendali e per le future generazioni. Questa nuova visione si concretizza nella creazione di modelli operativi in grado di generare valore

economico e sociale, preservando le risorse naturali e avendo un impatto positivo sull'ambiente. Per quanto riguarda invece la resilienza aziendale, questa si manifesta nella capacità dell'azienda di affrontare in modo costruttivo i cambiamenti del mercato e le situazioni avverse, al fine di sopravvivere alle turbolenze e alle criticità. Un'azienda resiliente è in grado di reagire positivamente alle pressioni ambientali e di creare nuove opportunità di sviluppo, sviluppando al contempo nuove funzionalità e mantenendo una capacità di adattamento costante.

Nella Tabella 2, si mettono in evidenza i concetti di sostenibilità e resilienza, analizzandoli secondo diversi criteri considerati essenziali per lo sviluppo di un metodo di valutazione integrato, con particolare riferimento al settore dell'industria delle costruzioni. Vengono descritti approfonditamente i due concetti, mettendo in luce sia le loro somiglianze che le loro differenze, allo scopo di evidenziare le possibili sinergie e di individuare le aree in cui possono essere applicati in contemporanea. In questo modo, la tabella offre una panoramica completa dei criteri di valutazione per la sostenibilità e la resilienza, fornendo una base solida per lo sviluppo di un metodo integrato di valutazione che tenga conto di entrambi i fattori. Infine, si offre agli operatori del settore delle costruzioni una guida chiara e completa per la valutazione dell'impatto delle proprie attività sulla sostenibilità e sulla resilienza del sistema.

Tabella 2 - Analisi riassuntiva dei concetti di sostenibilità e resilienza.

| Criteri | Sostenibilità | Resilienza |
|--|---|---|
| Definizione | Capacità di un sistema di mantenere, per un indefinito periodo di tempo, specifici livelli di comfort, equità sociale e integrità ambientale. | Capacità di un sistema di anticipare, riconoscere, adattarsi e assorbire un cambiamento dovuto ad un evento o più estremi o disfunzione del sistema stesso. |
| Aree di valutazione / declinazioni | Economica, sociale, ambientale, tecnologica, normativa, ingegneristica, manageriale, organizzativa e della produzione. | Economica, sociale, ambientale, tecnologica, normativa, ingegneristica, manageriale, organizzativa e della produzione. |
| Focus della ricerca | Calcolo dell'impronta ecologica, stima dei consumi delle risorse, quantificazione degli impatti. | Studio dei cambiamenti climatici, gestione dei danni causati da eventi estremi e quantificazione dei rischi e relativo impatto. |
| Obiettivi | Riduzione degli impatti e del consumo delle risorse e mitigazione del cambiamento. | Aumento dei livelli di robustezza ed affidabilità rispetto ad eventi estremi e capacità di recupero. |
| Ipotesi di condizioni normali | Sistema stabile ed in equilibrio. | Sistema sottoposto a cambiamenti improvvisi ed eventi estremi. |
| Enfasi | Possibilità di implementazione di standard di riferimento accettati a livello globale | Possibilità di stima del potenziale globale del livello di resilienza del sistema. |
| Metodi / strumenti di calcolo per il settore industriale | Metodi di natura concettuale, in alcuni casi con riferimento a rating predefiniti e basati sulla catena del valore di Porter. | Metodi di natura concettuale, basati su approcci di economia e strutturati all'interno di uno strumento come il business model canvas. |

2.4 DEFINIZIONE E VALIDAZIONE DEL METODO SARIA PER LE INDUSTRIE DELLA FILIERA COSTRUTTIVA IN CARPENTERIA METALLICA

Gli strumenti attualmente in uso per la valutazione dei livelli di sostenibilità e di resilienza delle aziende presentano diversi limiti e problematiche legate, ad esempio, alla difficoltà di comprensione dei metodi di calcolo, all'assenza di indicatori chiari e univoci e alla mancanza di riferimenti normativi o standard riconosciuti a livello internazionale che guidino l'intero processo di analisi. Con l'obiettivo di risolvere un problema identificato, la Commissione Sostenibilità della Fondazione Promozione Acciaio si è impegnata a creare un metodo integrato di valutazione facile da usare, con una struttura semplice e un linguaggio comprensibile per tutte le parti coinvolte nella filiera delle costruzioni. Per raggiungere questo obiettivo, sono state seguite due fasi di lavoro principali. In primis la creazione e strutturazione del metodo integrato di valutazione SARIA (Sustainability And Resilience Impact Assessment). La seconda fase di lavoro, ancora in corso, consiste nella valutazione e calibrazione dello strumento tramite una campagna di indagine condotta con tutti i Soci della Fondazione.

2.4.1 LA STRUTTURAZIONE DEL METODO SARIA

La prima fase è stata condotta in stretta connessione con l'analisi della letteratura esistente, i cui risultati hanno permesso di identificare, grazie ad una revisione critica dello stato dell'arte, quali metodologie di calcolo o strumenti per la valutazione dei livelli di sostenibilità e resilienza per le aziende sono attualmente in uso, evidenziando che i settori in cui vengono studiate tale tematiche sono molti, ma in particolare si riscontra una carenza di dati per quello delle costruzioni. I metodi di calcolo più diffusi per la sostenibilità e resilienza aziendale si rifanno a due modelli importanti che sono stati anche scelti come riferimento per la strutturazione della metodologia SARIA: la catena del valore secondo Porter (1985) e il business model canvas come quello di Osterwalder et al. (2010).

L'effetto Porter, noto anche come ipotesi di Porter, si riferisce al fatto che politiche ambientali ragionevoli possono promuovere meglio lo sviluppo economico, migliorando al contempo la qualità dell'ambiente e ottenendo una situazione vantaggiosa sia per l'economia che per l'ambiente. Nel 1979, Michael Porter sviluppò infatti il suo ormai famoso modello delle "Cinque Forze di Porter", unendo per la prima volta l'analisi economica alla strategia competitiva delle imprese, dimostrando

che le aziende a volte definiscono la strategia competitiva in modo troppo ristretto. Tale fenomeno rischiava di ripetersi dal momento che le forze della strategia competitiva stanno cambiando nuovamente e la sostenibilità è un motore di molti di questi cambiamenti. In letteratura (London et al., 2001), infatti, la catena del valore secondo Porter viene definita come un metodo che contribuisce ad analizzare le attività specifiche con cui le aziende possono creare valore e vantaggio competitivo. Per questo motivo l'autore ha deciso di incorporare il modello della catena del valore di Porter nel metodo SARIA, per poter quantificare in modo completo come le aziende catturano valore e creano vantaggi competitivi tenendo conto e gestendo i rischi e le opportunità della sostenibilità.

Il business model canvas invece, come indicato da Singaram et al. (2022), è uno strumento operativo che aiuta le aziende a rappresentare visivamente gli elementi del proprio modello di business in modo tale da evidenziare le potenziali interconnessioni e impatti sulla creazione di valore.

La combinazione di questi due metodi ha permesso di strutturare il metodo SARIA su tre elementi ben identificabili per scopo, e al tempo stesso correlati e complementari per la valutazione di sostenibilità e resilienza: (i) sezioni, (ii) categorie e (iii) campi di attività.

Le sezioni corrispondono alle tre parti o moduli principali del metodo corrispondenti a: profilazione aziendale, valutazione della sostenibilità e valutazione della resilienza. Ogni modulo è stato organizzato secondo una struttura ad albero per poter meticolosamente stabilire il livello di approfondimento che si voleva raggiungere, evitando di rendere lo strumento complicato o richiedente dati di difficile reperimento, come spesso si è riscontrato dagli strumenti esistenti e conseguentemente poco usati nella pratica.

Il primo modulo di profilazione aziendale è stato creato per poter meglio inquadrare il soggetto richiedente la valutazione e conseguentemente supportare anche l'analisi dei risultati dei livelli di sostenibilità e resilienza in base appunto alle sue peculiari caratteristiche (ad esempio, dimensione dell'azienda, relativo accesso a finanziamenti e supporti, ambito di influenza del mercato, tipologia di prodotti per le costruzioni).

I moduli della sostenibilità e della resilienza, invece, presentano una scomposizione per categorie che riprende i tre pilastri della sostenibilità, che, come visto dalla letteratura, si possono considerare, se adeguatamente declinati, anche per la resilienza: i) categoria sociale, ii) categoria economica, iii) categoria tecnico-ambientale.

Rifacendosi quindi ai metodi di Porter e Osterwalder descritti precedentemente, la strutturazione di tali









categorie è stata elaborata per campi di azione identificati secondo attività, risorse e partner chiave. Le attività chiave per un'azienda sono le azioni particolarmente importanti legate, ad esempio, a produzione e vendita di prodotti e servizi. Le risorse chiave, invece, riguardano beni che possono essere sia fisici che intellettuali, umani o finanziari. Infine, i partner chiave considerano le partnership essenziali per lo svolgimento delle attività chiave. I concetti della catena del valore hanno inoltre permesso di dividere le attività principali e secondarie all'interno delle tre categorie, al fine di agevolare l'identificazione dei campi di azione. Le attività primarie quali logistica, vendita e produzione sono state collocate nella categoria economica, mentre le attività secondarie sono state collocate nelle categorie sociali e tecnico-ambientali.

In Tabella 3 sono stati riassunti gli otto campi di azione distinti per le tre categorie, e per ciascuno di essi è stato specificato l'ambito di analisi all'interno del processo di valutazione del metodo SARIA e la relativa icona che verrà utilizzata nella rappresentazione finale dei risultati.

Per ogni singolo campo di azione sono state individuate un numero massimo di 5 domande, di carattere qualitativo e quantitativo, che prevedono diverse tipologie di risposta: singola, multipla o a risposta aperta, a seconda dell'argomento.

Le domande, laddove esistenti, sono state definite rifacendosi a specifici standard e normative vigenti nell'ambito di ricerca del business e risk management, in relazione alla valutazione dei rispettivi livelli di sostenibilità e resilienza.

Tabella 3 - Quadro della struttura del metodo SARIA per le categorie e campi di azione, con rispettive descrizioni e icone di riferimento.

| Categorie | Campi di azione | Descrizione delle valutazioni per campi di azioni | Icona |
|-----------------------|--------------------------------|---|---|
| 1. Sociale | 1.1. Governance | Analisi dei metodi di attuazione di piani, percorsi, obiettivi intrapresi dalle aziende, riguardo ai temi sostenibilità e resilienza. |  |
| | 1.2. Risorse umane | Analisi degli strumenti e delle azioni utilizzate dalle aziende per la formazione dei propri dipendenti in ambito di sostenibilità e resilienza. |  |
| 2. Economica | 2.1. Supply chain | Studio delle pratiche messe in atto dalle aziende per la gestione e il monitoraggio dei livelli di sostenibilità e resilienza della propria supply chain. |  |
| | 2.2. Produzione | Studio dei metodi di monitoraggio utilizzati dalle aziende riguardo a fattori ambientali e rischi legati ai processi di produzione. |  |
| | 2.3. Vendite | Studio delle modalità di comunicazione tra le aziende e i loro clienti riguardo a pratiche di sostenibilità e resilienza. |  |
| 3. Tecnico-ambientale | 3.1. Filiera delle costruzioni | Analisi del livello di aggiornamento delle aziende riguardo ai temi di economia circolare, requisiti e certificazioni, legati al settore delle costruzioni. |  |
| | 3.2. Digitalizzazione | Analisi della tipologia di tecnologie utilizzate dalle aziende e dei piani attuati dalle stesse per accelerare i processi di digitalizzazione. |  |
| | 3.3. Ricerca e sviluppo | Valutazione degli ambiti di ricerca e sviluppo ai quali le aziende presentano maggiori interessi, riguardo ai temi di sostenibilità e resilienza. |  |

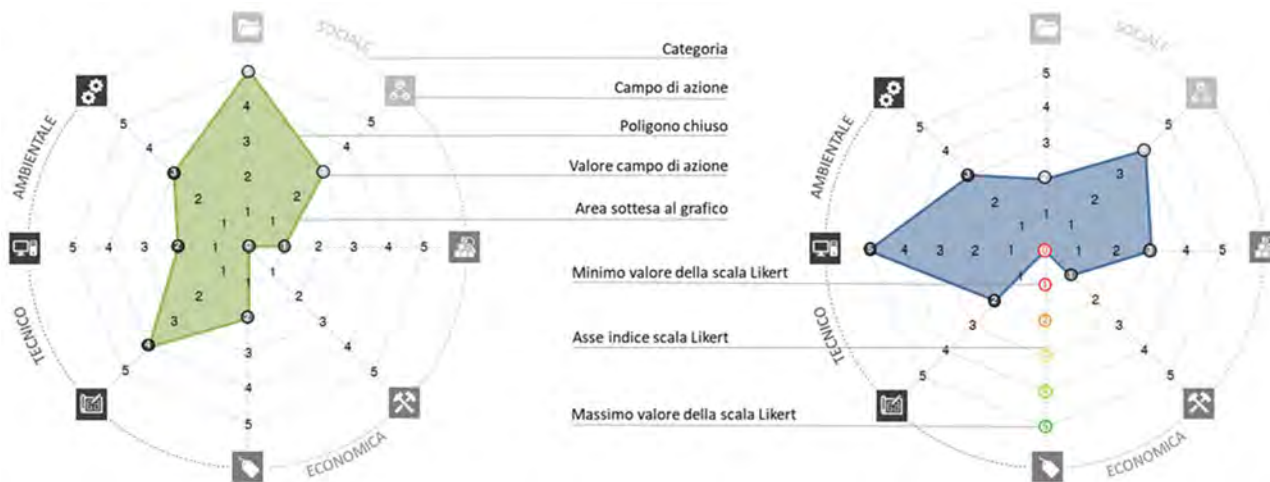


Figura 19 - Illustrazione del diagramma di Kiviati con scala Likert rielaborato per la restituzione dei risultati ottenuti con SARIA. Fonte: Sesana, 2023.

La fase finale della creazione del metodo è corrisposta alla definizione di un rating specifico per la valutazione dei risultati ottenibili con l'applicazione di SARIA. Come anticipato precedentemente, i dati raccolti nelle tre sezioni forniscono informazioni sia qualitative che quantitative; pertanto, l'autore ha stabilito l'assegnazione di un punteggio relativo per ogni domanda con l'obiettivo di tener in considerazione l'influenza di ciascun campo di azione con un proprio peso relativo. Questo in relazione alla possibilità di ottenere un punteggio massimo di cinque punti, secondo una scala Likert variabile da 0 a 5 e corrispondente ai seguenti intervalli di valori: da 0 a 1 – molto basso; da 1,5 a 2 – basso; da 2,5 a 3 – medio; da 3,5 a 4 – alto e da 4,5 a 5 – molto alto. Per agevolare la comprensione e la visualizzazione dei risultati, è stata rielaborata una rappresentazione sintetica dei campi di azione mediante il diagramma di Kiviati (grafico a radar),

che permette di rappresentare graficamente gli otto campi di azione su altrettanti assi con origine comune, e la quantificazione di essi su ciascun asse secondo la scala Likert sopra specificata e che corrisponde al livello corrente dell'azienda per l'ambito oggetto della valutazione. Collegando i valori di ogni campo di azione si genera un poligono chiuso, che fornisce una visione globale dei rispettivi livelli per campi di azione, evidenziando a colpo d'occhio su quali tematiche l'azienda possiede una prestazione maggiore o minore (Figura 19). Infine, per realizzare una sintesi del processo di valutazione dei risultati, si è utilizzato un grafico Gauge (“grafico a quadrante”) che permette di rappresentare la somma dei valori raggiunti sia per il livello di sostenibilità che del livello di resilienza, determinati come la media dei valori dei vari campi di azione. Il punteggio globale ottenuto è stato poi tradotto secondo il rating di valutazione definito da SARIA e riassunto in Tabella 4.

Tabella 4 - Elenco dei punteggi di rating utilizzati nel processo di valutazione e sintesi dei risultati dello strumento SARIA. Fonte: Sesana, 2023.

| Rating | Punteggio S+R | Definizione | Entità dell'impatto e del rischio |
|--------|---------------|--|---|
| A | 10-8 | L'azienda si presenta con un livello di sostenibilità e resilienza molto alti. | Basso il rischio e basso l'impatto |
| B | 8-6 | L'azienda si presenta con almeno uno tra il livello di sostenibilità e il livello di resilienza molto alto. | Basso il rischio e moderato l'impatto / moderato l'impatto e basso il rischio |
| C | 6-4 | L'azienda si presenta con un livello di sostenibilità e un livello di resilienza nella media. | Moderato il rischio e moderato l'impatto |
| D | 4-2 | L'azienda si presenta con almeno uno tra il livello di sostenibilità e il livello di resilienza molto basso. | Alto il rischio e moderato l'impatto / moderato l'impatto e alto il rischio |
| E | 2-0 | L'azienda si presenta con un livello di sostenibilità e un livello di resilienza molto bassi. | Alto il rischio e alto l'impatto |

3 PROGETTAZIONE LIFE-CYCLE E STRUMENTI DI VALUTAZIONE LCA-BASED

La strada indicata dall'Unione Europea per raggiungere la neutralità climatica al 2050 riconosce gli edifici come uno dei settori più strategici per la decarbonizzazione. Ad oggi i risultati ottenuti per traguardare questo obiettivo sono ancora esigui, e dimostrano la necessità di un profondo cambiamento culturale che porti al radicarsi di metodi e nuovi approcci olistici, capaci di valutare l'impronta ambientale e la sostenibilità del costruito - a scala di edificio, quartiere, città - lungo l'intero ciclo di vita. In un'ottica di sviluppo sostenibile, l'evoluzione del sistema edilizio deve avvenire tenendo conto anche di eventuali trade-off ambientali, e assicurando la compatibilità tra gli obiettivi energetici e climatici ed eventuali altri impatti. A tal fine, le analisi LCA (Life Cycle Assessment), essendo processi oggettivi di valutazione dei carichi ambientali prodotti a seguito del ciclo di vita di un prodotto, processo o attività, rappresentano un valido strumento, oltre ad essere state recentemente inserite anche tra i parametri di valutazione dei nuovi CAM edilizia. L'analisi LCA consente di valutare, infatti, il profilo ambientale di un sistema/prodotto prendendo in considerazione una molteplicità di categorie di impatto ambientale. In una logica in cui la sostenibilità diventa asse strategico sul quale prendere decisioni, i dati restituiti dalle analisi LCA e LCC costituiscono elementi fondamentali per comprendere, già in fase di progettazione, come ridurre al minimo costi ed impatto sull'ambiente delle nuove costruzioni.

Parole chiave: *LCA, LCC, progetto*
ARCADIA/ENEA.

Lavorazione in officina di carpenteria metallica. (Alex Filz - PICHLER projects srl)



3.1 LIFE CYCLE ASSESSMENT COME STRUMENTO PER L'ANALISI DELL'IMPATTO AMBIENTALE

Vari sono gli strumenti e le tecniche usati nella pratica progettuale quotidiana per migliorare e gestire le prestazioni ambientali, ognuno dei quali fornisce un approccio unico per valutare e potenzialmente identificare strategie per migliorare le prestazioni ambientali di un'ampia gamma di prodotti, processi e servizi.

Il Life Cycle Assessment (LCA), noto anche come analisi del ciclo di vita, si distingue tra gli strumenti per il suo approccio olistico all'analisi delle prestazioni ambientali, prendendo in considerazione un'ampia gamma di impatti potenziali e, come suggerisce il nome, analizzando ogni fase della vita di un prodotto. Un ulteriore vantaggio dell'analisi LCA è che si basa su un'unità funzionale scelta e nella sua valutazione può tenere conto di molte variazioni geografiche, tecnologiche e temporali.

La valutazione del ciclo di vita è uno strumento utilizzato per determinare e valutare i carichi e gli impatti ambientali di un particolare prodotto o processo, compresi gli effetti associati ai processi a monte della catena di approvvigionamento. L'analisi LCA viene utilizzata per analizzare questi carichi

lungo l'intero ciclo di vita del prodotto o del processo oggetto di studio, dall'estrazione delle materie prime dal suolo fino allo smaltimento finale o al riciclo del prodotto al termine della sua vita utile. L'analisi del ciclo di vita di un prodotto di norma non considera gli aspetti economici o sociali di una produzione, di un processo o di una decisione; tuttavia, gli stessi principi applicati in un'analisi LCA possono essere applicati anche a questi aspetti. Valutando, infatti, anche il costo del ciclo di vita (LCC) è possibile identificare diversi benefici e risparmi lungo l'intero processo della filiera (Crawford, 2011).

A livello internazionale, la metodologia LCA è regolamentata dalle norme ISO della serie 14040 (Figura 20) secondo le quali uno studio di valutazione del ciclo di vita prevede quattro fasi:

1. la definizione dello scopo e del campo di applicazione dell'analisi (ISO 14041);
2. l'analisi di un inventario degli input e degli output di un determinato sistema (ISO 14041);
3. la valutazione del potenziale impatto ambientale correlato a tali input e output (ISO 14042);
4. l'interpretazione dei risultati (ISO 14043).

L'analisi LCA è una tecnica iterativa nella quale le singole fasi utilizzano i risultati di tutte le altre fasi, favorendo così la completezza e la coerenza dello studio. Di seguito vengono presentate più nel dettaglio le quattro fasi principali di un'analisi LCA.



Figura 20. Illustrazione delle quattro fasi che compongono un'analisi LCA. (elaborazione autori)

Prima fase: Definizione dello scopo e del campo di applicazione

La prima fase dell'analisi LCA ha come obiettivo la definizione dello scopo e del campo di applicazione dello studio, compresa la determinazione delle ragioni che hanno contribuito a realizzarlo e del pubblico a cui è destinato. Questa fase determina l'approccio da adottare per l'analisi dell'inventario e il livello di dettaglio con cui questa viene eseguita. L'ambito di un'analisi LCA comprende la definizione delle fasi del ciclo di vita da considerare, le quali, a seconda del prodotto da valutare, coprono tipicamente l'estrazione delle materie prime, la loro lavorazione, la realizzazione del materiale o del prodotto, il funzionamento o l'uso, la manutenzione, la riparazione e lo smaltimento o il riciclaggio, come definito nell'International Standard 14040 del 2006. Questa prima fase dello studio del ciclo di vita di un prodotto o processo è la più importante, poiché l'ottenimento di risultati corretti per lo scopo richiesto dipende da un'adeguata definizione dell'ampiezza, della profondità e del dettaglio dello studio. Nel Box 18 viene presentato sinteticamente cosa si intende per scopo e campo di applicazione nella prima fase di uno studio LCA.

Per la definizione del campo di azione di un'analisi LCA, risulta fondamentale definire l'unità funzionale del prodotto o processo, ossia le caratteristiche prestazionali dello stesso durante lo svolgimento di una determinata funzione. L'unità funzionale viene utilizzata come unità di riferimento, per consentire di effettuare affermazioni comparative su prodotti concorrenti, garantendo che gli input e gli output quantificati siano correlati a una particolare funzione. La dimensione effettiva dell'unità funzionale è piuttosto arbitraria; tuttavia, la valutazione degli impatti e le fasi di interpretazione dell'analisi sono più semplici se la dimensione è facilmente comprensibile o un'unità di misura convenzionale.

Seconda fase: analisi dell'inventario del ciclo di vita

L'analisi dell'inventario (Life Cycle Inventory analysis, LCI) prevede la raccolta di dati e calcoli per quantificare gli input e gli output del sistema di prodotto durante l'intero ciclo di vita. Gli input possono includere l'energia, l'acqua e le risorse naturali, mentre gli output possono includere le emissioni e i rifiuti, come rappresentato in Figura 21. L'analisi dell'inventario è uno dei processi che richiede il maggior dispendio di tempi e risorse all'interno delle analisi del ciclo di vita di un prodotto o processo. Se l'ambito dello studio non è definito in modo adeguato, si rischia di perdere troppo tempo per ottenere e analizzare dati che vanno oltre quelli necessari per lo scopo dello studio.

Box 18. Definizioni di scopo e campo di azione nella prima fase di uno studio LCA.

SCOPO

La definizione dello scopo per cui viene effettuato lo studio LCA permette di definire il processo di valutazione da utilizzare durante le fasi successive dell'analisi, garantendo così l'ottenimento dei risultati ricercati. Mentre l'obiettivo primario di un'analisi LCA è quello di scegliere il prodotto o il processo che ha il minor effetto sull'ambiente e sulla salute umana o di guidare lo sviluppo di nuovi prodotti o processi, gli obiettivi specifici dello studio devono riflettere l'uso previsto dei risultati e rispondere alle ragioni per cui è stato condotto, indicando l'applicazione prevista dei risultati dello studio e a chi si intende comunicare i risultati dello studio.

CAMPO DI APPLICAZIONE

La definizione dell'ambito di applicazione dello studio LCA implica la determinazione delle fasi del ciclo di vita da considerare e dei confini del sistema di prodotto, l'annotazione di eventuali ipotesi o limitazioni dello studio e l'indicazione di quali input, output e impatti sono inclusi e quali esclusi. Per definire l'ambito dello studio, l'International Standard 14040 (2006) raccomanda una serie di elementi da considerare, tra cui: il sistema di prodotto da studiare; l'unità funzionale da utilizzare; la tipologia e qualità dei dati richiesti; le procedure di allocazione; le categorie di impatto da analizzare e la metodologia di valutazione e interpretazione dell'impatto da utilizzare; il tipo e formato della relazione richiesta per lo studio.

L'ambito dello studio deve essere definito in modo da garantire che i risultati siano sufficienti a raggiungere l'obiettivo previsto e la loro eventuale applicazione. Proprio come per la definizione degli obiettivi dello studio, anche l'ambito di applicazione è influenzato dall'uso previsto dei risultati, compreso il livello di ampiezza e di dettaglio necessario per affrontare gli obiettivi dello studio e il livello di affidabilità richiesto da questi risultati.

Poiché uno studio LCA può comportare un processo altamente iterativo, il campo di applicazione, così come altri aspetti dello studio, possono richiedere modifiche nel corso del suo svolgimento, al fine di soddisfare gli obiettivi e le intenzioni originarie dello studio. La necessità di modificare alcuni aspetti dell'ambito diventerà evidente con il progredire dello studio e la valutazione dei risultati. Tale modifica può essere il risultato di limitazioni o vincoli imprevisti o della disponibilità di ulteriori informazioni.

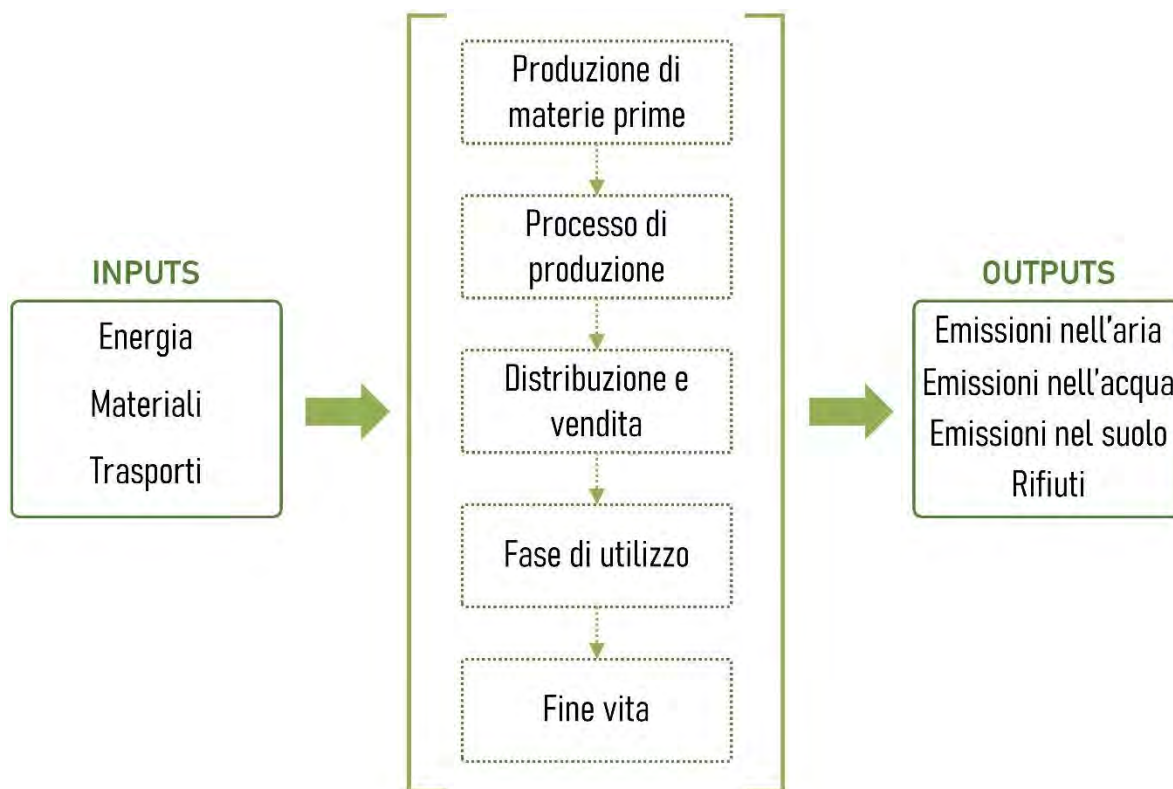


Figura 21. Esempio di analisi degli input ed output per la valutazione dell'inventario del ciclo di vita. (elaborazione autori)

La raccolta dei dati per l'analisi dell'inventario prevede diverse fasi, alcune delle quali, le più rilevanti, sono descritte all'interno dello standard internazionale ISO 14044 (2006), come:

- rappresentazione, attraverso diagrammi di flusso, dei passaggi per la realizzazione ed utilizzo di un prodotto, comprendendo i processi diretti e indiretti;
- descrizione dettagliata di ogni processo ed elenco delle categorie di dati associate a ciascuno di essi;
- realizzazione di un elenco delle unità di misura da utilizzare durante le analisi;
- descrizione delle tecniche da utilizzare per la raccolta dei dati e per il calcolo di ogni categoria degli stessi.

Queste fasi sono necessarie per garantire una conoscenza approfondita di ogni processo unitario, al fine di evitare doppi conteggi o lacune.

Terza fase: valutazione degli impatti ambientali

La terza fase dello studio LCA, la valutazione degli impatti ambientali (Life Cycle Impact Assessment, LCIA), traduce i risultati dell'analisi LCI in indicatori numerici secondo delle specifiche categorie, le quali rappresentano l'impatto ambientale del sistema o del prodotto. Sebbene l'analisi dell'inventario del ciclo di vita fornisca informazioni utili per il processo decisionale, la sua efficacia spesso risulta essere limitata dalla disconnessione tra i carichi ambientali e il loro impatto sull'ambiente. Un esempio di ciò sono gli impatti ambientali associati al consumo di energia necessaria per fabbricare un

determinato prodotto, i quali possono variare in modo significativo in base a diversi fattori, tra cui si ricordano i seguenti:

- tipo e fonte di combustibile utilizzato;
- quantitativo di emissioni prodotte in base alla tipologia di combustibile;
- processi e tecnologie per la produzione di energia;
- efficienza nella produzione e nel consumo delle risorse.

Assumere che il consumo di una certa quantità di energia comporti impatti ambientali simili, indipendentemente dalle variazioni dei fattori sopra elencati, comporterebbe un'errata analisi LCA. Per questo motivo, i carichi ambientali quantificati, come l'energia consumata o i rifiuti prodotti, devono essere tradotti in impatti degli stessi sull'ambiente naturale. Durante la fase di LCIA si deve, inoltre, chiarire quale di questi impatti potenziali sia il più negativo per l'ambiente, sulla base degli input e degli output quantificati.

La fase di studio LCIA prevede i seguenti passaggi: selezione e definizione delle categorie di impatto; classificazione; caratterizzazione; uniformazione; raggruppamento; ponderazione. Questi passaggi sono sinteticamente descritti nel Box 19, mentre alla Tabella 5 vengono presentate alcune categorie di impatti maggiormente analizzate negli studi di LCA e le loro classificazioni e categorizzazioni più diffuse.

Quarta fase: interpretazione dei risultati

La quarta e ultima fase di un'analisi LCA è l'interpretazione dei risultati. Questa fase prevede la combinazione dei risultati delle due fasi precedenti (LCI ed LCIA) per determinare gli input, gli output e i potenziali impatti ambientali più rilevanti dei prodotti o processi analizzati. Le informazioni ottenute da queste fasi precedenti vengono identificate, qualificate, controllate e valutate, in modo tale da poter trarre conclusioni e formulare

raccomandazioni, con particolare attenzione all'identificazione dei potenziali di miglioramento dell'impatto ambientale del prodotto o processo.

Le attività principali di questa fase comprendono:

- identificare di questioni significative;
- valutare i risultati;
- trarre conclusioni;
- spiegare i limiti;
- fornire raccomandazioni basate sui risultati delle fasi precedenti dello studio.

Box 19. Descrizione dei sei passaggi che costituiscono la terza fase di un'analisi LCA.

1 SELEZIONE E DEFINIZIONE

La prima fase di una LCIA consiste nel definire le categorie di impatto associate ai carichi ambientali che sono stati quantificati durante lo studio LCI. La scelta degli impatti da considerare e il loro livello di dettaglio sono determinati durante la prima fase di definizione dello scopo e del campo di applicazione. Nella Tabella 5 sono elencate alcune delle categorie di impatto più comuni utilizzate per le analisi LCA.

2 CLASSIFICAZIONE

Il processo di classificazione prevede l'assegnazione dei risultati dell'analisi LCI alle categorie di impatto selezionate. Ad esempio, il rilascio di una serie di gas a effetto serra può essere classificato nella categoria del riscaldamento globale, essendo influenzato dagli stessi. Spesso, alcuni input o output di un sistema di prodotti possono contribuire a più di un impatto ambientale e devono essere assegnati a più categorie su base proporzionale. Ad esempio, il consumo di energia può influire sia sul riscaldamento globale, attraverso il rilascio di gas serra dalla combustione, sia sull'esaurimento delle risorse naturali, a seconda della fonte e del tipo di energia utilizzata. Ulteriori esempi di classificazione degli impatti sono riportati nella Tabella 5.

3 CARATTERIZZAZIONE

Il processo di caratterizzazione prevede il calcolo dei risultati degli indicatori di categoria. I risultati dell'analisi LCI vengono convertiti in unità comuni sulla base di fattori di conversione, i quali indicano i potenziali impatti che gli indicatori possono avere sulla salute umana o sull'ambiente.

Ad esempio, i risultati riguardanti la quantità di emissioni dei diversi gas serra di un sistema di prodotti possono essere convertiti in grammi di CO₂ equivalente tramite moltiplicatori, in modo tale da riuscire a confrontare quantità diverse di sostanze differenti, e determinare l'impatto che ciascuna di esse ha sul riscaldamento globale. Nella Tabella 5 sono riportati alcuni fattori di caratterizzazione per alcune delle categorie di impatto più comuni.

4 UNIFORMAZIONE

Dopo che i risultati dell'analisi LCI sono stati caratterizzati, può essere necessario esprimerli in un modo tale da riuscire ad effettuare un confronto diretto tra le varie categorie di impatto. Questo processo, noto come uniformazione, divide i risultati degli indicatori per un valore di riferimento selezionato. Questi possono essere confrontati su base pro capite, unitaria o rispetto al valore più alto tra le varie opzioni presenti. L'uniformazione permette di ottenere un'indicazione più chiara dei reali impatti dei diversi indicatori.

5 RAGGRUPPAMENTO

Un ulteriore passaggio dell'analisi LCIA è il raggruppamento delle categorie di impatto, consentendo la suddivisione delle stesse in gruppi tematici specifici.

Le categorie vengono ordinate in base alle loro caratteristiche (come gli input e gli output o l'ubicazione) o in base alla loro rilevanza rispetto allo scopo e campo di azione definiti durante la prima fase dell'analisi LCA.

6 PONDERAZIONE

Il processo di ponderazione prevede l'assegnazione di pesi o valori numerici alle diverse categorie di impatto valutate in base alla loro importanza per lo studio che si sta eseguendo. Ad esempio, il consumo di acqua e il conseguente esaurimento delle riserve idriche possono essere molto preoccupanti e di grande importanza in luoghi in cui la disponibilità di acqua è limitata, ma non altrettanto in luoghi in cui la disponibilità è abbondante. I fattori di ponderazione consentono di confrontare l'importanza di diverse categorie di impatto, come il riscaldamento globale e l'eutrofizzazione. Tuttavia, classificare l'importanza di un impatto potenziale rispetto a un altro è un processo altamente soggettivo e si basa su giudizi riguardo a quanto gli impatti potenziali di una determinata categoria siano più o meno significativi.

Tabella 5. Alcuni esempi di categorie di impatti più comuni e loro classificazione e caratterizzazione.

| Categoria di impatto | Esempi di dati ottenuti dall'analisi LCI | Fattore di caratterizzazione |
|---------------------------------|---|--|
| Riscaldamento globale | Anidride carbonica (CO ₂) Biossido di azoto (NO ₂) Metano (CH ₄) Altri gas effetto serra | Potenziale di riscaldamento globale (Global Warming Potential, GWP) (CO ₂ equivalente) |
| Esaurimento delle risorse | Quantità di minerali utilizzati Quantità di combustibili fossili utilizzati | Potenziale di esaurimento delle risorse (rapporto tra risorse utilizzate e quantità di risorse ancora disponibili) |
| Uso del suolo | Quantità di rifiuti smaltiti in discarica Altre modifiche al suolo | Disponibilità di terreno (volume di rifiuti) |
| Eutrofizzazione | Fosfato (PO ₄) Monossido di azoto (NO) Biossido di azoto (NO ₂) Nitrati | Potenziale di eutrofizzazione (PH ₄ equivalente) |
| Acidificazione | Ossidi di zolfo (SO _x) Ossidi di azoto (NO _x) Acido cloridrico (HCl) Ammoniaca (NH ₄) | Potenziale di acidificazione (H ⁺ equivalenti) |
| Riduzione dello strato di ozono | Clorofluorocarburi (CFCs) Idroclorofluorocarburi (HCFCs) Halon | Potenziale di riduzione dello strato di ozono (CFC-11 equivalenti) |

TIPOLOGIE DI ANALISI LCA

Un'analisi del ciclo di vita di un prodotto o UN processo, per sua natura, incorpora generalmente una valutazione di tutti gli aspetti del ciclo di vita di un prodotto o di un processo, con svariate potenzialità di applicazione. Di conseguenza, il

quadro e l'ambito generale della LCA sono spesso adattati per soddisfare gli obiettivi e le esigenze dei singoli progetti. Nel Box 20 sono indicate le tre principali tipologie di analisi LCA (convenzionale, comparativa e semplificata), ognuna con una specifica finalità (King, 2022).

Box 20. Le tre principali tipologie di analisi LCA.

ANALISI LCA CONVENZIONALE

Un'analisi LCA convenzionale viene utilizzata per valutare un singolo prodotto, sistema o processo, con l'obiettivo di identificare le aree di potenziale miglioramento delle prestazioni ambientali dello stesso. Spesso si inizia con la valutazione degli impatti ambientali associati a un prodotto e si utilizzano i risultati dell'analisi LCA per identificare le aree in cui si verificano gli impatti più significativi, così da poter sviluppare e impiegare le strategie più efficaci per l'intervento di riduzione dell'impatto del prodotto sull'ambiente.

Un esempio di come si possa utilizzare un'analisi del ciclo di vita convenzionale si può avere durante lo sviluppo di nuovi materiali da costruzione o il miglioramento delle prestazioni ambientali di quelli esistenti. In questo contesto, un'analisi LCA può essere utilizzata per identificare gli input di materiali, energia, acqua e altre risorse, nonché gli output (inquinamento, prodotti e rifiuti) associati alla produzione dei materiali. I risultati, potenzialmente dettagliati, sulla quantità di energia, acqua, consumo di materie prime e rifiuti associati al processo di produzione, possono essere utilizzati per identificare quale processo, fase di produzione, materia prima specifica o altra risorsa in ingresso contribuisca maggiormente all'impatto ambientale complessivo.

I risultati di un LCA convenzionale sono spesso utilizzati per scopi interni, poiché questo tipo di LCA si presta allo sviluppo e al miglioramento dei prodotti. Tuttavia, i risultati sono spesso utilizzati anche per commercializzare particolari punti di forza o qualità ambientali di un prodotto, per soddisfare le richieste di un mercato sempre più attento all'ambiente.

ANALISI LCA COMPARATIVA

Un'analisi LCA comparativa, come suggerisce il nome, viene utilizzata per confrontare gli impatti ambientali di due o più prodotti o processi che svolgono la stessa funzione. Può essere utile quando lo scopo è quello di selezionare l'alternativa con il minore impatto ambientale. Questa tipologia di analisi necessita una selezione di un'unità funzionale comparabile, in modo che le alternative siano confrontate su una base comune.

Lo sviluppo di un prodotto inizia spesso con un'analisi LCA convenzionale per determinare gli impatti ambientali più significativi. Quando vengono sviluppati prodotti o soluzioni alternative nel tentativo di ridurre questi impatti, può essere necessario eseguire un'analisi comparativa che metta a confronto tutte le alternative per determinare quale di queste comporta il minor impatto ambientale. Questo tipo di valutazione è utile per i progettisti quando si rendono disponibili più opzioni tra cui scegliere da utilizzare per il proprio progetto.

ANALISI LCA SEMPLIFICATA

Molto spesso, l'obiettivo di uno studio LCA è quello di valutare solo una gamma limitata di impatti ambientali o di fasi del ciclo di vita associate a un prodotto o a un processo.

Il lavoro precedente può aver identificato impatti significativi derivanti da un particolare input (come l'energia) o fase del ciclo di vita (come la produzione). Ad esempio, quando si studiano processi di produzione alternativi per un singolo prodotto, può essere accettabile studiare solo questa fase del ciclo di vita del prodotto. Questo tipo di analisi LCA, in cui il campo di applicazione è limitato in profondità, ampiezza o dettaglio, è noto come analisi semplificata. Gli obiettivi e il campo di applicazione, identificati all'inizio dello studio, informano sull'opportunità di utilizzare un approccio semplificato. È necessario usare cautela nell'utilizzo di questo approccio, poiché spesso è necessaria una comprensione molto più dettagliata di un prodotto per limitare la portata dello studio. La limitazione dell'ambito deve essere motivata da una ragione specifica, che deve essere presentata nella fase di definizione dello stesso.

È stato dimostrato che gli impatti principali associati al settore delle costruzioni sono spesso legati al consumo di energia. Di conseguenza, l'attenzione per miglioramento delle prestazioni ambientali degli edifici si concentra spesso sull'efficienza energetica durante le loro fasi di vita, dalla costruzione all'uso e all'eventuale smaltimento. Per questo motivo, un approccio semplificato che considera solo gli impatti ambientali legati ai consumi di energia è abbastanza comune per gli studi LCA degli edifici, che viene comunemente definito analisi energetica del ciclo di vita.

LIFE CYCLE COSTING

Uno studio complementare all'LCA è il Life Cycle Costing (LCC), un'analisi di tutti i costi associati al ciclo di vita di un prodotto, processo o servizio, che sono direttamente sostenuti da uno o più attori: ad esempio fornitori, produttori, utilizzatori o gestori del fine vita.

Possono essere identificati tre tipi di Life Cycle Costing: LCC convenzionale, LCC ambientale e LCC sociale. La LCC convenzionale è quella più utilizzata e si basa su una valutazione puramente economica che considera i costi delle diverse fasi del ciclo di vita generalmente sostenuti da un solo attore (produttore o consumatore). I costi esterni o non direttamente sostenuti dall'attore considerato in genere non vengono considerati. Inoltre, spesso non viene analizzato l'intero ciclo di vita, e la fase di fine vita non è comunque mai inclusa.

La LCC ambientale considera i costi relativi al ciclo di vita di un prodotto sostenuti dagli attori coinvolti, comprese le esternalità che si prevede verranno internalizzate. Questa analisi è complementare all'analisi LCA, di cui condivide l'unità funzionale, i confini del sistema, e di cui segue lo stesso modello di sistema di prodotto, considerando tutte le fasi del ciclo di vita. LCC ambientale e LCA sono quindi considerate due analisi complementari, e infatti

secondo "Environmental Life Cycle Costing: A Code for Practice" di SETAC, nella LCC ambientale è anche richiesto lo svolgimento di una LCA. Gli attori considerati nella LCC sono quelli coinvolti nel ciclo di vita, soprattutto produttori, catena di fornitura e consumatore o utilizzatore finale. Vengono considerati i costi per lo sviluppo del prodotto, materiali, energia, macchinari, forza lavoro, gestione dei rifiuti, controllo delle emissioni, trasporto, manutenzione e riparazione ecc.

La combinazione di LCA e LCC permette una visione più completa e un approccio sistematico e razionale che aiuta a trovare soluzioni economicamente vantaggiose. La combinazione di questi due approcci consente di valutare l'eco-efficienza di un prodotto o servizio e rendere visibile il break-even point al consumatore, ovvero quando il suo investimento si traduce in risparmio.

Nel 2014 e nel 2016 sono state pubblicate rispettivamente le direttive sugli appalti pubblici (direttiva 2014/24/EU; direttiva 2014/25/EU) e il nuovo codice dei contratti pubblici (D.Lgs. 18 aprile 2016, n. 50), che promuovono le tecniche di Life Cycle Assessment ed incentivano l'utilizzo del metodo LCC per determinare il concorrente economicamente più vantaggioso.

3.2 L'ANALISI LCA NEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI

Il concetto di risparmio energetico è ormai ampiamente conosciuto ed approcciato nel settore delle costruzioni attraverso molteplici strategie. Queste, però, spesso sono poco lungimiranti e si basano su piccoli tagli al bilancio energetico che non possono garantire una vera e propria rivoluzione nel settore dell'edilizia, che porti ad un nuovo sistema di costruire veramente ecosostenibile.

Analizzando l'intero ciclo di vita di un edificio e dei suoi materiali, le fasi principali che determinano l'insieme dei consumi energetici sono tre: la fase di costruzione, la fase di uso e la fase di smaltimento. La fase di uso fa riferimento alla vita vera e propria dell'edificio, dal momento in cui, concluse le operazioni di costruzione, questo viene utilizzato. L'energia spesa durante questo periodo è quella necessaria a tutte le operazioni quotidiane svolte all'interno del manufatto, qualunque sia la sua destinazione d'uso. Attualmente è su questa fase che si concentrano gli sforzi maggiori per le strategie di risparmio energetico. Si cerca di diminuire i consumi dell'edificio applicando diverse soluzioni per ridurre la richiesta di gas ed elettricità. È stimato, però, che la fase d'uso di un edificio attualmente corrisponda a circa il 60% dell'energia globale usata dall'edificio stesso durante l'intero ciclo di vita delle nuove costruzioni (con una vita media di 50 anni), con un restante 40% di energia spesa durante la fase di costruzione. Questo risultato è dovuto all'energia incorporata (o *embodied energy*) presente all'interno dei materiali che compongono l'edificio. Il termine *embodied energy*, come indicato al Capitolo 1, si riferisce all'energia necessaria al prodotto (o all'intero edificio) durante tutto il suo ciclo di vita, ovvero quella impiegata per la sua realizzazione (estrazione delle materie prime, trattamento delle stesse per dare vita al prodotto finale), utilizzo (trasporto sul luogo dove il prodotto verrà trattato o installato, installazione, manutenzione), e smaltimento (demolizione, dismissione, riciclo).

Le percentuali precedentemente indicate, riferite all'energia incorporata ed operativa di un edificio, non tengono conto che l'energia spesa in fase di costruzione è destinata ad aumentare, a causa delle nuove normative comunitarie che mirano a realizzare esclusivamente edifici nZEB, i quali richiedono a volte una maggiore quantità di materiali ed elementi per ridurre i consumi di energia operativa, e di conseguenza un forte incremento di energia in fase di produzione.

Risulta, quindi, sempre più importante sfruttare strategie di risparmio che tengano in considerazione tutte le fasi di vita di un edificio, dalla scelta dei materiali e delle tecniche di costruzione fino al controllo delle operazioni di cantiere. L'analisi dei livelli di energia incorporata permette di calcolare altri valori aggiuntivi, tra cui quello di *embodied Carbon*, la quantità di CO₂ equivalente prodotta per la realizzazione di un edificio o di un singolo elemento dello stesso (Lavagna, 2022).

La maggior parte di queste strategie si basa su analisi di tipo LCA, che tengono in considerazione ogni fase della filiera costruttiva. Queste, in maniera molto simile al modo in cui vengono analizzate e gestite le prestazioni energetiche operative di un edificio, forniscono la flessibilità necessaria per perfezionare l'attività di ogni singolo progetto, riuscendo comunque a limitare entro certi limiti i valori di *embodied energy* ed *embodied carbon*.

Il grafico in Figura 22 mostra come lo spostamento dell'attenzione verso l'energia e il carbonio incorporati permetta anche di ridurre le emissioni e i consumi operativi dell'edificio. Inoltre, se si sposta l'attenzione dall'impronta di carbonio al termine della vita dell'edificio, all'impatto climatico continuo e dinamico basato sulla tempistica delle emissioni, diventa chiaro che l'edificio con basso contenuto di energia e carbonio incorporati presenta un impatto climatico nettamente inferiore, nonostante solo un modesto miglioramento a fine vita (area rappresentata tra le due linee e l'asse delle ascisse). È necessario, pertanto, concentrarsi su materiali con ridotti valori di *embodied energy* e *carbon* per poter ridurre ulteriormente le emissioni e i consumi operativi degli edifici attraverso miglioramenti dell'efficienza e l'approvvigionamento di energia pulita.

Accanto a queste strategie, come già anticipato nel Capitolo 1, l'economia circolare è un altro strumento che può essere d'aiuto per raggiungere gli obiettivi di sostenibilità ambientale nel settore delle costruzioni. Questa mira a ridurre i rifiuti, le emissioni e l'impatto ambientale progettando prodotti e servizi che siano durevoli, riutilizzabili, riciclabili e rigenerativi.

L'analisi LCA può supportare l'economia circolare fornendo una visione olistica e trasparente dei benefici ambientali e dei compromessi delle strategie circolari. Ad esempio, si possono valutare gli impatti dell'estensione della durata di vita di un prodotto, della sua riparazione o ristrutturazione, del suo riutilizzo o condivisione, del suo riciclaggio o compostaggio, o dell'utilizzo di materiali rinnovabili o riciclati (Lavagna, 2022).

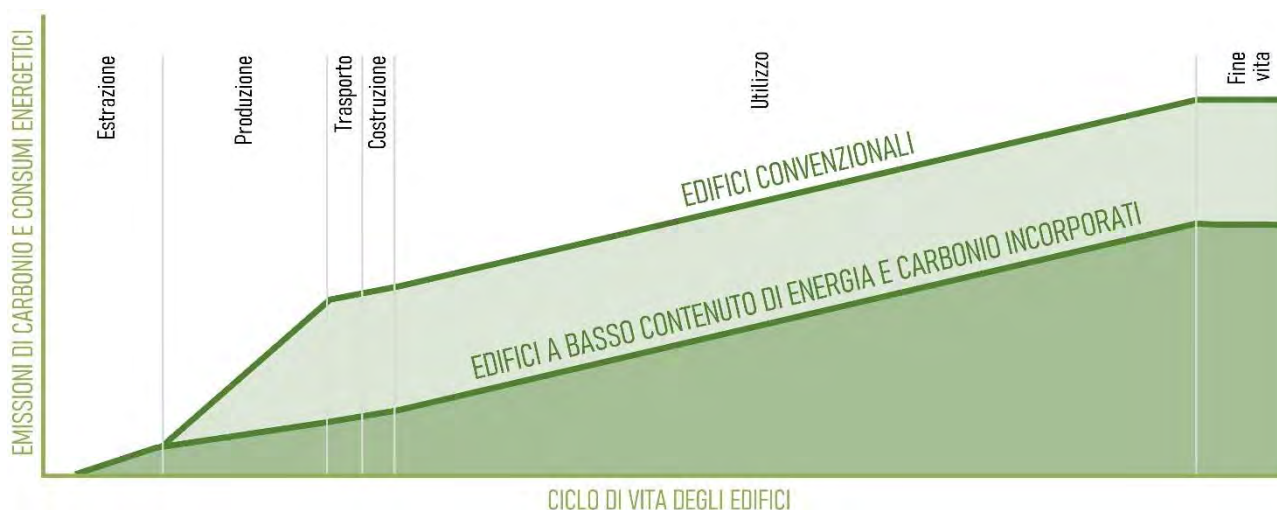


Figura 22. Andamento dei consumi di energia ed emissioni di carbonio durante il ciclo di vita di un edificio convenzionale e un edificio progettato tenendo conto dei valori di embodied carbon ed embodied energy. (King B. et al, 2022)

Al Box 21 vengono presentati alcuni vantaggi dell'utilizzo dell'analisi LCA e dei suoi indicatori per raggiungere gli obiettivi di economia circolare.

Una norma chiave nell'ambito della valutazione della sostenibilità ambientale degli edifici è la EN 15978. Emanata nel 2011 dal comitato tecnico CEN

350, tale norma copre tutti gli aspetti legati alla sostenibilità degli edifici (prestazioni ambientali, performances sociali e prestazione economica), misurata attraverso l'analisi Life Cycle Assessment, di cui definisce l'obiettivo, l'ambito e il metodo di applicazione (King et al., 2022).

Box 21. Vantaggi dell'analisi LCA per gli obiettivi di economia circolare.

ALLINEARSI AI PRINCIPI DI CIRCULARITÀ

Gli indicatori LCA possono aiutare ad allineare la progettazione, la produzione e il consumo di prodotti e servizi ai principi della circolarità. Indicatori come l'indice di circolarità dei materiali, il potenziale di riutilizzo e la biodegradabilità possono misurare la capacità di un prodotto o di un sistema di mantenere il proprio valore e la propria funzione, di ridurre l'impronta ambientale e di integrarsi nei cicli naturali. Questi indicatori possono informare le scelte progettuali, la selezione dei materiali e i modelli commerciali che promuovono la circolarità.

CONFRONTARE ALTERNATIVE E SCENARI

Gli indicatori LCA possono aiutare a confrontare diverse alternative e scenari per la transizione all'economia circolare. Indicatori come le emissioni di gas serra, il consumo di acqua e la tossicità possono valutare gli impatti ambientali delle diverse opzioni di prevenzione, riutilizzo, riciclaggio o recupero dei rifiuti. Questi indicatori possono supportare il processo decisionale e politico evidenziando i benefici e i compromessi delle diverse strategie circolari e identificando le soluzioni ottimali per i diversi contesti e stakeholder.

COMUNICARE E DIVULGARE GLI IMPATTI

Gli indicatori LCA possono aiutare a comunicare e divulgare gli impatti ambientali delle transizioni dell'economia circolare. Indicatori come le etichette ecologiche, le dichiarazioni ambientali di prodotto e le impronte di carbonio possono comunicare le prestazioni ambientali di prodotti e servizi a consumatori, investitori e autorità di regolamentazione. Questi indicatori possono migliorare la trasparenza, la credibilità e la responsabilità delle affermazioni sull'economia circolare e possono influenzare il comportamento dei consumatori, la domanda di mercato e gli incentivi politici.

MONITORAGGIO E VALUTAZIONE DEI PROGRESSI

Gli indicatori LCA possono aiutare a monitorare e valutare i progressi della transizione all'economia circolare a diversi livelli. Indicatori come il gap di circolarità, l'analisi dei flussi di materiali e il quadro di valutazione dell'economia circolare possono tracciare lo stato e le tendenze della circolarità a livello di prodotto, settore o nazionale. Questi indicatori possono fornire feedback, benchmark e obiettivi per le iniziative di economia circolare e possono misurare l'efficacia e l'impatto delle politiche e delle azioni di economia circolare.

All'interno di questa norma, l'analisi del ciclo di vita di un edificio o suo componente, a seconda delle fasi che si prendono in considerazione, si riferisce ad uno dei seguenti approcci (Crawford, 2011):

- from cradle to gate: ovvero dalla culla al cancello, comprende le fasi di estrazione delle materie prime, trasporto al sito di lavorazione e creazione del prodotto;
- from gate to gate: ovvero dal cancello al cancello, comprende le fasi di lavorazione e creazione del prodotto;
- from cradle to grave: ovvero dalla culla alla tomba, comprende le fasi prima descritte e aggiunge il trasporto al sito di costruzione e/o assemblaggio del prodotto, la fase d'uso e manutenzione e quella di fine vita, costituita da demolizione/decostruzione, trasporto in discarica e dismissione;
- from cradle to cradle: ovvero dalla culla alla culla, comprende tutto il ciclo di vita del prodotto, considerando le possibilità di riuso, riciclo o valorizzazione energetica.

L'analisi del ciclo di vita può essere effettuata con ognuno degli approcci appena descritti, a seconda degli obiettivi definiti all'inizio della stessa. Ad esempio, se l'analisi LCA viene utilizzata come strumento di valutazione ambientale da parte di un'azienda manifatturiera, i confini del sistema si fermeranno al cancello di uscita della fabbrica, essendo la porzione di interesse per la stessa.

Dalla serie di norme ISO 14040 è scaturito il sistema di composizione dell'analisi LCA, composto da fasi distinte, a ognuna delle quali è assegnato un codice alfanumerico, come indicato in Figura 24.

I risultati delle emissioni sono tabulati per ogni distinta fase del ciclo di vita di un prodotto. I risultati possono essere considerati per singola fase,

raggruppati per categoria o sommati per un totale. Ogni fase del ciclo di vita rappresenta una parte del totale e comporta un proprio grado di incertezza, ed entrambi i risultati saranno utili per guidare le nostre scelte.

1. A1-A3, Product stage. Questa prima fase tiene conto della produzione dei materiali che compongono un edificio, e conta per circa il 65-80% dell'impatto sull'intero ciclo di vita del prodotto. Questa è generalmente anche la fase meno soggetta a incertezza dei dati, essendo che i flussi di input e output possono essere misurati direttamente.

2. A4, Trasporto. Questa fase conta per circa il 5-15% dell'impatto sull'intero ciclo di vita del prodotto. Nell'analisi LCA viene solitamente determinata una distanza media di trasporto per un materiale specifico in base ai modelli di distribuzione, e vengono fatte ipotesi generalizzate sulle modalità di trasporto e sul conseguente uso di carburante. Alcuni programmi software per l'analisi LCA aggiustano questo fattore in base alla specifica ubicazione del progetto, ma data la natura della logistica moderna, la distanza effettiva dalla fabbrica al cantiere potrebbe non essere rappresentativa del percorso compiuto da un materiale.

3. A5, Costruzione. In questa fase vengono determinati dei valori medi riguardo all'utilizzo delle attrezzature, al tempo di realizzazione e all'energia consumata per i processi di costruzione. La variabilità dei metodi di costruzione e del tipo di sorgenti di energia utilizzate può determinare un'incertezza superiore al 100% del valore. Questa fase è, in media, responsabile del 5-10% dell'impatto sull'intero ciclo di vita.

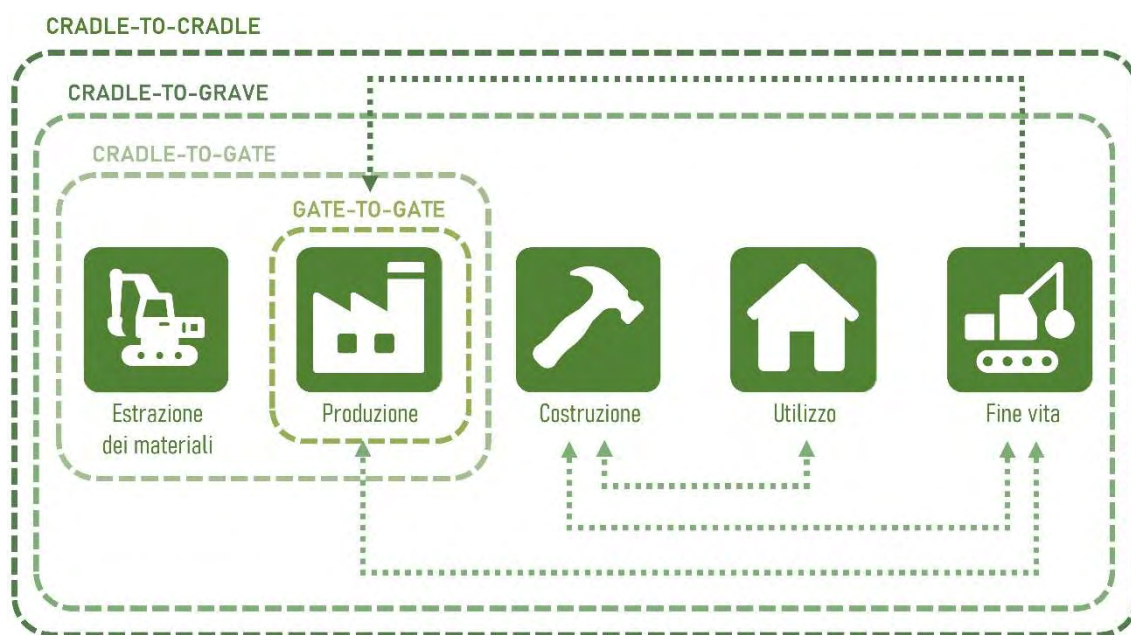


Figura 23. Schema delle fasi del ciclo di vita di un edificio. (elaborazione autori)

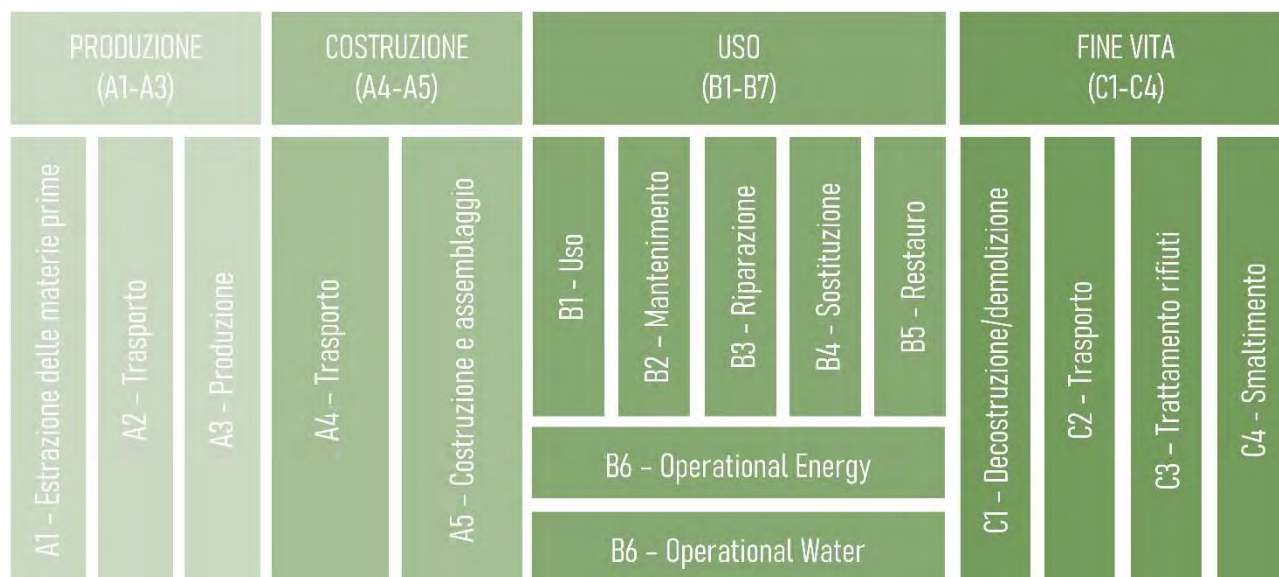


Figura 24. Componenti del sistema LCA secondo la Norma EN 15978. (elaborazione autori)

4. B1-B3, Uso, manutenzione e riparazione. Questa fase conta per circa il 5-10% dell'impatto sull'intero ciclo di vita. Nell'analisi LCA vengono effettuate delle ipotesi sulla tipologia e frequenza di manutenzione e riparazione del prodotto, basandosi sulle indicazioni dei produttori.

5. B4, Sostituzione. Questa fase tiene conto della fase finale del ciclo di vita di un prodotto, la quale non corrisponde necessariamente alla fase finale dell'intero edificio. Vengono fatte delle ipotesi sui tempi di sostituzione, in base alle raccomandazioni del produttore. I tempi di sostituzione effettivi dipendono dalla qualità dell'installazione, dall'usura, dalla manutenzione e dalla capitalizzazione, ipotizzando che il prodotto sostitutivo sia dello stesso tipo e abbia lo stesso profilo di emissioni dell'originale.

6. C1-C4, Fine vita. Incidenza del 5-25% degli impatti sull'intero ciclo di vita. In questa fase esistono due tipi di incertezza: la valutazione del tempo da assegnare alla durata di vita di un materiale da costruzione e la determinazione di ciò che accade al materiale alla fine della sua vita. I tempi di vita dei prodotti si basano in genere sulle raccomandazioni dei produttori, ma queste cifre non riflettono necessariamente la reale durata di vita utile, quanto piuttosto le garanzie e le questioni legali. Le esigenze dei proprietari degli edifici possono ridurre o allungare drasticamente la durata effettiva di molti materiali.

Una volta che un materiale ha raggiunto l'effettiva fine del suo ciclo di vita, nelle analisi LCA vengono ipotizzati i fattori produttivi necessari per smantellarlo e smaltirlo.

Un'altra serie di ipotesi viene utilizzata per calcolare le emissioni derivanti dallo smaltimento di materiali

che includono l'incenerimento, la messa in discarica o il riciclaggio. Le percentuali di materiali destinati a ciascuno di questi flussi di smaltimento sono medie generali e le emissioni derivanti da ciascun tipo di smaltimento sono anch'esse medie. Gli scenari di fine vita fanno ipotesi su ciò che accadrà molti decenni dopo, sulla base del comportamento odierno.

Le informazioni che apprendiamo dalle fasi A1-A3 sono relativamente accurate e molto importanti, poiché queste fasi rappresentano la maggior parte delle emissioni dei materiali (e quindi degli edifici realizzati con essi).

Prendere decisioni sulle scelte dei materiali a partire da questi dati è, quindi, prudente, di grande impatto e sempre più comune. Se facciamo scelte che riducono drasticamente le emissioni di Ar-Az, abbiamo fatto una differenza misurabile sul nostro impatto climatico e lo abbiamo fatto oggi, il momento più importante per farlo.

Sebbene l'incertezza e l'impatto complessivo delle emissioni diventino più confusi man mano che si esaminano i risultati delle fasi B e C, non dovremmo ignorarli. Mettere in discussione i risultati delle fasi B e C dell'ICA può spronarci a intraprendere studi più rigorosi e specifici su alcuni aspetti di un progetto, piuttosto che affidarci alle ipotesi e alle medie contenute nei calcoli sottostanti. Possiamo esplorare opzioni che superano le ipotesi dell'LCA attraverso il miglioramento della pratica, la creatività e il pensiero olistico dei sistemi.

3.3 LCA NEI PRINCIPALI GREEN BUILDING RATING SYSTEMS

Come già visto nel Capitolo 2, i Green Building Rating Systems (GBRSs) sono, da più di due decenni, i principali strumenti per determinare la sostenibilità ambientale degli edifici. L'uso dei GBRSs (BREEAM, LEED, HQE, DGNB, ecc.) si è pian piano diffusa sia nel settore privato che in quello pubblico, grazie ad un aumento di interesse verso temi di sostenibilità e di lotta al cambiamento climatico. Questi sistemi si basano sull'utilizzo di indicatori e punteggi legati a differenti aspetti della sostenibilità, per la definizione della valutazione ambientale di un edificio. I punteggi vengono poi sommati per ottenere il risultato finale complessivo, il quale rappresenta il livello di sostenibilità ambientale dell'edificio.

Essendo stati ideati in periodi e Paesi differenti, questi sistemi di valutazione, se utilizzati su uno stesso edificio, possono esprimere livelli differenti di sostenibilità, essendo ciascuno di essi basato su differenti criteri, metodologie di verifica per dimostrare il soddisfacimento del criterio, metodi di calcolo dei benchmark, valori soglia e pesatura.

Ad oggi, molti dei GBRSs presentano, comunque, almeno un criterio legato alla valutazione del ciclo di vita dell'edificio (LCA). Questa varia a seconda delle indicazioni espresse dai criteri, ossia le parti d'opera considerate per la valutazione, i confini di sistema e le categorie di impatto previste.

Per l'assegnazione del punteggio viene fissato un benchmark, ossia un valore soglia di riferimento (reference value) che deve essere raggiunto o superato. In aggiunta, il GBRS può fissare un range di valori in cui il progetto può ricadere, conseguendo un aumento del punteggio o una sua diminuzione/azzeramento. Il range è solitamente stabilito da due valori: uno inferiore al benchmark (limit value) e uno superiore (target value), definiti

secondo una metodologia elaborata in modo autonomo da ogni GBRS, come rappresentato negli esempi in Tabella 6.

L'analisi del ciclo di vita di un edificio, per sua natura, richiede un ampio quantitativo di dati e calcoli, ed un ingente numero di informazioni da raccogliere ed elaborare. Per questo motivo, l'analisi LCA completa viene solitamente effettuata solo dopo che la costruzione è stata realizzata e tutte le sue informazioni sono note. I GBRSs propongono spesso la possibilità di adottare la tipologia di analisi LCA semplificata, selezionando il livello di studio secondo gli obiettivi della valutazione.

L'inserimento della valutazione LCA e l'attenzione all'impiego di materiali con certificazione ambientale hanno portato all'introduzione nei GBRSs della richiesta di utilizzo di materiali e componenti con certificazione "Environmental Product Declaration" (EPD) (Capitolo 2), garantendo l'inserimento nel progetto di informazioni ambientali verificate. L'uso delle EPD in alcuni GBRSs è obbligatorio e viene regolato il numero, o la percentuale, di certificazioni richieste; oppure, viene inserito tra i requisiti di quei criteri che comprendono l'analisi LCA. Anche in questo caso il benchmark del criterio e il rispettivo punteggio sono decisi dall'ente certificatore: alcuni definiscono un numero preciso di EPD, segnalando anche quante certificazioni devono appartenere a diversi produttori, mentre altri indicano una percentuale di EPD in relazione agli elementi principali dell'edificio (strutture, involucro, finiture, ecc.) inclusi nella valutazione LCA (Lavagna, 2022).

L'utilizzo delle certificazioni ambientali EPD permette di semplificare l'applicazione delle caratteristiche principali di uno studio LCA completo. Questo è dovuto ad una facilità nel calcolo degli impatti complessivi tramite la somma degli embodied impacts, gli impatti ambientali associati ai materiali, con i consumi energetici calcolati rispetto la vita utile dell'edificio (operational impacts) (Tabella 7).

Tabella 6. Benchmark LCA in alcuni Green Building Rating Systems.

| GBRSs | Criteri considerati | Fasi considerate | Benchmark LCA | Punteggio |
|--------|--|--|--|---|
| BREEAM | Materiali - "Mat01 Impatti del ciclo di vita" | A1-3, A4-5, C1-4 Valutazione LCA per singole parti d'opera | Scala di valori: A+, A, B, C, D, E | 25.0% = 1 punto 62.5% = 2 punti 75.0% = 3 punti 80.0% = 4 punti 82.5% = 5 punti |
| LEED | "Materiali e risorse - MR1: Riduzione impatti del ciclo di vita" | A1-3-4, B1-7, C1-4 Valutazione LCA dell'intero edificio | Riduzione del 10% dei valori di impatto ambientale dell'edificio rispetto ad un modello di riferimento + Incremento dei valori di impatto ambientale non consentito se maggiore del 5% | 3 punti |

Tabella 7. Benchmark EPD in alcuni Green Building Rating Systems.

| GBRSs | Criteri considerati | Benchmark EPD | Punteggio |
|--------|--|---|--|
| BREEAM | Materiali – “Mat01 Impatti del ciclo di vita” | Scala di valori: A+, A, B, C, D, E | Uso EPD cradle-to-grave: A+ = 1 punto A = 1 punto B = 1 punto C = 0.5 punti D = 0.25 punti E = 0 punti Uso EPD cradle-to-gate: A+ = 0.75 punti A = 0.5 punti B = 0.5 punti C = 0.25 punti D = 0.125 punti E = 0 punti |
| LEED | “Materiali e risorse – MR2: Ottimizzazione materiali da costruzione - EPD” | EPD per il 50%, riferito al costo, del valore totale dei prodotti installati permanentemente nel progetto | 1 punto |
| ITACA | “Materiali – B.4.11. Materiali certificati” | Numero di EPD: no EPD, 1 EPD, 15 EPD, 25 EPD | no EPD = -1 punti 1 EPD = 0 punti 15 EPD = 3 punti 25 EPD = 5 punti |

Tuttavia, l' idoneità delle EPD come fonti di dati della LCA in sostituzione delle banche dati è a tutt'oggi ambito di analisi e verifica nei diversi contesti, anche alla luce della recente revisione della norma UNI EN 15804: 2019 (la quale definisce e regola gli EPD), che introduce modifiche nei moduli da includere nelle diverse fasi del ciclo di vita. Questa revisione stabilisce che entro 5 anni il campo di applicazione minimo di una EPD dovrà includere anche gli stadi di fine vita ed oltre (C1-C4 e D), in aggiunta alla fase di prodotto (A1-A3), che è l'unica obbligatoria nella versione attualmente vigente.

LEVEL(S)

Tra i diversi strumenti per la valutazione del livello di sostenibilità degli edifici si ricorda in particolare Level(s), presentato più nel dettaglio nel Capitolo 1. Questo è stato sviluppato dal Joint Research Center (JRC) su mandato della Direzione Generale Ambiente (DG Environment) della Commissione Europea con l'obiettivo di uniformare il quadro di valutazione della sostenibilità ambientale in ambito comunitario, fornendo degli strumenti e delle linee guida condivise al fine di contribuire al conseguimento degli obiettivi di decarbonizzazione prefissati dall'UE. Lo strumento si basa su una logica olistica, composta da una valutazione del ciclo di vita come strumento di misura della sostenibilità.



Figura 25. Fasi dello svolgimento di una valutazione del ciclo di vita nell'ambito del quadro Level(s). (elaborazione autori)

Level(s) consente sia di correlare le prestazioni dell'edificio nelle diverse fasi di progettazione, costruzione e occupazione, in modo da ottimizzare il risultato ottenibile (Figura 25), che di tenere conto della valutazione finanziaria dell'immobile e della stima dei costi d'investimento.

Basandosi sulla valutazione LCA, Level(s) eredita diverse caratteristiche di studio e analisi del progetto che si riflettono nella ricerca della massima affidabilità dei risultati, nella trasparenza dei dati raccolti e nell'uso di metodi di calcolo standardizzati.

Levels è il primo vero schema, sviluppato nell'ambito della politica ambientale europea, che si

basa sul concetto di ciclo di vita applicato a livello dell'intero edificio. Esso incoraggia l'utente sia all'esecuzione di una Life Cycle Assessment (LCA) che di una Life Cycle Cost Assessment (LCCA), ovvero la valutazione dei costi del ciclo di vita, poichè considerati gli strumenti migliori di valutazione della sostenibilità ambientale di un edificio. Il quadro fornisce gli strumenti per un'analisi di tipo semplificato che possa essere eseguita anche dagli utenti meno esperti. Come mostrato in Tabella 8, le diverse parti del quadro Levels integrano l'approccio life cycle al proprio interno.

Tabella 8. Approccio di Level(s) basato sul ciclo di vita.

| Parte del quadro Level(s) | Contributo all'approccio basato sul ciclo di vita |
|--|---|
| Definizione dell'obiettivo e dell'ambito di applicazione. | Descrizione funzionale dell'edificio e del suo utilizzo finale. |
| Dati del flusso di inventario. | Dati sulla costruzione dell'edificio (distinta dei materiali) e sui flussi idrici ed energetici lungo il ciclo di vita. |
| Indicatori che misurano gli impatti ambientali di un edificio. | Consentono di misurare gli impatti ambientali specifici con il ricorso a semplici indicatori comuni oppure a indicatori basati sui metodi di valutazione dell'impatto del ciclo di vita. |
| Scenari che descrivono l'aspetto del ciclo di vita di un edificio. | Orientamenti che guidano i professionisti dell'edilizia nell'analisi delle possibili prestazioni dei progetti edilizi in futuro e lungo il ciclo di vita. |
| Valutazione del ciclo di vita (LCA) dalla culla alla culla di un edificio. | Si tratta dell'opzione più avanzata all'interno del quadro. Gli utenti possono scegliere di procedere direttamente a una LCA oppure, in un primo momento, di intraprendere altre fasi separate della LCA proposte dal quadro. |
| Qualità e affidabilità dei dati d'inventario del ciclo di vita. | La qualità e l'affidabilità dei dati rappresentano una sfida cruciale nel garantire la massima rappresentatività dei risultati rispetto all'edificio oggetto della valutazione. |

3.4 STRUMENTI LCA E LCC PER UN'EDILIZIA SOSTENIBILE

La sostenibilità di prodotti o sistemi implica la stima degli impatti su ambiente, lavoratori, comunità locali, consumatori e attori della filiera. Riuscire a modellare le filiere nelle relazioni tecnologiche, di mercato e socio-economiche permette di identificare dove sia prioritario intervenire senza causare trasferimenti di impatto lungo la catena di fornitura e fra comparti ambientali diversi.

Il Life Cycle Thinking (LCT) è l'approccio con cui analizzare la sostenibilità ambientale, economica e sociale di prodotti, servizi, tecnologie e sistemi, considerando tutte le fasi del ciclo di vita (estrazione delle materie prime, produzione, uso, distribuzione e fine vita).

L'obiettivo del Life Cycle Thinking è quello di portare a una riduzione e ottimizzazione delle risorse utilizzate nel ciclo di vita di un prodotto, nonché a un abbassamento delle emissioni inquinanti e allo stesso tempo al miglioramento delle prestazioni socio-economiche del prodotto. Questo concetto permette di mettere in un'unica relazione la dimensione sociale, economica e ambientale.

L'approccio LCT trova applicazione attraverso strumenti come per esempio il Life Cycle Assessment, il Life Cycle Costing e il Social-Life Cycle Assessment. Si tratta di analisi incentrate su una prospettiva di analisi dell'intero ciclo di vita di un prodotto o servizio, e sviluppate per supportare i processi di decisione a tutti i livelli e in tutti i settori per quanto riguarda sviluppo del prodotto, produzione, appalti e smaltimento finale. Questi strumenti forniscono la possibilità di analizzare le

categorie di impatti legati alla sfera ambientale e sociale e gli effetti sulla sostenibilità nelle sue tre dimensioni, sociale, economica e ambientale.

A livello internazionale, è nata poi la Life Cycle Initiative, iniziativa privata-pubblica patrocinata dal Dipartimento dell'ambiente delle Nazioni Unite, che coinvolge numerosi attori con lo scopo di permettere l'uso globale di conoscenze credibili sull'approccio del ciclo di vita nei processi decisionali privati e pubblici. L'iniziativa rappresenta un punto di incontro tra esperti dell'approccio Life Cycle e gli utilizzatori, e facilita l'applicazione delle conoscenze sul ciclo di vita per raggiungere gli obiettivi di sviluppo sostenibile globale in maniera più efficiente e veloce.

Il pensiero del ciclo di vita viene reso operativo attraverso il Life Cycle Management (LCM). Questo approccio gestionale mette in pratica gli strumenti e le metodologie presenti nel paniere del Life Cycle Thinking. Si tratta di un sistema di gestione del prodotto che aiuta le imprese a ridurre al minimo gli oneri ambientali e sociali associati al prodotto o al portafoglio di prodotti durante il loro intero ciclo di vita.

A livello macro, gli approcci al ciclo di vita evitano di spostare i problemi da una fase all'altra del ciclo di vita, da un'area geografica all'altra e da un mezzo ambientale (per esempio la qualità dell'aria) a un altro (per esempio l'acqua o il suolo). A livello micro, consentono agli individui (ad esempio, progettisti di prodotti, fornitori di servizi, agenti governativi) di fare scelte a lungo termine, tenendo conto di tutti i mezzi ambientali (aria, acqua, terra).

Nel complesso, l'approccio LCT porta a diversi vantaggi per i vari soggetti coinvolti nel processo, alcuni dei quali indicati nel Box 22.

Box 22. Vantaggi dell'approccio Life Cycle Thinking per i diversi soggetti coinvolti nel processo.

VANTAGGI PER LE INDUSTRIE

Inserendo la prospettiva del ciclo di vita nella gestione e nello sviluppo del prodotto in una direzione di sostenibilità, l'organizzazione può raccogliere benefici di natura ambientale, di salute e sicurezza sul lavoro e di gestione della qualità. Incorporare la LCT può migliorare l'immagine del brand, aumentando il valore dell'azienda sul mercato. Inoltre, monitorando e gestendo le risorse in modo più accurato si possono avere dei riscontri economici positivi.

VANTAGGI PER I GOVERNI

Le iniziative prese in questa direzione potrebbero servire a rafforzare il proprio settore industriale e dei servizi, nei mercati regionali e globali. Potrebbe anche garantire benefici ambientali per tutta la società. Impegnandosi in programmi ed iniziative di sostegno dell'attuazione di approcci ciclo di vita, i governi possono mostrare responsabilità globale e aumentare la propria governance, attraverso la condivisione e la diffusione di opzioni di sostenibilità a livello mondiale.

VANTAGGI PER I CONSUMATORI

Lo sviluppo di approcci di ciclo di vita sposta il consumo in una direzione più sostenibile, offrendo una migliore informazione sull'acquisto, sui sistemi di trasporto, sulle fonti di energia, per orientare i consumatori sulla miglior scelta.

Integrando LCT e analisi LCA nella metodologia di progettazione degli edifici, è possibile valutare l'impatto del ciclo di vita di materiali da costruzione, componenti, sistemi e scegliere le migliori soluzioni che riducono l'impatto ambientale complessivo attraverso: il confronto tra sistemi alternativi di prodotto e produzione con la medesima funzione, il confronto degli impatti ambientali di un prodotto con uno standard di riferimento, l'identificazione degli stadi del ciclo di vita di un prodotto che presentano l'impatto ambientale dominante, la comparazione tra sistemi alternativi per la gestione di rifiuti, l'individuazione d'aree dove realizzare economie o livelli maggiori d'ottimizzazione, la comunicazione d'informazioni ambientali.

Di seguito vengono presentati due strumenti utili per l'integrazione del processo Life Cycle Thinking in ambito edilizio: la certificazione di prodotti per la bioedilizia ANAB e il progetto ARCADIA per la realizzazione di una banca dati italiana sull'LCA.

CERTIFICAZIONE ANAB

Conoscere l'impatto ambientale del ciclo di vita dei materiali è fondamentale per eseguire una scelta ponderata dei prodotti da utilizzare per la costruzione di un'opera edilizia, ed in questo contesto si colloca la certificazione ANAB-ICEA una delle storiche analisi e certificazioni che si basa proprio sulla valutazione del ciclo di vita dei materiali, di prodotti e di tecniche di costruzione per edifici ed ambienti sempre più sostenibili ed adatti alla vita.

ANAB è una Certificazione dei Prodotti per la Bioedilizia rilasciata in accordo con gli Standard dell'Associazione Nazionale Architettura Bioecologica. Valorizza i prodotti da costruzione, in un contesto in cui vi è una crescente attenzione da

parte di operatori e consumatori per i temi della tutela dell'ambiente. La certificazione promuove il miglioramento qualitativo dei prodotti da costruzione, evidenzia le caratteristiche dei prodotti, dei processi e delle tecnologie volte a ridurre l'impatto ambientale in ogni fase del ciclo di vita, e tutela l'utilizzatore finale riducendo tutti i possibili rischi per la salute e rendendo trasparente l'informazione ambientale sui materiali per la bioedilizia. Al Box 23 vengono presentati i passaggi seguiti per il rilascio della certificazione ANAB.

Possono essere certificati i prodotti da costruzione individuati nelle aree di prodotto definite nell'Allegato IV del Reg. UE n. 305/2011, che siano conformi ai criteri stabiliti nello Standard Generale ANAB-ICEA e negli Standard specifici per categoria di prodotto.

La certificazione ANAB è stata di recente analizzata rispetto alla conformità con i nuovi Criteri Ambientali Minimi (DM 23/06/2022), prestando particolare attenzione sulla definizione dei criteri per le materie prime da recupero o riciclo.

L'introduzione di materiale di scarto recuperato dai processi industriali o di rifiuti postconsumo riduce la quantità dei rifiuti e la domanda di risorse naturali vergini. Vengono però poste alcune condizioni di uso dei materiali recuperati dai processi industriali o di materiali riciclati: non devono essere classificati come rifiuti pericolosi, e le attività, i procedimenti e i metodi di recupero e riciclo dei materiali non devono costituire un pericolo per la salute dell'uomo e/o recare pregiudizio all'ambiente.

Per quanto riguarda i materiali da post-consumo, un aspetto importante è quello della verifica del livello di sostanze inquinanti presenti derivanti da vari trattamenti di finitura dei prodotti di provenienza.

Box 23. Iter della certificazione ANAB - Prodotto certificato per la bioedilizia.

VALUTAZIONE PRELIMINARE

Viene verificato che il prodotto risponda all'impiego dichiarato, sia ottenuto prevalentemente da materie prime naturali e/o materie seconde, e non rilasci sostanze pericolose per l'uomo e per l'ambiente. Applicando la metodologia Life Cycle Assessment (LCA), viene redatto il profilo ambientale del prodotto, attraverso il quale i flussi di materia e di energia identificati lungo l'arco del suo intero ciclo di vita vengono ordinati, classificati ed aggregati in diverse categorie di impatto ambientale (indicatori aggregati di impatto).

VERIFICA ISPETTIVA

Prevede la verifica ispettiva presso il sito produttivo, per accertare la corretta organizzazione e gestione dei processi di fabbricazione e delle procedure interne, suscettibili di compromettere la conformità del prodotto stesso ai requisiti definiti nello standard.

EMISSIONE DEL CERTIFICATO DI CONFORMITÀ

Viene rilasciato il Certificato di Conformità sulla base delle informazioni e dei dati raccolti nell'ambito del processo di valutazione e verifica.

IL PROGETTO ARCADIA

Il 27 settembre 2019 ha preso il via il progetto Arcadia, "Approccio ciclo di vita nei contratti pubblici e banca dati italiana LCA per l'uso efficiente delle risorse", che si è concluso ad ottobre 2023. Il progetto, sviluppato e coordinato da ENEA, nasceva all'interno del più ampio progetto "Mettiamoci in RIGA - Rafforzamento Integrato Governance Ambientale", coordinato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATM) e finanziato a del PON Governance e Capacità Istituzionale 2014-2020, in sinergia con la Linea di intervento L4 "Diffusione e utilizzo della metodologia LCA (Life Cycle Assessment) per un uso efficiente delle risorse" (ENEA, 2023b).

Il progetto si sviluppava seguendo due linee di attività principali: uno studio preliminare dell'attuale situazione e la realizzazione di una banca dati italiana per l'LCA. Queste due linee di attività vengono presentate nel Box 24.

Box 24. Presentazione delle azioni del progetto ARCADIA.

STUDIO PRELIMINARE

Lo studio preliminare della situazione italiana in ambito LCA ha avuto come obiettivo quello di analizzare i seguenti aspetti:

- lo stato di implementazione di approcci e metodologie per la valutazione degli aspetti ambientali ed economici e dei costi esterni del ciclo di vita legati agli appalti pubblici e acquisti verdi (nazionali ed europei) in applicazione della direttiva 2014/24/UE, recepita in Italia con D. Lgs. N. 50/2016;
- le novità introdotte in Italia in materia di prevenzione e gestione dei rifiuti, Green Public Procurement (GPP) e Criteri Ambientali Minimi (CAM), economia circolare, impronta ambientale e Regolamento Made Green in Italy.

BANCA DATI ITALIANA LCA

La banca dati ha previsto il coinvolgimento di 15 filiere e si rivolge a Pubblica Amministrazione, imprese, ONG, Università e settore della ricerca come strumento per:

- facilitare la diffusione della metodologia LCA e la mitigazione degli impatti;
- promuovere iniziative di sviluppo sostenibile ed economia circolare basate sull'approccio di ciclo di vita che coinvolgano gli stakeholder del territorio;
- sostenere l'elaborazione e la regolamentazione delle politiche pubbliche;
- promuovere l'acquisizione di etichette ambientali/certificazioni ambientali come Environmental Product Declaration (EPD), Product Environmental Footprint (PEF), utilizzabili da operatori pubblici e privati nell'ambito degli appalti verdi.

In collaborazione con il progetto "Mettiamoci in Riga" è stata istituita una cabina di regia che rappresentava gli interessi delle diverse Regioni e che supportava il progetto nella selezione delle filiere e nel coinvolgimento di stakeholder pubblici e privati.

Il processo di selezione delle filiere si è avvalso inoltre dei risultati dell'analisi di altri aspetti rilevanti per le filiere, quali:

- l'impatto ambientale e la produttività nazionale e regionale, i relativi bandi pubblici a sostegno del GPP;
- i legami con i CAM e con il Regolamento Made Green in Italy. (edilizia, energia, industria del legno e della carta, industria alimentare sono alcuni dei settori di interesse).

Da questa analisi, sono stati individuati quattro settori prioritari: edilizia-costruzioni, agroalimentare, energia, legno-arredo e le relative filiere.

Il progetto premeva su settori strategici individuati a livello europeo per lo sviluppo dell'economia circolare e risultava di interesse strategico anche per il Ministero della Transizione Ecologica nell'ottica di supportare l'applicazione dei Criteri Ambientali Minimi Edilizia del Piano Nazionale d'Azione per il Green Public Procurement.

La metodologia per gli studi di filiera aveva come riferimento gli standard ISO 14040-14044 e come obiettivo quello di ottenere dati robusti, riproducibili e sufficientemente rappresentativi dei materiali e dei processi che afferiscono a ciascuna filiera analizzata. Particolare attenzione per garantire una coerenza interna alla banca dati LCA è stata data alla valutazione della qualità dei dati ed ai criteri di revisione degli studi. Per la valutazione degli impatti è stato adottato il metodo europeo Environmental Footprint (versione 3.0). Per ogni filiera del progetto è stato previsto un rapporto tecnico che descrive lo studio svolto: tipologie di prodotti, imprese coinvolte, dati e metadati raccolti, dati di background, scelte metodologiche, assunzioni e risultati degli impatti.

La BDI-LCA, disponibile on line, è pubblica ed in continuo aggiornamento; si basa sul software europeo Soda4LCA e sarà registrata nel nodo europeo "Life Cycle Data Network" e nella piattaforma internazionale "Global LCA Data Access network". Al fine di garantire la compatibilità e la completezza delle informazioni, nell'ambito del progetto è stato sviluppato MEdit (Metadata Edit), uno strumento per la verifica, compilazione e gestione dei metadati del dataset in formato ILCD (International Reference Life Cycle Data). Il progetto ARCADIA ha previsto anche attività di networking con altri progetti ed iniziative in cui vengono raccolti dati LCA a livello nazionale, finalizzati all'ampliamento della BDI-LCA ad altre filiere. L'iniziativa MAGIS, ad esempio, cofinanziata dal

programma LIFE dell'Unione Europea e coordinata da ENEA, svilupperà alcuni dataset nel settore agroalimentare e serramenti in legno e pelletteria, che verranno inseriti nella banca dati. Sono state inoltre previste attività di coinvolgimento di aziende e Associazioni di categoria per incrementare la banca dati. Il Box 25 presenta alcune delle attività svolte all'interno del progetto Arcadia (ENEA, 2023a).

Il progetto, concluso nell'ottobre del 2023 ha portato allo sviluppo di 184 dataset inseriti nella BDI-LCA, oltre che manuali e procedure standardizzate per lo sviluppo degli studi LCA di filiera e per la revisione critica.

All'interno del progetto Arcadia, l'attività di studio della filiera costruttiva in acciaio, focalizzata sulla produzione di prodotti in acciaio destinati alla realizzazione di costruzioni civili e industriali ed infrastrutture in carpenteria metallica, è stata condotta da ENEA in collaborazione con Fondazione Promozione Acciaio e l'Università degli studi di Brescia, Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio, Ambiente e di Matematica.

Il gruppo di lavoro ha identificato diversi prodotti in acciaio (travi, angolari e profili cavi) su base sia tecnico-scientifica (profili conformi alla legislazione ed alle normative europee ed italiane vigenti in grado di garantire prestazioni adeguate alla realizzazione di costruzioni in carpenteria metallica) che di mercato, privilegiando i prodotti più rappresentativi del contesto produttivo nazionale. Arvedi Tubi Acciaio e Dufenco Travi e Profilati hanno contribuito all'implementazione della Banca Dati Italiana LCA del settore Edilizia - Costruzioni partecipando al progetto ARCADIA e mettendo a disposizione i propri dati. Arvedi ha condiviso informazioni sul proprio ciclo di produzione di profili cavi a sezione quadrata e rettangolare destinati ad impieghi strutturali (norme EN 10219-1/-2 e EN 10210-1/-2). Dufenco ha collaborato fornendo informazioni relative alla produzione di travi e angolari sempre impiegati nel settore costruzioni (norme EN10034, EN0024, EN10279, EN10056-2). I risultati dello studio hanno evidenziato un impatto complessivo pari a 0.93 kgCO₂eq/kg per travi ed angolari e di 1.6 kgCO₂eq/kg per i profili cavi.

Box 25. Sintesi delle attività svolte all'interno del progetto Arcadia.

IL GRUPPO DI LAVORO DI FILIERA

I Gruppi di Lavoro del progetto Arcadia erano costituiti da esperti di LCA e del settore, associazioni di categoria, regioni, imprese per ogni singola filiera, ed avevano funzione di:

- descrivere la filiera nelle sue componenti più significative e verificare la disponibilità di dati di settore (es. etichette ambientali, rapporti tecnici, progetti);
- valutare la qualità dei dati disponibili e coinvolgere un campione rappresentativo di imprese per la raccolta dati;
- confrontarsi sugli strumenti di sostenibilità disponibili per il settore (ad esempio: GPP, etichette ambientali, schema MGI), in un'ottica di futuro ampliamento della banca dati ad altre filiere.

ATTIVITÀ CON LE IMPRESE

Per le imprese che decidono di rendere disponibili i dati per lo sviluppo dei dataset, venivano attivati un supporto e una formazione specifica riguardo in particolare la raccolta dati e l'analisi LCA.

Template (fogli di lavoro) per la raccolta dei dati e dei metadati, venivano già preimpostati sullo specifico prodotto/componente (con processi, unità di misura, ecc.), in modo da semplificare il più possibile questa fase, che viene svolta prevalentemente a distanza.

Il Gruppo di Lavoro del progetto, insieme con le imprese partecipanti, ha steso un rapporto tecnico sullo studio LCA e una valutazione preliminare sui possibili percorsi da intraprendere.

OPPORTUNITÀ PER ASSOCIAZIONI ED IMPRESE

Tra le opportunità per associazioni ed imprese si aveva la possibilità di intraprendere un percorso informativo/formativo sul progetto e gli strumenti di economia circolare basati sull'LCA, con contenuti specifici (ove possibile) per il settore/filiera e tarato sul destinatario della formazione (associazioni e/o imprese). Il percorso aveva l'obiettivo di sensibilizzare il settore su questi temi, di coinvolgere le imprese nella raccolta dei dati per lo sviluppo dei dataset e di diffondere e valorizzare l'esperienza effettuata.

La partecipazione al progetto ha consentito, inoltre, la visibilità dell'impresa/associazione nella banca dati di Arcadia.

REPORT DI FILIERA

Per ogni filiera è stato prodotto un rapporto tecnico: tipologie di prodotti per cui sono stati raccolti i dati; imprese ed associazioni coinvolte; tipologie di dati e metadati raccolti, dati di background utilizzati; modalità di elaborazione e check dei dati; risultati degli impatti; scelte metodologiche ed assunzioni effettuate; template di raccolta dati e metadati per effettuare uno studio LCA e guida alla compilazione.

4 EDIFICI IN CARPENTERIA METALLICA: DALLA PROGETTAZIONE AL CANTIERE CON COSTRUZIONE OFF-SITE

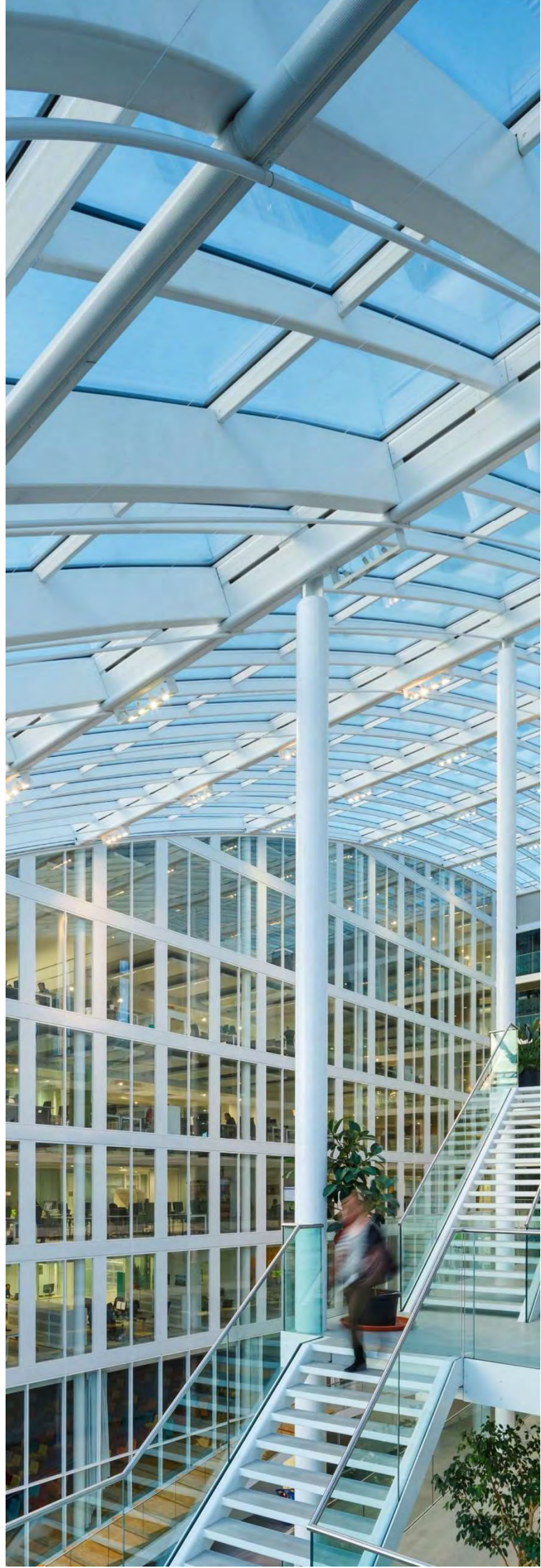
In un contesto globale in cui le sfere della sostenibilità, economia circolare e ambiente stanno affrontando cambiamenti epocali, si sta assistendo ad un cambio della prospettiva anche in ambito delle costruzioni, sin dalla fase progettuale. Accanto a normative e strumenti di valutazione, si sono diffuse soluzioni tecnologiche che supportano e promuovono un nuovo modo di costruire.

La costruzione off-site è un sistema volto all'ottimizzazione delle attività di costruzione, consentendo il trasferimento delle attività critiche costruttive in fabbrica per poi procedere all'assemblaggio diretto in cantiere. Riduzione delle tempistiche di cantiere, maggiore efficienza energetica, certificazione dei materiali, maggiore flessibilità nell'utilizzo degli spazi realizzati, adattabilità e riduzione dei tempi di ritorno dell'investimento sono solo alcuni dei principali vantaggi di tale sistema.

Il sistema Struttura/Rivestimento (S/R) è tra i sistemi off-site il più diffuso e tecnologicamente avanzato, in grado di rispondere agli odierni requisiti prestazionali.

Parole chiave: *progettazione integrata, carpenteria metallica, sistema S/R, casi studio.*

Sede Bruxelles Environnement, Belgio. Committente: Bruxelles Environnement - Progetto architettonico: Cepezed, Philippe Samyn and Partners (local architects) - Progetto strutturale: Ingenieursbureau Smitwesterman; Ingenieursbureau Meijer (local engineers) - General contractor: Van Laere NV - Foto: Jannes Linders - Cepezed



4.1 LA PROGETTAZIONE INTEGRATA COME MUST HAVE PER EDIFICI SOSTENIBILI E RESILIENTI

Come illustrato nei capitoli precedenti, il settore delle costruzioni necessita di cambiamenti strutturali al suo interno, per poter superare le sfide di decarbonizzazione, sostenibilità e resilienza. Si rende sempre più necessario, quindi, lo sviluppo di un processo costruttivo efficace e funzionale, che tenga conto dell'interazione tra i diversi fattori coinvolti. La progettazione integrata risponde perfettamente a questa esigenza, affermandosi come approccio completo alla progettazione supportato dalla collaborazione tra le parti coinvolte nel processo di progettazione, costruzione e gestione di un'opera. Questo metodo è utilizzato principalmente nel campo dell'edilizia sostenibile, in quanto migliora significativamente le possibilità di successo dei progetti edilizi ad alte prestazioni. Infatti, la partecipazione attiva di tutte le parti interessate permette di ricercare soluzioni ottimali, innovative e sostenibili, in relazione all'intero ciclo di vita dell'edificio.

L'approccio alla progettazione integrata in edilizia permette di affrontare e risolvere in modo efficace diverse problematiche. Da un lato, consente di implementare soluzioni costruttive che minimizzino l'uso delle risorse energetiche e ambientali. Dall'altro, garantisce al committente un processo costruttivo "olistico", alimentato dalla sinergia di diverse professionalità e orientato all'obiettivo.

Il processo edilizio deve poter contare su una collaborazione multidisciplinare in ogni fase del progetto, dall'inizio alla fine, che si tratti di costruire o di ristrutturare un edificio. In particolare, questa necessità nasce dalla consapevolezza di voler costruire edifici ad alto comfort abitativo, che rispettino il contesto ambientale.

Per capire cos'è la progettazione integrata, è utile innanzitutto caratterizzare il processo di progettazione più convenzionale. Il processo di progettazione tradizionale ha una struttura prevalentemente lineare, con i contributi dei professionisti che avvengono in maniera sequenziale. Le possibilità di ottimizzazione durante le fasi della progettazione tradizionale sono limitate, mentre l'ottimizzazione durante le fasi successive del processo è spesso problematica o addirittura impossibile. I risultati di questa tipologia di progettazione riflettono un processo che risulta essere rapido e semplice nelle fasi iniziali, ma che rivela elevati costi di gestione e una qualità dell'ambiente interno al di sotto degli standard abitativi (Sesana, 2022).

Nella progettazione tradizionale, l'inclusione dei sistemi per il miglioramento di performance energetiche avviene solamente in una fase avanzata del progetto, comportando aumenti marginali delle prestazioni e un considerevole aumento dei costi di capitale, frutto di un'incompatibilità dei sistemi stessi con le decisioni iniziali.

Nel processo di progettazione integrata, invece, si ha una maggiore collaborazione tra le parti coinvolte, con il cliente che assume un ruolo più attivo, l'architetto che diventa un leader del team, e gli ingegneri strutturali, meccanici ed elettrici che collaborano fin dalle prime fasi della progettazione. La progettazione integrata non contiene elementi radicalmente nuovi, ma integra approcci ben collaudati in un processo sistematico. Le competenze e l'esperienza di tutti i soggetti partecipanti al progetto possono essere integrate a livello di progettazione concettuale fin dall'inizio del processo. Se realizzato in uno spirito di cooperazione tra gli attori chiave, il risultato è una progettazione altamente efficiente con costi incrementali di capitale minimi, talvolta nulli, e costi di esercizio e manutenzione ridotti nel lungo periodo. Il Box 26 presenta le principali differenze tra progettazione tradizionale e progettazione integrata.

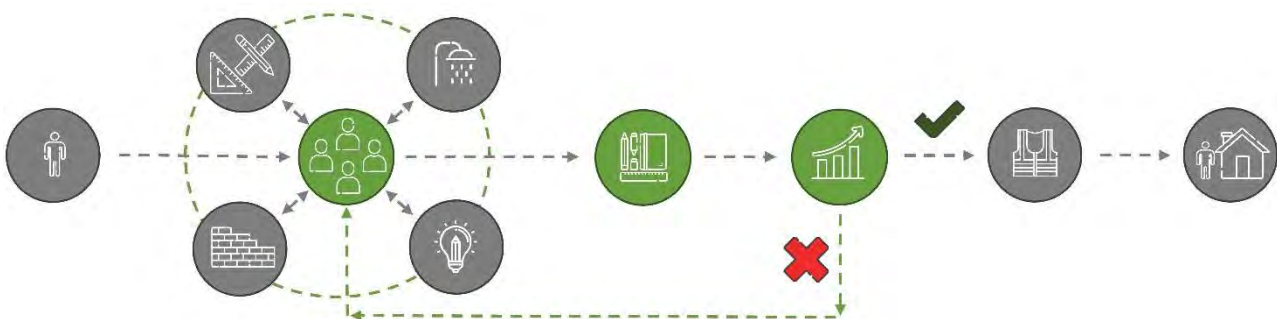


Figura 26. Rappresentazione del processo di progettazione integrata. (Sesana, 2022)

Box 26. Principali differenze tra progettazione tradizionale e progettazione integrata.

| PROGETTAZIONE TRADIZIONALE | PROGETTAZIONE INTEGRATA |
|--|---|
| Le discipline progettuali (architettura, strutture, impianti, ecc.) sono considerate separatamente, come sistemi isolati. | Si enfatizzano le connessioni tra le varie discipline e si migliora la comunicazione tra professionisti e stakeholder per tutta la durata del progetto. |
| Le diverse figure coinvolte intervengono solo quando è necessario e le decisioni vengono prese da un numero limitato di stakeholder. | Le decisioni sono prese congiuntamente da tutti i partecipanti al processo. |
| Si dedica poco tempo alle attività di pianificazione e progettazione, con ripercussioni negative sulle fasi successive. | Si prevede un maggiore investimento in termini di tempo ed energia nella fase iniziale di progettazione, per un migliore coordinamento delle fasi successive. |
| Le possibilità di ottimizzazione sono ridotte. | Si aumenta l'ottimizzazione e minimizza i rischi di ritardi e modifiche in fase di costruzione e di sfioramento dei costi. |
| Il processo si conclude con la fase di costruzione dell'opera. | Il processo continua anche dopo la fase di costruzione dell'opera, per un Facility Management più efficiente. |

I primi esempi di progettazione integrata risalgono agli anni '70 in Olanda, dove, per rispettare i requisiti di riduzione dei consumi energetici degli edifici introdotti in quegli anni, si era reso necessario coinvolgere fin dalle fasi iniziali di progettazione tutti gli attori del processo edilizio, al fine di garantire una corretta progettazione. In seguito, la progettazione integrata si è diffusa anche nel resto dei Paesi europei, in Nord America e nel resto del mondo, grazie anche alla crescente importanza assunta dal tema sostenibilità e all'adozione di normative ambientali sempre più stringenti.

L'esperienza dimostra che la discussione interdisciplinare aperta e l'approccio sinergico spesso portano a miglioramenti nello schema funzionale dell'edificio, nella selezione dei sistemi strutturali e nell'espressione architettonica, oltre che migliori performance energetiche (Sesana, 2022).

Il processo si basa sull'osservazione, ampiamente dimostrata, che i cambiamenti e i miglioramenti in qualsiasi processo di progettazione sono relativamente facili da apportare all'inizio del processo, ma diventano sempre più difficili e dirimpenti man mano che il processo si svolge. Inoltre, l'esistenza di una roadmap definita dà credito e forma al processo, rendendolo più facile da promuovere e implementare. Gli elementi tipici della progettazione integrata sono i seguenti:

1. lavoro interdisciplinare tra architetti, ingegneri, specialisti e altri attori rilevanti fin dall'inizio del processo di progettazione;
2. il supporto di specialisti in materia (ad esempio per l'illuminazione diurna, l'accumulo termico, il comfort, la selezione dei materiali, ecc.);
3. la discussione dell'importanza relativa dei vari aspetti prestazionali e la creazione di un consenso in merito tra cliente e progettisti;

4. le restrizioni di budget sono applicate a livello dell'intero edificio, senza una rigida separazione dei budget per i singoli sistemi che lo compongono.

5. un'articolazione degli obiettivi e delle strategie di prestazione, da aggiornare nel corso del processo da parte del team di progettazione.

6. la verifica delle varie ipotesi progettuali è ottenuta attraverso l'uso di simulazioni energetiche durante l'intero processo, per fornire informazioni obiettive sull'aspetto prestazionale dell'edificio.

Sulla base dell'esperienza maturata in Europa e in Nord America, la progettazione integrata è caratterizzata da una serie di cicli di progettazione per ogni fase del processo, separati da transizioni con decisioni sulle tappe fondamentali. In ognuno dei cicli di progettazione partecipano al processo i membri del team di progettazione interessati.

Dedicare più tempo e risorse durante le prime fasi della progettazione permette di ottenere un risultato finale ottimale, evitando costi aggiuntivi e interruzioni dei lavori e risultando economicamente vantaggioso se si considera il costo finale valutato su tutto il ciclo di vita di un edificio. Al Box 27 vengono elencati alcuni dei principali vantaggi della progettazione integrata nel settore delle costruzioni. Il fine della progettazione integrata non consiste nell'utilizzo di un particolare sistema costruttivo o nell'ottenimento di una specifica certificazione, ma si concentra sulla creazione di processi produttivi in grado di ottimizzare simultaneamente vari aspetti come la forma e la dimensione degli elementi, la personalizzazione del prodotto, la conformità a diverse tipologie edilizie, l'adattabilità alle tecniche di costruzione variabili e la possibilità di accogliere successive modifiche e trasformazioni, la riduzione dei costi di trasporto e movimentazione, la velocità di realizzazione, la facilità di manutenzione, smontaggio e riciclaggio (FPA, 2020).

Box 27 - Vantaggi della progettazione integrata.

SCAMBIO DI INFORMAZIONI



La progettazione integrata permette di **ottimizzare lo scambio di informazioni fin dalle prime fasi** progettuali, tra il facility manager, che prende in considerazione i bisogni degli utenti futuri, i progettisti e gli operatori tecnici, con conseguente aumento del livello di soddisfazione degli utenti e miglioramento della prestazione in esercizio dell'edificio.

PRESTAZIONI ENERGETICHE



La progettazione integrata permette di ottenere elevate prestazioni energetiche, raggiunte principalmente attraverso: una **buona progettazione dell'involucro edilizio**, una **produzione di energia rinnovabile** e un'**installazione mirata degli impianti**. L'involucro edilizio e i sistemi impiantistici infatti contribuiscono a garantire un ambiente interno confortevole e caratterizzato da un sufficiente livello della qualità dell'aria, da condizioni termiche soddisfacenti e da una buona integrazione dell'illuminazione diurna abbinata a un efficace controllo solare. L'ottimizzazione della forma dell'edificio, la scelta del corretto orientamento e la composizione corretta delle facciate, riducono la necessità di sistemi attivi e di meccanismi di controllo avanzati.

RIDUZIONE DEGLI ERRORI



Una pianificazione organizzata porta a una **riduzione degli errori** di costruzione, da cui deriva una minore insorgenza di contenziosi e quindi un maggiore risparmio economico. Inoltre, sempre grazie alla pianificazione integrata, **si riducono i rischi** dovuti al mancato coordinamento delle attività in cantiere, con conseguente **maggiore sicurezza** durante la realizzazione dell'opera.

TEMPISTICHE



La progettazione integrata permette, fin dalle fasi iniziali, di effettuare un'efficace **pianificazione delle tempistiche** di progettazione e di realizzazione di un'opera, con imbastimento di un cronoprogramma delle lavorazioni e dei professionisti chiamati a intervenire per la costruzione di un edificio. Questo permette di mantenere entro i livelli prestabiliti il budget di progetto.

VALORE DI MERCATO



La progettazione integrata agevola il raggiungimento di elevate prestazioni energetiche, **con conseguente incremento del valore di mercato** e **riduzione delle spese energetiche** di un edificio. I primi a beneficio del proprietario dell'immobile, il quale vede il costo di vendita e locazione del proprio bene più alto rispetto ad altri edifici comparabili. La riduzione delle spese energetiche, invece, va a beneficio di chiunque usufruisce dell'immobile, che sia questo proprietario o solamente inquilino.

VITA UTILE DELL'EDIFICIO



La progettazione integrata permette di **umentare la manutenibilità**, ovvero la capacità di rimanere prestante, di un edificio, dove le parti che lo compongono interagiscono in modo efficiente, logico e armonioso, rendendo **più semplice programmare interventi di manutenzione** periodici, poco invasivi e economici e, soprattutto, duraturi.

La progettazione integrata può offrire, inoltre, l'opportunità di incorporare strategie di resilienza all'interno dei progetti. Nell'identificare e valutare le strategie di progettazione sostenibile, che offrono anche vantaggi in termini di resilienza, il team di progetto può prendere in considerazione quanto segue (FPA, 2023):

- comprendere gli impatti regionali: identificare gli impatti climatici rispetto alla geolocalizzazione dell'edificio;
- valutare gli obiettivi di prestazione: capire come si comporta l'edificio in condizioni climatiche estreme;
- condurre un'analisi di scenario: analizzare come l'edificio risponde agli impatti climatici previsti;
- considerare le strategie di progettazione resiliente: valutare strategie di progettazione

resilienti che forniscano risposte passive o efficienti a eventi climatici più estremi, per mantenere il comfort degli occupanti evitando un aumento del consumo energetico.

Il settore delle costruzioni, per sua natura, presenta un elevato livello di flussi informativi che necessitano di un'efficace organizzazione del lavoro e un coordinamento agevole di tutte le figure coinvolte nel processo di costruzione. Pertanto adottare sistemi quali la progettazione integrata, permette di raggiungere una gestione efficiente ed efficace delle informazioni, coinvolgendo tutti i partecipanti del processo fin dalle prime fasi, secondo una visione strutturata ma anche flessibile, per riuscire ad affrontare nel migliore dei modi le problematiche derivanti del processo di cambiamento climatico.

4.2 EDIFICI A SECCO IN ACCIAIO: CARATTERISTICHE E VANTAGGI

Costruire un edificio in acciaio richiede l'adozione di processi industrializzati nella produzione di componenti e nella loro successiva connessione in un sistema tridimensionale complesso, svolto in un cantiere moderno con procedure e logistica "just in time". L'obiettivo è quello di garantire una costruzione sostenibile dal punto di vista ambientale e della sicurezza, ottimizzando il consumo di materia ed energia durante le diverse fasi costruttive. Al giorno d'oggi, l'uso dell'acciaio non è limitato alla realizzazione della struttura portante o degli elementi di finitura, ma può essere esteso anche ai solai e ai tamponamenti, mantenendo sempre un occhio di riguardo durante la scelta dei materiali da utilizzare, per garantire la sostenibilità dell'opera, considerando fattori come il consumo di risorse, la capacità di riciclo e la durabilità (FPA, 2023).

Oltre al materiale, la sostenibilità è legata ai tempi di messa in opera e, soprattutto, ai processi operati sui prodotti e i relativi trattamenti, come ad esempio la zincatura a caldo, le nanotecnologie per la verniciatura e la pianificazione della manutenzione per garantire la durata del manufatto. Una maggiore attenzione a questi aspetti permette di ridurre i costi e la produzione dei rifiuti, con conseguenti vantaggi sia per gli attori della filiera delle costruzioni che per l'ambiente.

Gli ultimi decenni, poi, sono stati caratterizzati da un sempre più ampio focus sui temi di leggerezza e industrializzazione degli elementi edilizi. Si sono diffusi nuovi materiali e nuove tecnologie che hanno permesso di effettuare un ulteriore passo avanti nel processo di sviluppo sostenibile. A questo proposito si è iniziato a diffondere un nuovo sistema costruttivo in acciaio a secco, caratterizzato dall'accostamento di diversi materiali e strati, ognuno funzionale a una specifica prestazione (isolamento, struttura, tenuta ad aria/acqua). Questi, essendo indipendenti tra di loro, possono essere intercambiati in base alle necessità e richieste del progettista.

I sistemi di costruzione a secco, a differenza dei sistemi tradizionali, non richiedono l'uso di acqua o materiali di connessione che necessitano di tempo per consolidarsi, come ad esempio collanti e sigillanti. Invece, i componenti dei sistemi a secco sono già industrializzati e pronti all'uso come un sistema plug and play, con assemblaggio tramite giunzioni saldate o bullonate per creare l'intero edificio o parti della costruzione.

Per adottare questa tecnica di costruzione, è essenziale che durante la fase di progettazione di ogni singolo elemento venga considerata

l'integrazione e il collegamento tra i vari elementi costruttivi, per agevolare l'assemblaggio e favorire un futuro smontaggio e riutilizzo. Infatti, un'edificazione stratificata a secco è costituita da tre componenti funzionali collegabili tra loro: la struttura, il rivestimento esterno e quello interno.

Questo nuovo metodo di costruzione e gestione del cantiere sta iniziando a sostituire sempre di più le tecniche costruttive tradizionali, quali laterocemento, soprattutto in settori immobiliari particolari dove si ha la necessità di flessibilità e velocità costruttiva. Queste trasformazioni tecniche sono rilevabili dalle risposte del mercato, in cui entrano sempre più prodotti e componenti della famiglia Struttura/Rivestimento (S/R) che consentono di raggiungere una più vasta gamma di prestazioni progettate (Sesana, 2022).

I dati di mercato rilevano una sempre più crescente richiesta di queste tecnologie, e i requisiti ambientali di risparmio energetico e decarbonizzazione delle costruzioni favoriscono l'utilizzo dei sistemi S/R a discapito dei metodi tradizionali proprio perché appropriati a risolvere diversi tipi di problemi progettuali.

Dal punto di vista tecnologico, i sistemi S/R seguono un processo meccanico: gli elementi esistono già, sono stati prodotti nella quasi totalità industrialmente, e in cantiere devono essere connessi gli uni agli altri a secco, cioè senza l'utilizzo di malte o leganti in genere, ma meccanicamente, solitamente tramite unioni bullonate o saldate.

I telai portanti dei sistemi S/R vengono posti in opera con grande velocità, raggiungendo subito la copertura. Molti pre-assemblaggi vengono effettuati a terra per consentire condizioni di lavoro più sicure agli operai. Una volta posizionato lo scheletro portante e realizzata la copertura, si passa all'assemblaggio dei tamponamenti, sia verticali che orizzontali, attraverso un processo di connessione in "orizzontale" di vari strati leggeri di grande dimensione.

I dieci punti significativi del paradigma costruttivo S/R sono (Imperadori, 2010):

1. differenziazione e miglioramento prestazionale;
2. ottimizzazione nella scelta dei materiali;
3. costruzione di pacchetti tecnologici;
4. indipendenza funzionale;
5. definizione progettuale;
6. assemblaggio e smontaggio;
7. durabilità dinamica;
8. funzionalità dinamica;
9. impatto ambientale sostenibile;
10. applicabilità di management avanzato.

Queste caratteristiche definiscono l'approccio innovativo che costituisce i sistemi S/R. Le combinazioni materiche consentono di resistere alle sollecitazioni esterne grazie sia alle prestazioni

dei singoli prodotti, che alla combinazione degli stessi, permettendo di ottenere un sistema leggero ed elastico.

A questi dieci paradigmi è possibile aggiungerne altri quattro (Box 28) frutto della meccanica costruttiva che caratterizza i sistemi S/R, la quale

permette di rispondere alle richieste sempre più importanti di velocità di costruzione ed economia, senza trascurare le prestazioni finali del sistema e l'estetica compositiva del progetto.

Box 28 I quattro corollari aggiuntivi del sistema costruttivo a secco Struttura/Rivestimento (S/R).

VERIFICABILITÀ PRESTAZIONALE, MODELLABILITÀ INGEGNERISTICA E AFFIDABILITÀ

Si intende la possibilità di verificare con attendibilità sull'edificio realizzato le previsioni di prestazioni di progetto. La modellabilità ingegneristica e l'esattezza delle prestazioni dei singoli strati o di pacchetto composito consentono di optare per scelte progettuali all'interno di un'ampia rosa di varianti. Una corretta esecuzione e un appropriato dettaglio consentono di avere in opera prestazioni corrispondenti a quelle teoriche.

OTTIMIZZAZIONE DELLE PROCEDURE DI CANTIERE ED EVOLUZIONE ERGOTECNICA

Nelle fasi di costruzione di un edificio S/R si riscontrano molte analogie di filiera con industrie di altri settori, in cui è evidente l'ottimizzazione delle lavorazioni e dei processi. In primis la precisione, legata alla discretizzazione degli elementi di connessione, che non consente recuperi in fase d'opera e richiede esattezza operativa. La velocità, direttamente collegabile alla dimensione e al peso degli elementi costruttivi, deve essere affiancata da una perizia operativa e da una preparazione delle maestranze.

IMPLEMENTABILITÀ TECNOLOGICA NEL TEMPO E CICLICITÀ DI FUNZIONAMENTO

La flessibilità tecnologica bidimensionale, intesa come la possibilità di modificare, trasformare o sostituire le superfici e le porzioni di pacchetto, favorendo il metodo di economia circolare.

La maggiore facilità di disassemblaggio delle singole porzioni permette di individuare il più facile intervento sugli elementi impiantistici e sul loro adeguamento nel tempo.

RIDUZIONE DELL'ENTROPIA DEL SISTEMA COSTRUTTIVO E RISPARMIO DI RISORSE.

L'embodied energy nei sistemi S/R, con struttura in acciaio, è decisamente inferiore a quella dei sistemi tradizionali latero cementizi. La scomponibilità del sistema S/R dà la misura del suo potenziale sostenibile. Ulteriormente amplificabile nel futuro da materiali e componenti derivanti da cicli di produzione e recupero.

I quattro corollari presentati nel Box 28 consentono una riflessione rispetto all'evoluzione meccanica della tecnica costruttiva, derivata dalle tecnologiche tradizionali in legno prima e in acciaio poi. Si registra, quindi, un'evoluzione del settore dei componenti da costruzione, il quale presenta componenti "seriali" adatti a divenire porzioni di architetture uniche.

COMPONENTI

Il sistema S/R è suddivisibile in cinque macro-entità distinte: involucro esterno, stratificazione di intercapedine isolata esterna, struttura portante, stratificazione di intercapedine isolata interna, involucro interno (Figura 27). Ogni componente del sistema S/R è di carattere seriale e facilmente reperibile sul mercato.

A esse sono richieste precise funzioni e performance, sia ai singoli materiali o strati che ai pacchetti compositi, e la loro chiara differenziazione fisica permette di evitare ponti termici o acustici, dilatazioni termiche e aumentare le performance di resistenza in caso di incendi.

La componente portante dell'edificio è una struttura a telai in acciaio, opportunamente controventata, la

quale consente di ottimizzare l'uso dei materiali, che si concentrano lungo solo le direttrici di sforzo, reagendo sia alle sollecitazioni verticali che orizzontali.

Gli scheletri portanti in acciaio sono la tipologia di struttura più frequente e facile da ritrovare, specialmente negli edifici multipiano, in cui la leggerezza, la resistenza del materiale e la possibilità di avere grandi luci diventano fattori determinanti per la buona riuscita di un progetto. Un'alternativa è costituita dai profili sottili formati a freddo. Questi possono rappresentare una soluzione leggera, rapida ed economicamente vantaggiosa.

Gli involucri, esterno ed interno, sono costituiti da materiali e componenti di derivazione industriale, certificati e garantiti, e sono progettati secondo le specifiche funzioni derivanti dalle sollecitazioni fisiche che devono sopportare. Gli involucri sono caratterizzati da una struttura secondaria, diversa da quella primaria portante, e da rivestimenti di vario tipo a essa relativi, da qui il termine S/R (struttura e rivestimento).

Le intercapedini che si formano tra gli involucri e la struttura portante sono caratterizzate dalla

presenza di elementi fonoisolanti, fonoassorbenti, termoisolanti e materiali inibitori di incendio, oltre che a guaine e teli con funzioni diverse. Inoltre, la tecnologia costruttiva in carpenteria metallica garantisce un alto grado di integrazione impiantistica.

Il sistema S/R garantisce ottime performance energetiche degli edifici, grazie ad un comportamento reattivo, che sfrutta l'elasticità dei pacchetti o le caratteristiche fisiche dei singoli materiali, in netta contrapposizione al comportamento inerziale tipico delle soluzioni massicce. Nel sistema S/R gli strati e i pacchetti costruttivi sono connessi a strutture deformabili elasticamente, e possono essere accoppiati a elementi attivi energeticamente, come pannelli fotovoltaici, solari termici, strati a inerzia termica artificiale da inserire all'interno dell'involucro.

Partendo dall'esterno l'involucro edilizio S/R è costituito da un assemblaggio dosato di materiali poco massivi e quindi dotati di scarsa capacità termica. Questi si giustappongono in strati in cui sono demandati funzioni diverse: isolamento termico, acustico, freno/barriera al vapore, protezione meccanica e chimica della facciata, tenuta all'aria, tenuta all'acqua ed altre funzioni.

VANTAGGI DELLA TECNOLOGIA COSTRUTTIVA A SECCO IN ACCIAIO

Il sistema costruttivo a secco, che si basa sull'assemblaggio di elementi industrializzati in acciaio, rappresenta una soluzione innovativa ed efficiente per la realizzazione di edifici. Grazie alla sua natura modulare, questo tipo di costruzione permette di gestire con grande precisione i tempi di realizzazione, ridurre l'impiego di risorse e minimizzare la produzione di rifiuti. In particolare, il sistema a secco in carpenteria metallica consente di soddisfare elevati standard prestazionali in termini di sicurezza sismica, durabilità ed eco-efficienza, garantendo allo stesso tempo la facile integrazione di sistemi isolanti ed impianti. In questo modo, è possibile rispondere ai requisiti energetici, acustici e di resistenza al fuoco richiesti dalle normative vigenti. Un ulteriore vantaggio offerto dalle costruzioni in acciaio è rappresentato dalla possibilità di riutilizzare i componenti e di riciclare completamente il materiale, contribuendo alla sostenibilità ambientale dell'intero processo edilizio. Tutto ciò fa delle costruzioni a secco in acciaio una soluzione altamente competitiva, in grado di soddisfare le esigenze di qualità, efficienza e sostenibilità del mercato attuale (FPA, 2020).

Nel Box 29 vengono discussi i principali vantaggi delle costruzioni off-site a secco in acciaio; nel Box 30, invece, vengono presentati nel dettaglio i vantaggi del sistema secondo le tre sfere della sostenibilità (ambientale, sociale ed economica).

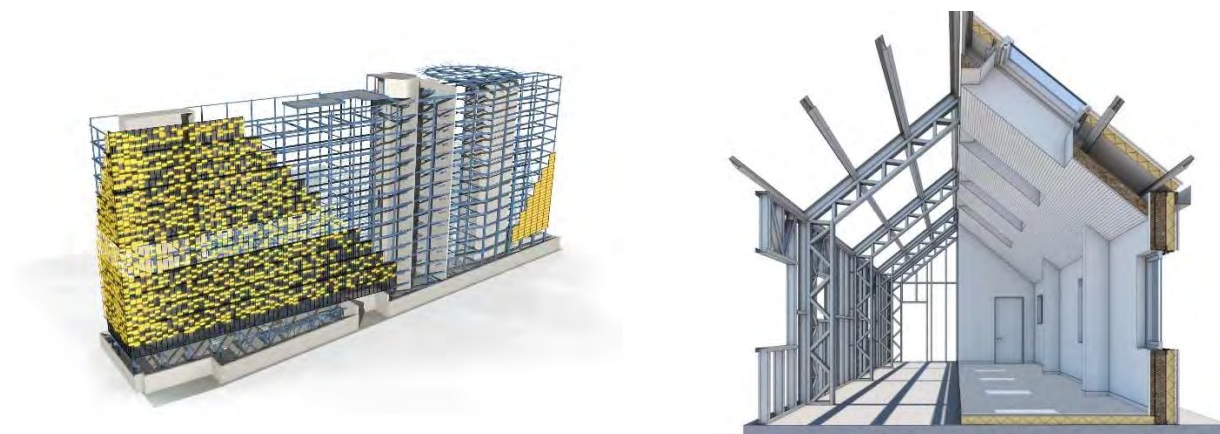


Figura 27. Vista tridimensionale di strutture in carpenteria metallica pesante e rivestimenti di facciata a secco (a sinistra, PICHLER projects Srl) e sezione prospettica di un edificio con tecnologia S/R in Light Steel Frame (a destra, Manni Green Tech Srl)

Box 29 - Elenco dei principali vantaggi del sistema costruttivo a secco in acciaio.

INDUSTRIALIZZAZIONE

La realizzazione degli elementi costitutivi del sistema a secco in industria permette di garantire controlli, collaudi e standard qualitativi di assoluta affidabilità grazie all'impiego di manodopera specializzata, riducendo rischi e problematiche dovuti a fattori e condizioni ambientali tipici delle costruzioni in opera. Inoltre, la produzione in industria permette di ottenere materiali isotropi riguardo alle superfici, salvo puntuale presenza di elementi connettori.

RICICLABILITÀ DEL MATERIALE

L'acciaio impiegato nelle costruzioni viene prodotto dal riciclo di rottame ferroso ed è al 100% riciclabile. Al termine della vita utile di un'opera, l'acciaio dismesso viene facilmente riciclato fino al 99% ottenendo un nuovo materiale di prima scelta. L'acciaio riciclato mantiene le sue proprietà anche dopo più operazioni di riciclo (quindi può essere riciclato all'infinito) e questo ci consente di riutilizzarlo più e più volte per la stessa applicazione.

LEGGEREZZA E FLESSIBILITÀ

La tecnologia off-site in acciaio si basa sull'utilizzo di materiali leggeri di conformazione a profili, lamiere, lastre di vario genere, pannelli sandwich e materassini isolanti, al fine di costruire un manufatto finale stratificato di enorme flessibilità. La versatilità offerta consente di adattare le caratteristiche dell'edificio al sito di costruzione e di personalizzare il design e le funzionalità di finiture e tamponamenti. Il sistema flessibile e leggero permette facilmente di intervenire anche su strutture esistenti per realizzare ampliamenti e sopraelevazioni del costruito.

TRACCIABILITÀ DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI E DURABILITÀ

Il materiale acciaio viene tracciato lungo tutto il processo costruttivo, attraverso norme nazionali ed europee, con evidenti vantaggi dal punto di vista della garanzia della qualità del materiale e dell'opera. Inoltre, l'acciaio, grazie ai sistemi protettivi quali verniciatura e zincatura a caldo, garantisce una vita utile alle opere che può superare i cinquant'anni e in alcuni casi anche il secolo.

SICUREZZA SISMICA

Essendo le strutture in acciaio a secco caratterizzate da un alto livello di duttilità e da una elevata leggerezza, si ha, un maggiore grado di resistenza a scosse di terremoto, rispetto ad altri sistemi tradizionali quali muratura e cemento. Inoltre, le strutture in acciaio, grazie all'alto livello di resistenza al sisma, garantiscono un ridotto livello di interventi di ripristino e manutenzione, con conseguente risparmio economico.

QUALITÀ, COMFORT E SALUBRITÀ

La tecnologia costruttiva a secco in acciaio permette di realizzare edifici ad alta efficienza energetica grazie ai sistemi di rivestimento dalle alte prestazioni con spessori di isolanti minimi. Il sistema permette di raggiungere un elevato isolamento termo-acustico, con conseguente aumento della qualità dell'ambiente interno. L'acciaio, infine, non essendo conduttore di umidità, garantisce ambienti salubri.

VELOCITÀ DI COSTRUZIONE

Il sistema a secco, come intuibile già dal nome, non comporta quotidiani problemi e lunghi tempi di asciugatura e maturazione per intonaci e massetti tipici del cantiere tradizionale. La realizzazione immediata della copertura permette di poter operare in un cantiere riparato e quindi meno soggetto ai cambiamenti meteorologici. Le connessioni meccaniche a secco permettono di realizzare velocemente grandi superfici, dando vita a sistemi reversibili nei quali i vari strati funzionali vengono utilizzati così come arrivano dalle officine di carpenteria metallica. La rapidità di costruzione agevola la riduzione degli oneri finanziari, un rapido ritorno degli investimenti e l'anticipata rendita del fabbricato.

MANODOPERA SPECIALIZZATA IN CANTIERE E SICUREZZA

Le costruzioni in carpenteria metallica necessitano di manodopera in cantiere decisamente ridotta rispetto ai tradizionali metodi costruttivi on-site. Questa riduzione, che può arrivare fino all'80%, aiuta a far fronte alla carenza di personale specializzato in cantiere. Anche il tema della sicurezza in cantiere viene notevolmente ridimensionato con tale tecnologia. Meno personale e più controllo su tutte le attività sono risposte alle crescenti necessità di sicurezza nel lavoro, con garanzia di migliori condizioni sia in fabbrica/officina, sia sul cantiere fisico.

MANUTENZIONE SEMPLIFICATA DELL'EDIFICIO

Il sistema a secco agevola la redazione degli "as build" dell'edificio e consente una maggiore precisione negli interventi di manutenzione, anche straordinaria. Gli spazi interni degli edifici in carpenteria metallica possono essere organizzati in modo flessibile con conseguenze positive non solo sulla gestione degli spazi, ma anche sull'organizzazione di importanti attività come il monitoraggio e la manutenzione nel tempo dell'edificio.

BIM E DIGITALIZZAZIONE

Il BIM – *Building Information Modelling* – rappresenta un elemento chiave nell'applicazione della digitalizzazione nel mondo delle costruzioni, l'evoluzione verso un nuovo modo di lavorare che coinvolge l'intera filiera edile. Questo metodo collaborativo consente di integrare in un unico modello le informazioni utili in ogni fase dalla progettazione architettonica a quella strutturale, da quella impiantistica a quella energetica e gestionale, dagli acquisti alla produzione, dal collaudo fino alla manutenzione, ed i prodotti in acciaio sono perfettamente integrati all'interno dei software più comunemente utilizzati in questo campo.

Attraverso sistemi tecnologici innovativi e la digitalizzazione del processo, gli elementi costruttivi sono realizzati in un luogo diverso da quello del cantiere. Nel luogo dove sorgerà l'edificio si provvederà solamente all'assemblaggio delle varie componenti.

Tutti i soggetti sono aggiornati su tutto in tempo reale, e grazie a queste tecnologie viene ricreato off-site quanto potrebbe succedere on-site, evitando gli eventuali costi per le risoluzioni in cantiere.

Box 30. I principali vantaggi del sistema a secco in acciaio secondo le tre sfere della sostenibilità.

SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Per gli edifici in carpenteria metallica il cantiere è solo un sito di assemblaggio e non di produzione, con evidenti vantaggi dal punto di vista dell'energia utilizzati essendo la costruzione della struttura un momento nel quale abbiamo un elevato consumo di energia, il fatto che venga fatto in officina con metodi ottimizzati, porta una riduzione dell'energia necessaria alla realizzazione. Inoltre, spostando la produzione in officina, anche in cantiere è evidente la riduzione di scarti e l'ambiente è pulito ed organizzato.

Costruire in carpenteria metallica significa rispettare i principi dell'economia circolare. I prodotti hanno un minor impatto ambientale in tutte le fasi del ciclo di vita certificato tramite analisi LCA.

SOSTENIBILITÀ SOCIALE

La tecnologia costruttiva in carpenteria metallica consente di avere dei controlli di sicurezza più frequenti ed accurati rispetto ai cantieri tradizionali. Il lavoro da svolgere on-site è meno pesante poiché la maggior parte delle attività viene eseguita nell'ambiente controllato in officina, con il supporto di macchine per compiti specifici, con conseguente aumento della sicurezza per il personale.

La costruzione in carpenteria metallica consente inoltre di ridurre o eliminare completamente i lavori in quota ed i relativi rischi per i lavoratori nel settore delle costruzioni. La tecnologia in carpenteria metallica, grazie ad una riduzione delle tempistiche del cantiere, garantisce notevoli vantaggi anche in termini di impatto sulla comunità in cui viene costruito l'edificio, evitando completamente in certi casi i disagi per la popolazione come l'interruzione del traffico o i cambiamenti della viabilità.

SOSTENIBILITÀ ECONOMICA

La costruzione off-site garantisce certezza di costi, tempi e qualità non raggiungibili nelle tradizionali condizioni on-site. La riduzione dei tempi di costruzione del 50 – 60% (grazie all'industrializzazione del processo edilizio, alla velocità di costruzione e alla precisione nella realizzazione dei componenti edilizi) consente una riduzione anche dei costi di cantierizzazione, tra cui manodopera, macchinari, ponteggi, oneri per la sicurezza e spese generali. La leggerezza delle soluzioni garantisce, inoltre, un abbattimento dei costi concernenti le opere di fondazione, dei volumi di scavo e di getto, una riduzione delle emissioni dovute al trasporto delle strutture e dei materiali in genere.

Grazie al controllo dei costi, anche in fase di preventivazione esiste una coerenza tra il preventivo e il consuntivo.

4.3 REALIZZAZIONI DI EDIFICI IN CARPENTERIA METALLICA

A corredo della descrizione di vantaggi e opportunità offerti dalla progettazione di edifici in carpenteria metallica, in questo paragrafo vengono presentate alcune tra le più recenti realizzazioni con tale tecnologia costruttiva (Tabella 9).

In Tabella 10 sono stati riassunti, per ciascun progetto analizzato, i dati riguardanti la tipologia, la destinazione d'uso e il rating di sostenibilità ottenuto. Nelle due mappe successive, quella europea in Figura 28 e quella italiana di dettaglio in Figura 29, si vuole rendere "a colpo d'occhio" testimonianza della reale (e già in corso) diffusione di questo sistema costruttivo in contesti geografici differenti. Si sottolinea che quanto riportato è solo

una parziale rappresentazione del mercato dell'acciaio per le costruzioni dell'ultimo decennio, dovuta a motivi redazionali in termini di spazio, ma che globalmente questa tipologia di soluzioni sta riscontrato una sempre maggiore ed ampia diffusione.

L'insieme di tali architetture ha portato alla redazione di un atlante europeo delle costruzioni in carpenteria metallica che potrà essere implementato nel tempo, presentando una struttura modulare, ed essere aggiornato con nuove realizzazioni, vista la sempre crescente diffusione dei sistemi in carpenteria metallica nel settore edile.

Tabella 9. Elenco delle realizzazioni in carpenteria metallica indicate nell'atlante europeo in Figura 28.

| N° | Progetto | Tipologia | Nazione | Città / Regione |
|----|------------------------------------|------------------------------|-------------|-----------------|
| 1 | Abdi Ibrahim Tower | Uffici | Turchia | Istanbul |
| 2 | Sede Dexia | Uffici | Lussemburgo | Esch |
| 3 | Lycee Marcel Sembat | Scuola | Francia | Rouen |
| 4 | Parking Silo | Parcheggio | Francia | Tolosa |
| 5 | Parcheggio Aeroporto | Parcheggio | Germania | Stoccarda |
| 6 | Unilever Haus | Uffici / Commerciale | Germania | Amburgo |
| 7 | Dipartimento Arti Islamiche Louvre | Museo | Francia | Parigi |
| 8 | Porto vecchio di Marsiglia | Grandi coperture | Francia | Marsiglia |
| 9 | Palania House | Residenziale | Grecia | Attica |
| 10 | Galaxy 4 Corti | Commerciale | Russia | San Pietroburgo |
| 11 | Emporia Shopping Center | Commerciale | Svezia | Malmo |
| 12 | 12 Leeson Park Avenue House | Residenziale | Irlanda | Dublino |
| 13 | Mediateca Mont de Marsan | Cultura | Francia | Mont de Marsan |
| 14 | Stazione Centrale di Rotterdam | Infrastruttura | Paesi Bassi | Rotterdam |
| 15 | Maison de la Paix | Uffici | Svizzera | Ginevra |
| 16 | Musee des confluences | Museo | Francia | Lione |
| 17 | Cocoa Factory | Commerciale | Paesi Bassi | Helmond |
| 18 | Parco Tecnologico di Obidos | Uffici | Portogallo | Lisbona |
| 19 | Scuola Materna Mantes la Ville | Scuola | Francia | Mantes-La-Ville |
| 20 | Centrale Albapower | Facciate | Italia | Cuneo |
| 21 | Sede Alpentrans | Uffici | Italia | Salorno |
| 22 | Centro Polifunzionale Area 22 | Hotel + Uffici + Commerciale | Italia | Rovereto |
| 23 | Sede Campari | Uffici | Italia | Milano |
| 24 | Abitazioni a Colognola | Residenziale | Italia | Bergamo |
| 25 | Altra sede Regione Lombardia | Uffici | Italia | Milano |
| 26 | Explora museo dei bambini | Museo | Italia | Roma |
| 27 | Sidi Sport | Uffici | Italia | Maser |
| 28 | Complesso Monte Altissimo | Commerciale + Residenziale | Italia | Milano |
| 29 | Istituto G. Falcone | Scuola | Italia | Gallarate |
| 30 | Museo del Giocattolo | Museo | Italia | Milano |
| 31 | Sede 3M | Uffici | Italia | Milano |
| 32 | Sede Servizi Unificati | Uffici | Italia | Bologna |
| 33 | Cantine Icario | Commerciale | Italia | Firenze |
| 34 | Macro | Museo | Italia | Roma |
| 35 | Museo del tabacco | Museo | Italia | Frosinone |

| | | | | |
|----|---|---------------------|--------|------------------|
| 36 | Porta del Parco Bagnoli | Multiservizi | Italia | Napoli |
| 37 | People Mover | Infrastruttura | Italia | Venezia |
| 38 | Praxis Business Center | Uffici | Italia | Milano |
| 39 | Ente scuola di Volo | Uffici + Scuola | Italia | Varese |
| 40 | Istituto Artusi | Scuola | Italia | Ravenna |
| 41 | Grattacielo Orizzontale | Uffici | Italia | Fiera Milano |
| 42 | Hilton Double Tree Hotel | Hotel | Italia | Milano |
| 43 | Tribune autodromo Mugello | Infrastruttura | Italia | Firenze |
| 44 | Complesso Scolastico Einaudi | Scuola | Italia | Chiari |
| 45 | Ristrutturazione uffici Via Zumbini | Uffici | Italia | Milano |
| 46 | Residenze "Corte del Futuro" | Residenziale | Italia | Bergamo |
| 47 | Recupero Fornace Morandi | Uffici | Italia | Padova |
| 48 | Terminal Porta Susa | Infrastruttura | Italia | Torino |
| 49 | Sede Matteograssi | Uffici | Italia | Milano |
| 50 | Progetto Parallelo | Uffici | Italia | Milano |
| 51 | Geox Breathing Building | Commerciale | Italia | Milano |
| 52 | MUSE Trento | Museo | Italia | Trento |
| 53 | Sede Atzwanger | Uffici + Produttivo | Italia | Bolzano |
| 54 | Biblioteca Fiorano | Cultura | Italia | Fiorano Modenese |
| 55 | Centro Termale Aquardens | Sport | Italia | Verona |
| 56 | Virgin Active Village | Sport | Italia | Milano |
| 57 | Ex Istituto Sieroterapico | Uffici + Scuola | Italia | Milano |
| 58 | Torre Unipol Bologna | Uffici | Italia | Bologna |
| 59 | Istituto Nazionale Genetica Molecolare | Uffici | Italia | Milano |
| 60 | Ex Arsenale ora polo CNR | Uffici | Italia | Venezia |
| 61 | Stazione Mediopadana RE | Infrastruttura | Italia | Reggio Emilia |
| 62 | Città delle Culture | Museo | Italia | Milano |
| 63 | Lainate Urban Center | Cultura | Italia | Milano |
| 64 | Ristrutturazione edificio Ferrante Aporti | Uffici | Italia | Milano |
| 65 | Mirafiori Design Center | Scuola | Italia | Torino |
| 66 | Centro di ricerca Ospedale di Udine | Ospedali | Italia | Udine |
| 67 | Termovalorizzatore | Industriale | Italia | Bolzano |
| 68 | Florim Gallery | Commerciale | Italia | Modena |
| 69 | Cantine Antinori | Produttivo | Italia | Firenze |
| 70 | Sede Stone Island | Commerciale | Italia | Modena |
| 71 | Teatrino di Palazzo Grassi | Cultura | Italia | Venezia |
| 72 | Ampliamento acquario di Genova | Museo | Italia | Genova |
| 73 | Hotel Lido Palace | Hotel | Italia | Villa del Garda |
| 74 | Ex Edificio Brin 69 | Polo multifunzione | Italia | Napoli |
| 75 | Centro Culturale Rosenbach | Uffici | Italia | Bolzano |
| 76 | Yatch Club Marina di Stabia | Commerciale | Italia | Napoli |
| 77 | Padiglione delle feste | Copertura | Italia | Barzago |
| 78 | Edificio "Don Sturzo 35" | Uffici | Italia | Milano |
| 79 | Sede MTA | Uffici e produttivo | Italia | Lodi |
| 80 | Iperpoli Trento | Commerciale | Italia | Trento |
| 81 | Piazza Garibaldi Napoli | Copertura | Italia | Napoli |
| 82 | Expo Gate | Uffici | Italia | Milano |
| 83 | Sede EffeDue | Uffici | Italia | Imola |
| 84 | Villa GM | Residenziale | Italia | Sciaccia |
| 85 | Gruppo GR Informatica | Uffici | Italia | Lecco |
| 86 | Ricostruzione sede Ursa Uralita | Produttivo | Italia | Ferrara |
| 87 | Terrazza Triennale di Milano | Commerciale | Italia | Milano |
| 88 | Ferrari Gestione sportiva | Uffici | Italia | Modena |

| | | | | |
|-----|---|---------------------|----------------|---------------|
| 89 | Cascina Merlata | Commerciale | Italia | Milano |
| 90 | Ristorante aziendale Commerciale Tubi Acciaio | Servizi | Italia | Torino |
| 91 | Campus Universitario Forlì | Scuola | Italia | Forlì |
| 92 | Serra Giardini Trautmandorff | Grandi coperture | Italia | Bolzano |
| 93 | Funivie del Monte Bianco | Infrastrutture | Italia-Francia | Valle d'Aosta |
| 94 | Complesso Scolastico Villa Marina | Scuola | Italia | Cesenatico |
| 95 | Complesso residenziale Via Piave | Residenziale | Italia | Grosseto |
| 96 | Stabilimento e Sede Rubinetterie Bresciane | Uffici e produttivo | Italia | Brescia |
| 97 | Opificio Golinelli | Cultura | Italia | Bologna |
| 98 | Casa Monzani | Residenziale | Italia | Bellusco |
| 99 | Centro Eventi "Il Maggiore" | Cultura | Italia | Verbania |
| 100 | Orto botanico Padova | Museo | Italia | Padova |
| 101 | Sito Archeologico catacombe di Ta Bistra | Museo | Malta | Ta' Bistra |
| 102 | Sede Intecs | Uffici | Italia | Roma |
| 103 | Fondazione Prada | Museo | Italia | Milano |
| 104 | Park Hotel Ginevra | Hotel | Italia | Roma |
| 105 | Creative Cluster | Uffici | Paesi Bassi | Delft |
| 106 | Ampliamento sede Aler Varese | Uffici | Italia | Varese |
| 107 | Sede Amazon Milano | Uffici | Italia | Milano |
| 108 | Anversa Port House | Uffici | Belgio | Anversa |
| 109 | Sede Zeppelin Girolibero | Uffici | Italia | Vicenza |
| 110 | Centro Arte Contemporanea Luigi Pecci | Museo | Italia | Prato |
| 111 | MADA Building | Uffici | Italia | Milano |
| 112 | Loft Perugino 6h | Residenziale | Italia | Bologna |
| 113 | Sede Bulgari Gioielli | Uffici | Italia | Alessandria |
| 114 | Bruxelles Environnement | Uffici | Belgio | Bruxelles |
| 115 | Opificio Salpi | Industriale | Italia | Perugia |
| 116 | Università degli Studi di Firenze presso ex plesso S.ta Teresa | Scuola | Italia | Firenze |
| 117 | Scuola Dante Alighieri | Scuola | Italia | Modena |
| 118 | The Gate | Uffici | Italia | Milano |
| 119 | Villaverde hotel e resort | Hotel | Italia | Udine |
| 120 | Torre Zucchetti | Uffici | Italia | Lodi |
| 121 | Ampliamento Hotel Santa Chiara | Uffici | Italia | Venezia |
| 122 | Sede Pagani Automobili | Uffici e showroom | Italia | Modena |
| 123 | Galleria Barcella | Commerciale | Italia | Padova |
| 124 | Ex Officine Saviotti | Uffici | Italia | Milano |
| 125 | Centro di assistenza San Giovanni di Dio | Ospedale | Italia | Bergamo |
| 126 | Riqualficazione Docks Marsiglia | Commerciale | Francia | Marsiglia |
| 127 | Centro per le Arti e Scienze Golinelli | Museo | Italia | Bologna |
| 128 | SPG Headquarters | Uffici | Svizzera | Ginevra |
| 129 | HQ Prada Valvigna | Varie | Italia | Valvigna |
| 130 | Copertura teatro Maugeri | Grandi coperture | Italia | Catania |
| 131 | Sede Caritas Jesi | Uffici | Italia | Ancona |
| 132 | Campus universitario Novara - ex caserma | Scuole | Italia | Novara |
| 133 | Sede Eatly Trieste | Commercio | Italia | Trieste |
| 134 | Hotel Il sereno | Hotel | Italia | Como |

| | | | | |
|-----|---|--|-------------|-------------------|
| 135 | Apassionata Parco Avventure | Spettacoli | Germania | Monaco di Baviera |
| 136 | Econocom Village | Uffici | Italia | Milano |
| 137 | Tribunale temporaneo Amsterdam | Uffici | Paesi Bassi | Amsterdam |
| 138 | The Lodge | Hotel | Italia | Udine |
| 139 | EDP Headquarters | Uffici | Portogallo | Lisbona |
| 140 | City Life Shopping District | Commercio | Italia | Milano |
| 141 | Karyatides Business Center | Uffici | Cipro | Cipro |
| 142 | Sede Herambiente | Uffici | Italia | Modena |
| 143 | Villa San Felice sul Benaco | Residenziale | Italia | Brescia |
| 144 | Coima Headquarters | Uffici | Italia | Milano |
| 145 | Timmerhuis | Residenziale | Paesi Bassi | Rotterdam |
| 146 | Ampliamento servizi Orio Al Serio | Infrastruttura + Commerciale | Italia | Bergamo |
| 147 | Sede ENPAM | Uffici | Italia | Roma |
| 148 | Trieste Airport | Infrastruttura | Italia | Trieste |
| 149 | Danieli Automation | Uffici + Produttivo | Italia | Treviso |
| 150 | Residenze Via Orti 4 | Residenziale | Italia | Milano |
| 151 | Centro polifunzionale Caserta | Polo multifunzione | Italia | Caserta |
| 152 | Portomaso Tower | Uffici | Malta | La Valletta |
| 153 | M9 Museum Mestre | Museo | Italia | Mestre |
| 154 | Farco Group | Uffici | Italia | Brescia |
| 155 | Dallara Academy | Showroom e Uffici | Italia | Parma |
| 156 | Graafschap College | Scuola | Paesi Bassi | Doetinchem |
| 157 | Centro per l'educazione e lo sport Bondeno | Scuola | Italia | Ferrara |
| 158 | Complesso sportivo La Fontane | Sport | Francia | Parigi |
| 159 | Power Barn | Industriale | Italia | Ravenna |
| 160 | Lavanderia Industriale Sanitar Heinze | Industriale | Italia | Bolzano |
| 161 | Sede Regione Puglia | Uffici | Italia | Bari |
| 162 | Edificio Anis | Uffici | Francia | Nizza |
| 163 | Showroom Teseo | Commerciale | Italia | Perugia |
| 164 | ITT Innovation Center | Uffici | Italia | Cuneo |
| 165 | Casa di Con Fine | Residenziale | Italia | Ancona |
| 166 | Ampliamento Scuola Enrico Fermi | Scuola | Italia | Torino |
| 167 | S32 Sasseti District | Uffici | Italia | Milano |
| 168 | Terminal provvisorio Aeroporto di Linate | Infrastruttura | Italia | Milano |
| 169 | Sede Grasselli | Uffici | Italia | Reggio Emilia |
| 170 | Conad Store Iseo | Commerciale | Italia | Iseo |
| 171 | The Iconic Bridge | Uffici | Italia | Bari |
| 172 | De Castillia 23 | Facciate | Italia | Milano |
| 173 | Stavros Niarchos Foundation | Museo | Grecia | Atene |
| 174 | Morimondo 23 | Uffici | Italia | Milano |
| 175 | Gewiss Stadium Atalanta | Infrastruttura (in corso seconda parte) | Italia | Bergamo |
| 176 | Magazzini SPAL | Magazzini Automatizzati | Italia | Verona |
| 177 | Ceramiche Sant'Agostino | Magazzini Automatizzati | Italia | Ferrara |
| 178 | KWR Watercycle Research Institute | Laboratorio | Paesi Bassi | Nieuwegein |
| 179 | Museo Arte Etrusca Milano | Museo | Italia | Milano |
| 180 | Polo tecnologico Emak | Uffici | Italia | Trento |
| 181 | Riqualficazione complesso Manin-Pilsen | Uffici | Italia | Venezia |

| | | | | |
|-----|---|-------------------------|-------------|-------------|
| 182 | Molinete Archeological Park | Grandi coperture | Spagna | Cartagena |
| 183 | Nuovo Polo Informatica UNIMI | Scuole | Italia | Milano |
| 184 | Cabinovia Alba di Canazei - Ciampac | Infrastruttura | Italia | Bolzano |
| 185 | Spogliatoi aziendali Toyota Italy | Uffici e produttivo | Italia | Bologna |
| 186 | Stazione di Matera Centrale | Infrastruttura | Italia | Matera |
| 187 | Ampliamento T1 Aeroporto Leonardo da Vinci | Infrastruttura | Italia | Roma |
| 188 | The "Corner" | Uffici | Italia | Milano |
| 189 | Aleja Shopping Center | Commercio | Slovenia | Lubiana |
| 190 | Porta Nuova House | Residenziale | Italia | Milano |
| 191 | Palladio Center | Commercio | Italia | Vicenza |
| 192 | Polo Fieristico e Congressuale METT | Commercio | Francia | Tolosa |
| 193 | Marconi Express | Infrastruttura | Italia | Bologna |
| 194 | State Office De Knoop | Uffici | Paesi Bassi | L'Aia |
| 195 | Baluardo dell'amore | Arredo urbano | Italia | Ferrara |
| 196 | Funivia Zugspitze | Infrastrutture | Italia | Bolzano |
| 197 | La Manufacture | Uffici e produttivo | Italia | Siena |
| 198 | Nuovi padiglioni Fiera di Bologna | Commercio | Italia | Bologna |
| 199 | Arcadia Center | Uffici | Italia | Milano |
| 200 | Ufficio Passiv Haus a Mello | Uffici | Italia | Sondrio |
| 201 | FAE Group | Uffici e produttivo | Italia | Trento |
| 202 | Mitigazione architettonica centrale biogas | Facciate | Italia | Lodi |
| 203 | AEC Innovation Center | Uffici | Italia | Arezzo |
| 204 | Polo Produttivo Biogen | Produttivo | Svizzera | Luterbach |
| 205 | Royal Hamilius | Commercio | Lussemburgo | Lussemburgo |
| 206 | The ED.G.E. | Uffici | Italia | Milano |
| 207 | Intercable Arena | Sport | Italia | Brunico |
| 208 | The Crown - Torre Libeskind City Life | Uffici | Italia | Milano |
| 209 | Sede Gruppo Giovannini | Commercio | Italia | Trento |
| 210 | Sede direzionale Capri Soc. Coop | Uffici | Italia | Imola |
| 211 | Furla Headquarters | Uffici | Italia | Udine |
| 212 | Stadio Nazionale d'Albania ed edifici attigui | Sport e commercio | Albania | Tirana |
| 213 | Magazzino Automatizzato Vismaravetro | Magazzini Automatizzati | Italia | Lecco |
| 214 | Stazione di Elbbrucken | Infrastrutture | Germania | Amburgo |
| 215 | Campus Salvagnini | Uffici e produttivo | Italia | Treviso |
| 216 | Melopee School | Scuola | Belgio | Gent |
| 217 | Ampliamento clinica "Via Dezza" | Ospedale | Italia | Milano |
| 218 | Parking Garage A1 | Parcheggio | Paesi Bassi | Amsterdam |
| 219 | Mercato di Corso Sardegna | Copertura | Italia | Genova |
| 220 | Stazione a Valle cabinovia del Mottolino | Infrastruttura e uffici | Italia | Livigno |
| 221 | Fenix I Loft | Uffici e residenziale | Paesi Bassi | Rotterdam |
| 222 | Centro direzionale cantina Montelliana | Uffici | Italia | Treviso |
| 223 | Magazzino Melinda | Industriale | Italia | Trento |
| 224 | The Exo | Uffici | Irlanda | Dublino |
| 225 | Centro direzionale Trafilerie Mazzoleni | Uffici | Italia | Bergamo |

| | | | | |
|-----|---|---------------------------|-------------|-----------|
| 226 | Ricostruzione insediamento agricolo-produttivo | Industriale | Italia | Bondeno |
| 227 | Spa panoramica Hotel Hubertus | Hotel | Italia | Valdaora |
| 228 | Edificio M Salvatore Ferragamo Factory | Industriale e showroom | Italia | Firenze |
| 229 | Tuo Bar & Bistrot | Commercio | Italia | Merano |
| 230 | Residenza privata a Calvisano | Residenziale | Italia | Calvisano |
| 231 | Municipio di Westland | Uffici | Paesi Bassi | Westland |
| 232 | Ampliamento sede Elledi | Uffici | Italia | Treviso |
| 233 | Ampliamento Aeroporto | Infrastruttura | Finlandia | Helsinki |

Tabella 10. Elenco delle realizzazioni in carpenteria analizzate nel dettaglio.

| N° | Progetto | Tipologia | Destinazione d'uso | Città (Paese) | Rating sostenibilità |
|-----|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| N1 | Residenza via Comune Antico | Nuova costruzione | Residenziale | Milano (MI) | CasaClima A |
| N2 | Torre Diamante | Nuova costruzione | Uffici | Milano (MI) | LEED Gold |
| N3 | Villa Ferrari | Ampliamento | Residenziale e servizi | Voghera (PV) | - |
| N4 | Ferrero Technical Center | Nuova costruzione | Uffici e produzione | Alba (CN) | - |
| N5 | Luxottica Digital Factory | Riqualificazione | Uffici | Milano (MI) | LEED Gold |
| N6 | Palazzo Pitagora | Nuova costruzione | Residenziale e commerciale | Roma (RM) | - |
| N7 | Centro Commerciale Green Pea | Nuova costruzione | Commerciale | Torino (TO) | Itaca 3.5 |
| N8 | Torre Intesa Sanpaolo | Nuova costruzione | Uffici | Torino (TO) | LEED Platinum |
| N9 | La Serenissima | Ristrutturazione | Uffici | Milano (MI) | LEED Gold |
| N10 | Symbiosis D | Nuova costruzione | Uffici | Milano (MI) | LEED Platinum, WELL |
| N11 | Headquarters BNL | Nuova costruzione | Uffici | Roma (RM) | LEED Gold |
| N12 | Prysmian HQ | Ristrutturazione e ampliamento | Uffici | Milano (MI) | LEED Platinum |
| N13 | San Marino Outlet Experience | Nuova costruzione | Commerciale | Repubblica di San Marino | BREEAM "Very Good" |
| N14 | ITAS Forum | Nuova costruzione | Uffici | Trento (TN) | - |
| N15 | Battistella Headquarter | Nuova costruzione | Uffici e commerciale | Pieve di Soligo (TV) | - |
| N16 | Recreation Center - Campus Bocconi | Nuova costruzione | Servizi | Milano (MI) | LEED Platinum |
| N17 | Campus Milano Internazionale | Nuova costruzione | Residenza universitaria | Milano (MI) | LEED Gold |

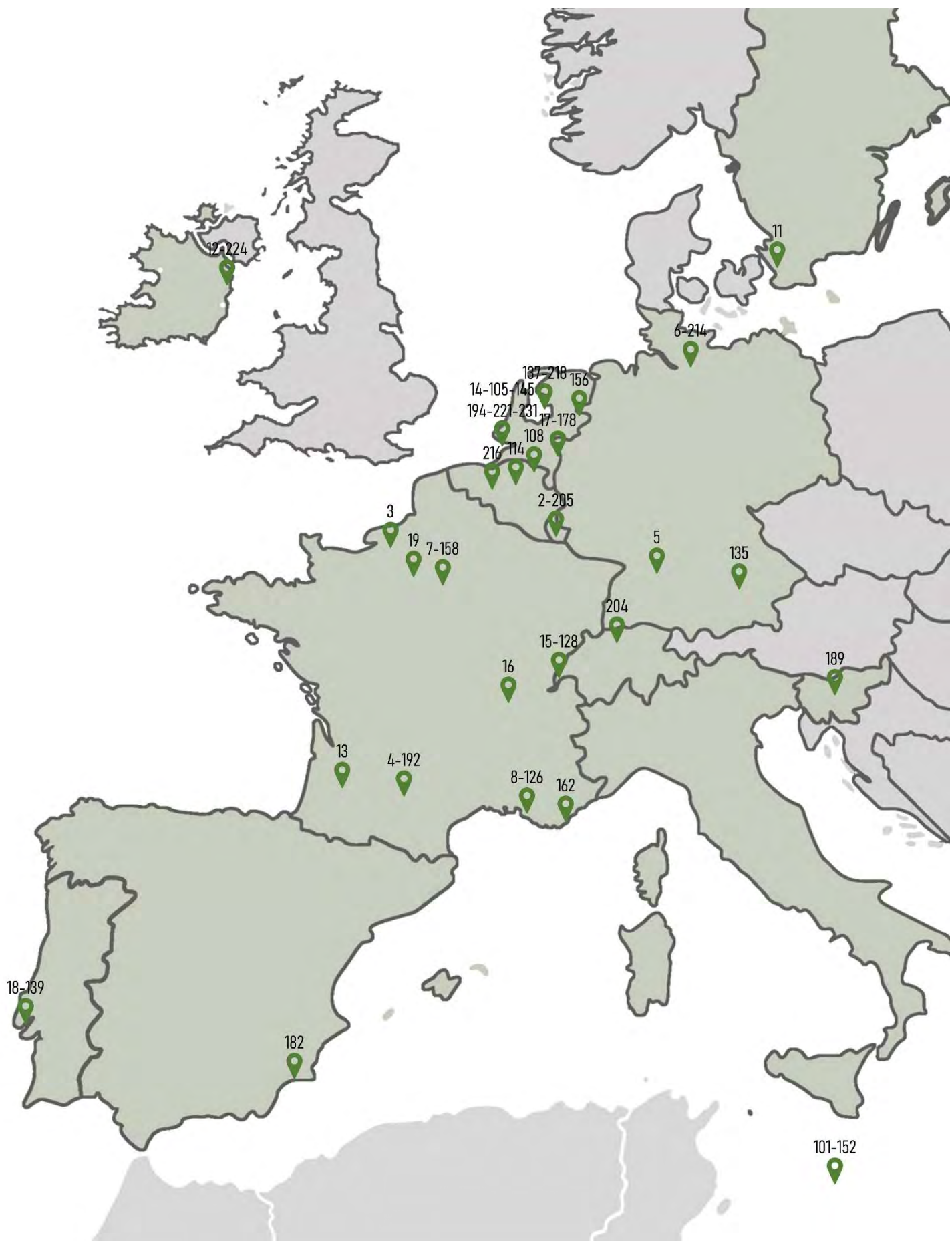


Figura 28. Atlante europeo delle costruzioni in carpenteria metallica.



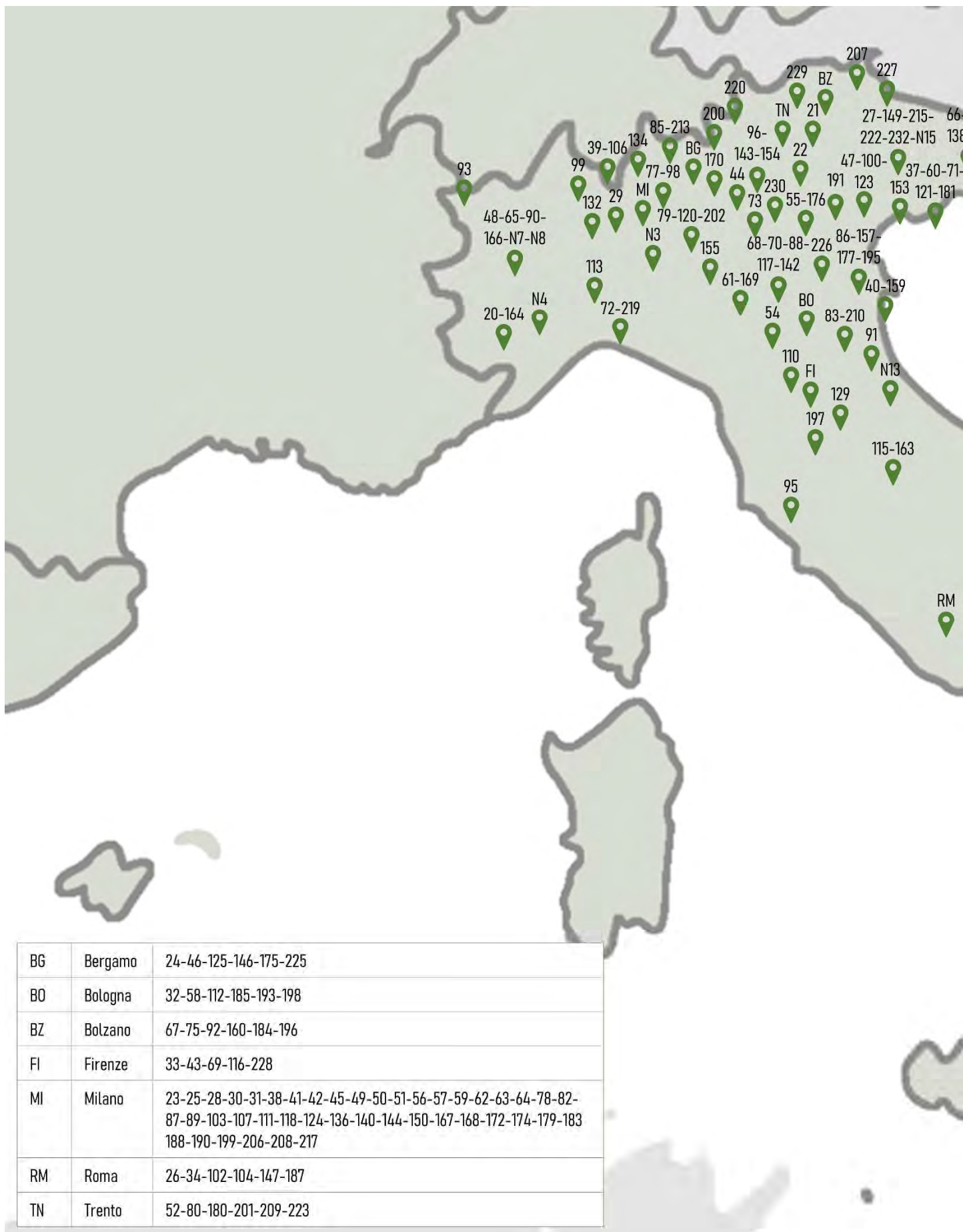


Figura 29: Atlante italiano delle costruzioni in carpenteria metallica.



N1 RESIDENZA VIA COMUNE ANTICO

Rating di sostenibilità: Casaclima A

Committente: privato

Luogo: Milano - **Anno:** 2021

Progetto architettonico: d.n.a. dYNAMIC NETWORK ARCHITECTS

Progetto strutturale: Ing. Enrico Pulcini - Studio DEP

Costruttore metallico: Vanoncini spa

Tecnologia costruttiva: struttura intelaiata con tamponamenti e partizioni a secco

Certificazione energetica: classe A4 - nZEB



INNOVAZIONE TECNOLOGICA

Il piano interrato presenta solaio di copertura in lamiera grecata sostenuta da travi in acciaio con luci di oltre 30 m e alte 60 cm. Per il solaio del piano terra sono stati utilizzati dei profili HEB 600 in acciaio S275JR, disposti ad interasse di 250 cm circa, arrivati in cantiere con già saldate le due piastre di testa per l'ancoraggio alle paratie in c.a. mediante tasselli chimici M24 (l=400 mm). Dal piano terra si elevano gli elementi di struttura verticale (HEA 240/HEB 260), realizzati in 2 parti, con giunti bullonati e coprigiunti su anima e ali. L'azione di controvento è demandata alla parete posteriore del vano ascensore a croci costituite da tubolari 120x8 mm in acciaio e a profili diagonali in facciata.



ENERGIA - AMBIENTE

Le chiusure verticali opache, dello spessore di circa 35 cm e con trasmittanza paria a 0,179 W/m²K, sono costituite da soluzioni multilayer con alternanza di strati inerziali e resistivi che dall'esterno verso l'interno prevedono lastre di fibrocemento, materassini in lana di roccia, lastre in gesso rivestito, pannelli in fibra di legno, ulteriori pannelli in lana di roccia e lastre in gesso rivestito a chiusura. Verso la strada la facciata è rivestita da una lamiera stirata in alluminio verniciato a caldo, mentre le altre facciate sono rivestite da paramenti in lastre di cemento fibro-rinforzato di grandi dimensioni. Il progetto ha raggiunto la classe A di CasaClima grazie ad un valore di efficienza complessiva pari a 1 kgCO₂/m²a.



COMFORT

Essendo l'edificio in prossimità dello scalo ferroviario di Milano Greco Pirelli, i tamponamenti sono stati realizzati a secco con alte performance di isolamento acustico. Per raggiungere buoni livelli di comfort all'interno dell'edificio sono state adottate strategie progettuali volte a migliorare l'illuminazione naturale e il comfort termico. Buoni livelli di comfort luminoso sono garantiti dalla posizione diffusa di elementi finestrati. Questi ultimi, essendo apribili, consentono di ricambiare costantemente l'aria. All'interno dell'edificio non è installato un impianto di ventilazione meccanica controllata, ma è installato un sistema di riscaldamento e raffrescamento a pavimento a bassa temperatura.

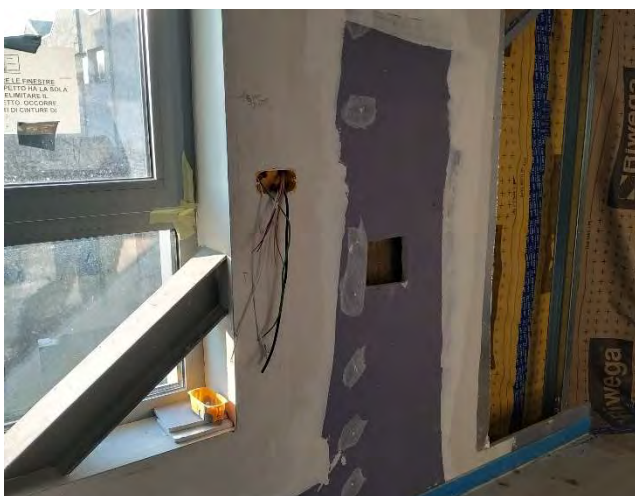


Figura 30 - Vista d'insieme dell'edificio (in alto), fasi di cantiere (in basso). Foto: dYNAMIC NETWORK ARCHITECTS

N2 TORRE DIAMANTE

Rating di sostenibilità: LEED Gold

Committente: HINES Italia SGR spa**Luogo:** Milano - **Anno:** 2012**Progetto architettonico:** KPF Kohn Pedersen Fox Associates **Progetto strutturale:** ARUP**Imprese:** ATI CMB, Unieco**Costruttore metallico:** PICHLER projects srl**Tecnologia costruttiva:** struttura con profili in acciaio, solai in lamiera grecate a nervatura profonda e impiego di acciaio altoresistenziale S460**Certificazione energetica:** -**INNOVAZIONE TECNOLOGICA**

L'edificio si sviluppa su una base di 30x50 metri, con elevazione di 34 piani, per un'altezza di 130 metri. La struttura è in carpenteria metallica pesante con impiego di profili HD della serie 400 e 360 in acciaio alto resistentiale S460M, fresati alle estremità per garantire, in perfetta planarità, il contatto diretto tra gli elementi in corrispondenza delle connessioni flangiate a contatto con piatto interposto e successivamente giuntati mediante connessioni bullonate. Gli elementi portanti orizzontali sono realizzati interamente in acciaio mediante travi IPE/HE - in acciaio di classe S355. I solai sono realizzati con lamiera grecate a nervatura profonda e getto collaborante di spessore tra i 150 ed i 200 mm.

ENERGIA - AMBIENTE

L'edificio presenta una serie di soluzioni tecnologiche innovative volte a raggiungere un risparmio energetico elevato e avanzati criteri di eco-compatibilità. Tra queste soluzioni si ricordano: (i) impianti geotermici, pannelli solari e fotovoltaici per lo sfruttamento di energie rinnovabili; (ii) ottimizzazione della ventilazione e illuminazione naturale e potenziamento dell'isolamento termico; (iii) raccolta di acqua piovana per l'irrigazione; (iv) sistema automatico di riciclaggio rifiuti; (v) pompe di calore per produrre acqua calda sanitaria. La Torre, grazie a queste soluzioni tecnologiche, ha ottenuto la certificazione LEED Gold.

COMFORT

Una pelle di vetro definisce la facciata, concepita come un involucro dalle alte prestazioni isolanti, con infissi a taglio termico e profili in alluminio. Il layout interno è caratterizzato invece da un nucleo centrale attorno al quale si sviluppa lo spazio. Una soluzione voluta soprattutto per massimizzare l'ingresso della luce naturale.

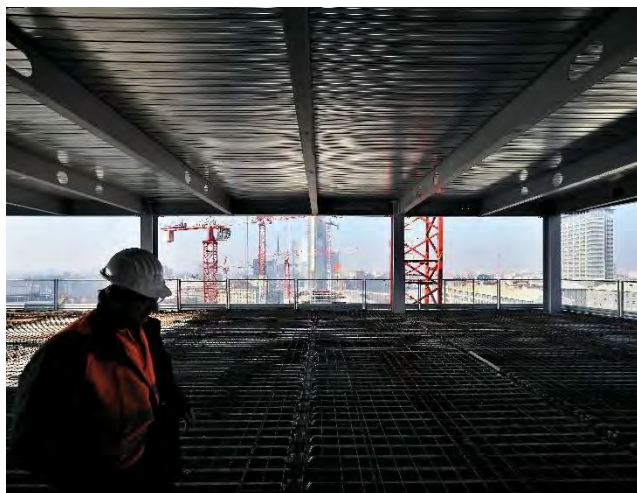


Figura 31 - Vista generale del cantiere (in alto), fasi di costruzione con sistema e dettagli della struttura (in basso). Foto: Lorenzo De Simone - FPA; Arup; Oskar Da Riz - PICHLER projects srl

N3 VILLA FERRARI

Committente: Agape Cooperativa Sociale ONLUS - Don Michele Chiapuzzi
Luogo: Voghera, Pavia - Anno: 2018
Progetto architettonico: Arch. Rosaria Verardi
Progetto strutturale & costruzione: Cogi srl
Tecnologia costruttiva: steelMAX® in profili sottili formati a freddo
Certificazione energetica: classe A

Rating di sostenibilità: -



INNOVAZIONE TECNOLOGICA

La struttura in elevazione e di copertura è stata realizzata con sistema costruttivo a secco composto da profili sottili in acciaio formati a freddo, per un totale di circa 13 tonnellate di acciaio zincato a caldo in continuo in qualità S280GD+Z275. La resistenza all'azione orizzontale è stata affidata alle pareti di controvento, disposte opportunamente nelle due direzioni, realizzate con sistema a croce di Sant'Andrea. Per l'impalcato di copertura piana, essendo praticabile, si è utilizzata la soluzione con lamiera grecata e getto collaborante, mentre per la porzione di copertura inclinata delle camere è stata utilizzata la soluzione a secco con doppio strato di pannelli in OSB3.



ENERGIA - AMBIENTE

L'edificio, realizzato con sistema steelMAX® e rifinito con rivestimenti a secco, raggiunge la classe energetica A grazie all'utilizzo di materiali dalle performance elevati e dall'utilizzo di un riscaldamento a pavimento a bassa temperatura, oltre che all'integrazione di pannelli solari/fotovoltaici posizionati sulla parte piana della nuova costruzione e sulla copertura esposta a Sud della villa esistente. Le pareti perimetrali con costituite da un rivestimento esterno con lastra a base cementizia rifinita con rasatura armata ed un doppio strato isolante posizionato all'interno della struttura portante della controparete interna.



COMFORT

Per ottenere un elevato grado di comfort all'interno dell'edificio, sono state implementate strategie di progettazione focalizzate principalmente sull'illuminazione naturale e il benessere termico. L'ottimale comfort visivo è assicurato attraverso la distribuzione diffusa di aperture nelle pareti, le quali, essendo apribili, consentono un continuo ricambio dell'aria.



Figura 32 - Vista dell'ingresso di Villa Ferrari a fine lavori (in alto), fasi di costruzione (in basso). Foto: Davide Dolcini - FPA; Cogi srl

N4 FERRERO TECHNICAL CENTER

Rating di sostenibilità: -

Committente: Ferrero spa**Luogo:** Alba, Cuneo - **Anno:** 2022**Progetto architettonico:** Frigerio Design Group**Progetto strutturale ed esecutivo:** Redesco Progetti srl**General Contractor:** Co.Ge.Fa. spa**Costruttore metallico:** MAP spa**Tecnologia costruttiva:** struttura in carpenteria pesante con elementi progettati per grandi luci libere**Certificazione energetica:** classe A4 - nZEB**INNOVAZIONE TECNOLOGICA**

Il fabbricato impiega strutture tubolari per le colonne principali, oltre ad elementi in profili aperti laminati a caldo che garantiscono luci di 7,2 x 24,5 metri. Una hall di rappresentanza annovera un volume a 18 m di altezza realizzato con solai in carpenteria metallica e getto collaborante. In copertura sono presenti le terrazze con sbalzi di oltre 6 metri.

**ENERGIA - AMBIENTE**

L'edificio, bioclimatico e nZEB (nearly Zero Energy Building), è sviluppato per ridurre al minimo le emissioni di anidride carbonica, ispirandosi ai concetti della "slow architecture". Il volume, realizzato con materiali industriali, in prevalenza montati a secco massimizza tutti gli apporti passivi (luce, aria e soleggiamento) e limita al minimo le risorse per la gestione e la manutenzione. Il limitato consumo di risorse naturali è garantito dall'utilizzo di sistemi radianti a soffitto a bassa temperatura (40°C) e un impianto fotovoltaico da 300 kW di picco che sfrutta la grande copertura piana aggettante. L'edificio è stato insignito del premio di Sostenibilità 2023 categoria edifici ex novo.

**COMFORT**

Nell'area officina, gli spazi di produzione, occlusi al paesaggio esterno, puntano al comfort visivo con un ambiente ripulito dagli ingombri meccanici, annegati nelle pareti perimetrali in pannelli sandwich microforati e fonoassorbenti, oltre che ignifughi, in lana di roccia. Un mezzanino di servizio assorbe tutti gli spazi necessari ai macchinari, liberando gli ambienti abitati dalla distribuzione impiantistica. Gli uffici, nell'area sommitale dell'edificio, pervasi dalla luce naturale, incorniciano con le grandi vetrate schermate dai brise-soleil a sezione ellittica



Figura 33 - Vista della facciata dell'edificio (in alto), fasi di costruzione e dettagli struttura (in basso). Foto: Enrico Cano; FDG; Redesco Progetti srl

N5 LUXOTTICA DIGITAL FACTORY

Rating di sostenibilità: LEED Gold

Committente: Luxottica Group spa

Luogo: Milano - **Anno:** 2022

Progetto architettonico: Park Associati

Progetto strutturale: MSC Associati

Impresa: SMV Costruzioni srl

Costruttore metallico e facciate: PICHLER projects srl

Tecnologia costruttiva: utilizzo di carpenteria metallica per riqualificazione dell'esistente e refurbishing delle facciate

Certificazione energetica: -



INNOVAZIONE TECNOLOGICA

Il progetto prevede la riqualificazione funzionale del preesistente edificio industriale, costituito da struttura in cemento armato, con pilastri, travi carroponte e capriate di copertura dotate di shed. La nuova struttura in acciaio è costituita da tubolari saldati e profili laminati controventanti che vanno a comporre le 75 reticolari da 16 m di luce libera della copertura, poggiate sulle travi principali, a loro volta ancorate alle colonne preesistenti e ad una seconda orditura di pilastri realizzati in profili IPE che ne raddoppia il passo. In corrispondenza dell'ingresso è presente struttura reticolare spaziale in carpenteria metallica che permette di liberare uno spazio da 16x32 m per la hall di distribuzione.



ENERGIA - AMBIENTE

La riprogettazione dell'involucro edilizio ha avuto, come importante risultato, quello del miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio. Tutto l'intervento di retrofitting è stato realizzato seguendo il protocollo di qualità e sostenibilità LEED, raggiungendo la classe Gold.



COMFORT

L'involucro dell'edificio è caratterizzato da una facciata vetrata, che scorre a tutta altezza e su cui si impostano lesene verticali in metallo bronzato, con l'obiettivo di creare massima luminosità naturale comfort termico.



Figura 34 - Vista della facciata dell'edificio "Luxottica Factory" (in alto), fasi di riqualificazione e vista della corte interna (in basso). Foto: Andrea Martiradonna; Marco Frusca (cantiere)

N6 PALAZZO PITAGORA**Committente:** Redbrick Advisors srl, Torre SGR spa**Luogo:** Roma - **Anno:** 2017**Progetto architettonico:** BIOEDIL Progetti srl**Progetto strutturale:** INGE.CO srl**Impresa:** COAP srl**Costruttore metallico:** PICHLER projects srl**Tecnologia costruttiva:** struttura in travi e colonne d'acciaio con nuclei in c.a. e lamiera grecate per solai d'interpiano**Certificazione energetica:** classe A

Rating di sostenibilità: -

**INNOVAZIONE TECNOLOGICA**

La struttura portante dei due corpi di fabbrica è costituita da elementi in carpenteria metallica coadiuvati da due nuclei controventanti in c.a. Si tratta di circa 530 tonnellate di acciaio, suddivise tra sostegni verticali composti da colonne in acciaio e travi sulle quali poggiano solai collaboranti. I profili principali sono di tipo HEB 260 di grado S355J0, connessi mediante giunti a flangia e imbullonati, mentre le lamiere grecate sono di tipo Hi-bond A55/P600, per un totale di circa 5.300 mq. Sulle lamiere sono innestati pioli che contribuiscono a renderle solidali con il getto integrativo. La struttura portante in acciaio garantisce la completa antisismicità dell'intero complesso edilizio.

**ENERGIA - AMBIENTE**

La classe energetica A delle unità immobiliari consente di ridurre i consumi dell'80% rispetto ad una costruzione tradizionale, grazie anche ad una dotazione di pannelli solari di ultima generazione per ogni appartamento. L'edificio è progettato per garantire il completo azzeramento delle emissioni di CO₂.

**COMFORT**

L'edificio presenta degli innovativi impianti domotici volti a migliorare la versatilità e la qualità degli ambienti abitati. L'involucro esterno assolve al compito di brise soleil per il controllo dell'illuminazione naturale e isola dai rumori esterni.

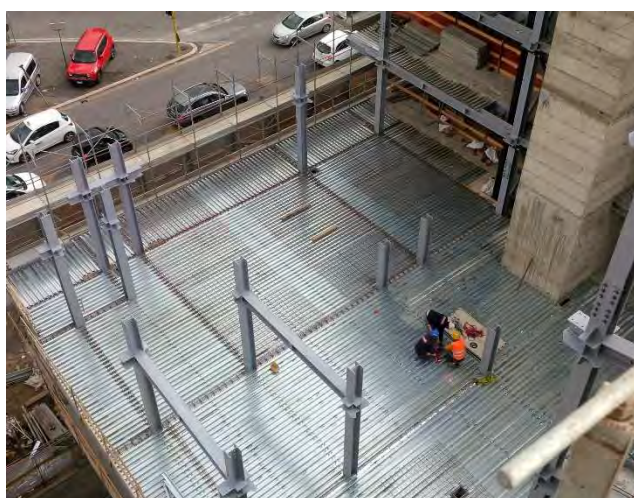


Figura 35 - Vista d'insieme di Palazzo Pitagora (in alto), fasi di costruzione della struttura in acciaio (in basso). Foto: Lorenzo Gardon - BIOEDIL Progetti srl; PICHLER projects srl

N7 CENTRO COMMERCIALE GREEN PEA

Rating di sostenibilità: ITACA 3.5

Committente: Eataly Real Estate

Luogo: Torino - **Anno:** 2020

Progetto architettonico: ACC Naturale

Architettura, Negozio Blu Architetti

Progetto strutturale: Ceas srl

Impresa: Impresa Novara srl

Costruttori metallici: CML

Tecnologia costruttiva: strutture in carpenteria metallica pesante con profili aperti e tubolari

Certificazione energetica: classe A3 - nZEB



INNOVAZIONE TECNOLOGICA

La struttura portante è in acciaio di qualità S355JR, interamente montata a secco e imbullonata in modo da garantire un agevole smantellamento a fine vita o per futuri ampliamenti e cambi destinazioni d'uso. Travi in profili HEA 1000 ordite in entrambe le direzioni e con luce massima di 16,6 metri costituiscono la maglia principale, che si innesta su colonne tubolari circolari di $\varnothing 406,4 \times 10$ mm e di $\varnothing 521 \times 40$ mm. Travi secondarie in IPE 400 disposte in direzione nord-sud e di luce massima pari a 8 m completano le strutture orizzontali. In copertura sono poste travi composte saldate aventi altezza di 990 mm, spessore d'anima di 25 mm ed ali di 40 mm.



ENERGIA - AMBIENTE

Dal punto di vista energetico l'edificio utilizza diverse fonti rinnovabili: pozzi geotermici, pannelli fotovoltaici, pannelli solari, smart flowers, fino a pavimenti piezoelettrici (kinetic floor) che consentono il recupero dell'energia cinetica generata dal passaggio degli utenti. L'insieme di queste strategie ambientali attive e passive, rivolte al raggiungimento della massima efficienza energetica e alla riduzione delle emissioni di CO₂ ha permesso di realizzare un edificio nZEB in classe A3 e ottenere un punteggio del Protocollo Itaca pari a 3.5.



COMFORT

Il layout dei vari piani interni permette di accogliere diffusamente la luce naturale. Le pareti interne sono rivestite da una vernice airlite, che neutralizza gli agenti inquinanti, previene la crescita di muffe e microbi ed elimina i germi.

Sia in facciata che in copertura è presente del verde, utilizzato come elemento architettonico, sviluppato attraverso un sistema di terrazze in cui sono piantumate piante ad alto fusto in grandi vasche. Il grande tetto giardino attrezzato, caratterizzato da una serra bioclimatica, permette un'ulteriore riduzione dell'impatto ambientale dell'edificio.

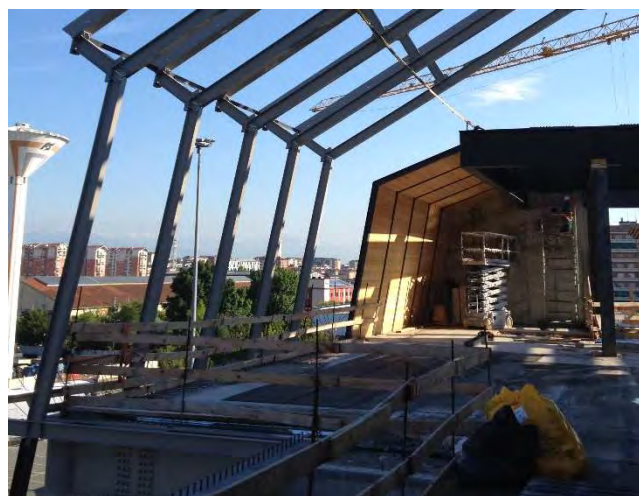


Figura 36 - Vista d'insieme del centro commerciale Green Pea (in alto), fasi di costruzione della struttura in acciaio (in basso). Foto: Fabio Oggero; ACC Naturale Architettura; Negozio Blu Architetti

N8 TORRE INTESA SANPAOLO

Rating di sostenibilità: LEED Platinum

Committente: Intesa Sanpaolo spa**Luogo:** Torino - **Anno:** 2015**Progetto architettonico:** Renzo Piano Building Workshop**Imprese:** Rizzani de Eccher, Implenia**Costruttori metallici:** ATI Cimolai spa, Bit Costruzioni spa, M.B.M. spa, Cometal spa**Tecnologia costruttiva:** "megacolonne" in profili saldati ed elementi reticolari denominati "transfer" posizionati a vari livelli**Certificazione energetica:** -**INNOVAZIONE TECNOLOGICA**

Il corpo sud è costituito da sei megacolonne che spiccano fino alla sommità dell'edificio rastremandosi verso l'alto. La struttura di trasferimento è costituita da quattro travature principali con sezione a "pi greco" sospese e collegate mediante giunti saldati alle grandi colonne. Oltre a portare i carichi che gravano dai piani soprastanti, il transfer sud sorregge anche l'auditorium. Il transfer nord è invece costituito da due mensole che poggiano, nella parte inferiore, su un setto del "core" in c.a. e sono collegate al nucleo, nella parte superiore, da 12 barre filettate in acciaio. I controventi nord-sud ubicati al di sopra del livello 7, sono costituiti dalle megacolonne, da funi e dalle travi tubolari in acciaio.

**ENERGIA - AMBIENTE**

L'edificio ha ottenuto la certificazione LEED Platinum sia per la categoria "nuove costruzioni" sia nella categoria "gestione sostenibile dell'edificio". Il grattacielo è alimentato esclusivamente da energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili certificate. Le facciate est e ovest sono rivestite da una "doppia pelle" di acciaio e cristallo con lamelle mobili che creano un cuscinetto termico. Le lamelle sono gestite da un sistema centralizzato che ne regola l'apertura e la chiusura. In copertura è presente una serra bioclimatica che: impedisce alla radiazione solare di accumularsi sul tetto per poi trasferirsi all'interno dell'edificio, evita le dispersioni termiche in inverno e mantiene una temperatura controllata di estate.

**COMFORT**

Il sistema di riscaldamento e raffrescamento sfrutta l'energia geotermica attraverso l'acqua di falda e le pompe di calore e i pannelli fotovoltaici posizionati in facciata contribuiscono ad abbattere il fabbisogno complessivo di energia elettrica dell'edificio. Particolare attenzione è stata riposta anche nello studio dei principi bioclimatici e della ventilazione naturale nella doppia pelle e nei solai alveolari, dove una rete di sensori rileva le differenti condizioni climatiche, riducendo le dispersioni di calore degli ambienti in inverno e dissipando il calore accumulato tra le due vetrate in estate. Il sistema di illuminazione interno regola l'intensità delle sorgenti in funzione della quantità di luce naturale e della presenza di persone.

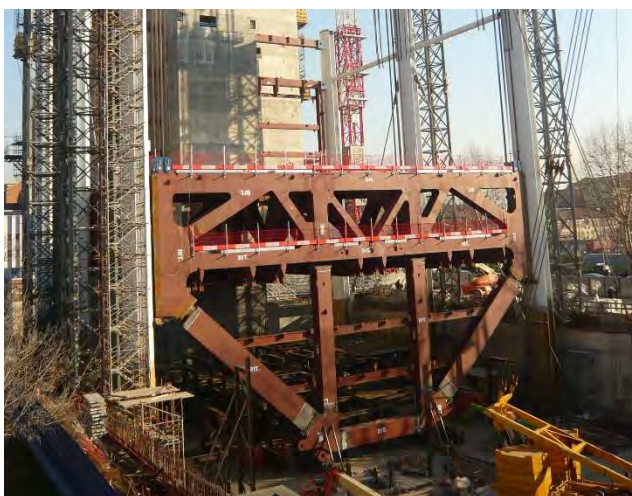


Figura 37 - Vista d'insieme della Torre ultimata e in fase di cantiere (in alto), dettagli megacolonne e transfer (in basso). Foto: Enrico Cano - RPBW; Marco Clozza; RPBW

N9 LA SERENISSIMA

Rating di sostenibilità: LEED Gold

Committente: Morgan Stanley SGR spa

Luogo: Milano - **Anno:** 2012

Progetto architettonico: Park Associati

Progetto strutturale: General Planning

Impresa: Mangiavacchi e Pedercini spa

Facciate: CNS spa

Tecnologia costruttiva: mantenuta struttura in acciaio anni '60 coadiuvata da nuovi elementi per il raggiungimento di attuali standard energetici

Certificazione energetica: CENED B



INNOVAZIONE TECNOLOGICA

L'intervento di ristrutturazione ha consentito di mantenere l'originaria struttura portante in acciaio. Questa, con i suoi caratteristici pilastri binati, grazie ai suoi ingombri minimi e alle elevate caratteristiche meccaniche, garantisce l'assenza di elementi portanti all'interno degli ambienti lavorativi. Lo spazio tra i profili in acciaio e la nuova facciata arretrata è riempito dagli elementi scatolari pressopiegati. Le rimanenti parti dell'involucro sono costituite da pannelli sandwich in lamiera d'acciaio zincato e pannelli interni in cartongesso, con interposto un opportuno coibente in lana minerale. Le zone trasparenti sono infine costituite da infissi in alluminio a taglio termico.

ENERGIA - AMBIENTE

La riprogettazione dell'involucro edilizio ha avuto, come importante risultato, quello del miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio. Il pacchetto complessivo dell'involucro, infatti, ha ottenuto una trasmittanza complessiva di $1,46 \text{ W/m}^2\text{K}$, insieme a un abbattimento acustico di 45 dB. L'arretramento del perimetro dell'edificio ha permesso, inoltre, di risolvere la problematica dei ponti termici. Il consumo energetico annuo è passato inoltre da $16,14 \text{ kWh/m}^2$ a $21,28 \text{ kWh/m}^2$, ottenendo la certificazione LEED Gold e passando da una classe energetica G a una B, della certificazione energetica secondo il metodo CENED.

COMFORT

La progettazione degli impianti ha permesso di impiegare sistemi di caldaie a condensazione, insieme a gruppi frigoriferi ad alta efficienza energetica. Il tutto viene gestito da postazioni di controllo provviste di elaboratore elettronico, in modo da regolare tutti gli aspetti energetici e climatici dell'intero complesso edilizio. Altro aspetto punto di forza del progetto è stato il voler privilegiare l'illuminazione naturale rispetto a quella artificiale, complice anche una rinnovata flessibilità degli ambienti interni che consente di sfruttare al massimo le potenzialità della luce esterna a favore di un notevole risparmio energetico.



Figura 38 - Vista dell'edificio al termine della riqualificazione (in alto), strutture in acciaio preesistenti e interventi di modifica dell'assetto originario (in basso). Foto: Andrea Martiradonna; General Planning

N10 SYMBIOSIS D

Rating di sostenibilità: LEED Platinum, WELL

Committente: Covivio**Luogo:** Milano - **Anno:** 2022**Progetto architettonico:** Antonio Citterio Patricia Viel (ACPV).**Progetto strutturale:** SCE Project**Impresa:** CMB**Costruttore metallico:** M.B.M. spa**Tecnologia costruttiva:** struttura mista con grandi travi composte saldate**Certificazione energetica:** -**INNOVAZIONE TECNOLOGICA**

Il restringimento dell'impronta dell'edificio al piano terra è stato ottenuto sviluppando una struttura di trasferimento dei carichi inserita in corrispondenza del livello primo e secondo, costituita da un sistema di travi in acciaio in grado di ripartire le sollecitazioni provenienti dai pilastri dei piani superiori sui muri dei vani scala e sulle colonne in acciaio al piano terra; tra queste spiccano due elementi con forma a "V" disposti perpendicolarmente l'un l'altro, che si sviluppano per un'altezza di 10 m e garantiscono il sostegno del volume in aggetto sul fronte Nord. I pilastri inclinati (20° sulla verticale) che compongono le "V" sono realizzati con piattini saldati di spessore massimo pari a 60mm.

**ENERGIA - AMBIENTE**

L'edificio si propone come modello di riferimento innovativo rispetto al tema della sostenibilità, e infatti ha ottenuto la certificazione LEED Core & Shell con livello Platinum e la certificazione WELL minimo score Bronze. Inoltre, è stato uno dei primi edifici a ottenere il rating WELL Health Safety.

Ai fini della sostenibilità, oltre alla massimizzazione dell'efficienza delle apparecchiature, si prevedono sistemi di pompaggio a portata variabile ottimizzata con i carichi effettivi, recupero del calore dell'aria da espellere ad alta efficienza, reimpiego delle acque meteoriche.

Il progetto ha vinto il premio OICE 2024 per l'edilizia sostenibile.

**COMFORT**

Il comfort ambientale è raggiunto attraverso la realizzazione di un microclima interno con massima possibilità di regolazione della temperatura. I fluidi energetici sono prodotti senza impiego di combustibili fossili. Acqua calda e refrigerata sono prodotte con tecnologia a pompa di calore polivalente acqua/acqua che fornisce energia termica a bassa temperatura senza impiego di energia elettrica quando c'è richiesta di climatizzazione. Le macchine sono alimentate con energia elettrica prodotta da pannelli fotovoltaici. È previsto il monitoraggio continuo dell'inquinamento indoor con multi-sensori per controllare i parametri indicativi della qualità secondo il protocollo WELL quali radon, formaldeide, polvere e fumo, H₂, CO e CO₂.

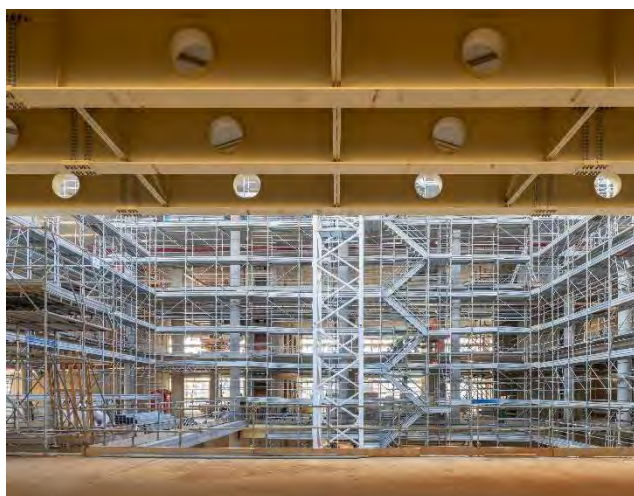
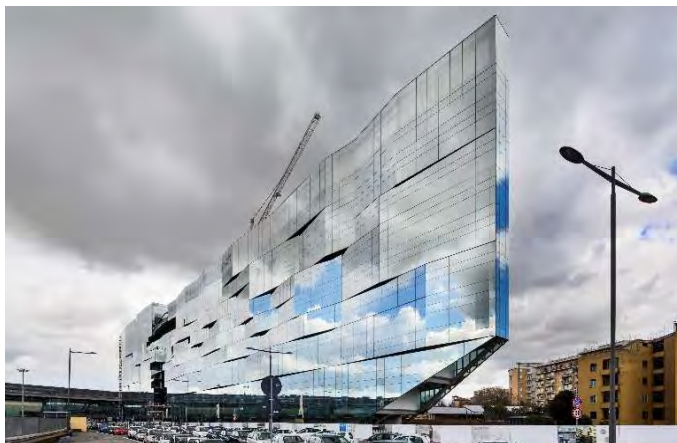


Figura 39 - Vista d'insieme dell'edificio (in alto), vista delle travi composte saldate e degli elementi a "V" (in basso). Foto: Leo Torri; Giulio Boem; SCE Project

N11 HEADQUARTERS BNL

Rating di sostenibilità: LEED Gold

Committente: BNP Paribas Real Estate Property Development spa
Luogo: Roma - **Anno:** 2016
Progetto architettonico: Atelier(s) Alfonso Femia
Progetto strutturale: Redesco Progetti srl
Impresa: Parsitalia
Costruttore metallico: M.B.M. spa; PICHLER projects srl
Tecnologia costruttiva: elementi in acciaio altoresistenziale
Certificazione energetica: classe A



INNOVAZIONE TECNOLOGICA

Le strutture di elevazione sono contraddistinte da schemi tridimensionali complessi articolati da elementi in carpenteria metallica (classe S355J0). La maglia strutturale principale si riconduce ad uno schema di dimensioni di 12 x 9 m, in cui la luce maggiore è coperta da travi alte 60 cm, e quella minore da solai che poggiano direttamente su di esse senza necessità di travi secondarie. I pilastri d'acciaio sono suddivisi in principali (tipo HD 400) e secondari (tipo HEB 360 e HEB 300), sui quali si innestano le travi attraverso vincoli di tipo a cerniera. Per gli elementi complessi sono presenti travature reticolari poste nel piano di facciata, con l'utilizzo di elementi ad elevata classe di resistenza S460N.



ENERGIA - AMBIENTE

L'immobile si distingue per l'elevata sostenibilità ambientale, con una riduzione stimata del 30% dei consumi energetici, in linea con i livelli di certificazione secondo lo standard LEED Gold, grazie a sistemi a basso consumo idrico, elettrico e a un'illuminazione naturale modulata in funzione delle necessità. Anche per gli interni sono stati scelti materiali rinnovabili ed ecocompatibili.



COMFORT

L'edificio presenta l'utilizzo di differenti tipologie di facciata, che si alternano rapportandosi al contesto procedendo lungo l'asse principale, non solo per un fine estetico ma anche funzionale con l'obiettivo di assicurare elevati livelli di comfort e di benessere all'interno di tutti gli ambienti di lavoro. Le chiusure verticali sono costituite da una facciata ventilata in ceramica a nord-est che si alterna ad un sistema a doppia pelle (facciata strutturale in acciaio con parti vetrate a camera singola) verso sud.



Figura 40 - Vista d'insieme dell'edificio (in alto), vista delle forature in cantiere delle travi principali e montaggio delle facciate vetrate (in basso). Foto: Luc Boegly; Redesco Progetti srl (vista interna)

N12 PRYSMIAN HQ

Rating di sostenibilità: LEED Platinum

Committente: Prysmian Group**Luogo:** Milano - **Anno:** 2017**Progetto architettonico:** Maurizio Varratta Architetto**Progetto strutturale:** SCE Project**Impresa:** Italiana Costruzioni spa**Costruttori metallici:** ATI ISA spa, MAP spa, ICOM engineering srl**Tecnologia costruttiva:** strutture principali in telai controventati in carpenteria metallica**Certificazione energetica:** classe B**INNOVAZIONE TECNOLOGICA**

La struttura portante del centro direzionale è costituita da telai controventati in carpenteria metallica con vani scala e setti in c.a. Le maglie strutturali sono estremamente regolari e vedono l'impiego di pilastri tubolari ($\varnothing 273$) in acciaio con spessore 20mm. Per le travi sono state impiegate, a seconda delle zone e dei relativi carichi, una serie di profili HEA 360, HEA 600, HEA 650, HEB 600 e HEA 700. In copertura sono invece previste delle capriate in carpenteria metallica costituite da profili scatolari in acciaio da 200x100x6mm (ubiccate in corrispondenza delle zone opache), e da doppi piatti in acciaio 200x15mm calastrellati (in presenza di copertura trasparente).

ENERGIA - AMBIENTE

L'intervento di riconversione edilizia del complesso presenta un'integrazione di molteplici aspetti di sostenibilità ambientale. Le fondazioni originarie sono state reimpiegate per integrarsi con la struttura in acciaio dei nuovi corpi di fabbrica, evitando così ulteriori interventi di scavo. Il sistema di climatizzazione centralizzato è affiancato da un sistema di riscaldamento radiante a pavimento per i camminamenti delle serre. Per queste ultime, il raffrescamento avviene attraverso delle griglie poste ad altezza d'uomo che, sfruttando i moti convettivi, assicurano la circolazione dell'aria nella parte alta della costruzione. L'edificio ha ottenuto la certificazione LEED Platinum.

COMFORT

Per il controllo dell'irraggiamento solare sono presenti una serie di lamelle frangisole orientabili poste in copertura e gestite in maniera centralizzata. A queste si aggiunge un sistema di tende poste sulle falde a sud, sulle falde a nord e sulle vetrate delle testate delle serre. Analoghi elementi di controllo dei raggi luminosi sono presenti in corrispondenza delle chiusure verticali trasparenti dei vari corpi di fabbrica, mentre un sistema meccanico di apertura degli elementi metallici di copertura si occupa di realizzare un'opportuna ventilazione naturale quando necessario. Sono presenti 3700 mq di pannelli fotovoltaici, 10 stazioni di ricarica per auto elettriche e 20 postazioni per la raccolta differenziata.



Figura 41 - Vista fronte ingresso dell'Headquarter (in alto), dettagli delle fasi di cantiere (in basso). Foto: Saverio Lombardi Vallauri; Cristiano Bendinelli; Paolo Sandro Carlini

N13 SAN MARINO OUTLET EXPERIENCE

Rating di sostenibilità: BREEAM "Very Good"

Committente: The Market PropCo S.r.l.
Luogo: Falciano, Repubblica San Marino - **Anno:** 2016
Progetto architettonico e strutturale: One Works spa
Progetto strutturale: One Works spa
Impresa: Colombo Costruzioni spa
Costruttore metallico: M.B.M. spa
Tecnologia costruttiva: strutture in carpenteria, con solai in lamiere grecate e prefabbricati alveolari
Certificazione energetica: -



INNOVAZIONE TECNOLOGICA

L'edificio presenta una struttura a telaio costituito da un'orditura di travi e pilastri opportunamente controventati. In tutte le soluzioni è stata adottata una maglia di pilastri tubolari a sezione circolare \varnothing 610 mm e sp. 30 mm in acciaio in qualità S355. In molti casi gli elementi verticali trovano continuità con le colonne in calcestruzzo presenti nei livelli interrati. Le travi in acciaio principali coprono luci variabili e si estendono per un'altezza massima di 700 mm, mentre le travi secondarie, dove presenti, si sviluppano per un'altezza massima di 400 mm. I solai dei livelli fuori terra sono stati realizzati con una lamiera grecata in acciaio associata ad un getto collaborante in calcestruzzo.



ENERGIA - AMBIENTE

Il complesso è stato pensato nel rispetto di elevati standard di sostenibilità in tutte le fasi di progettazione e costruzione. Nello specifico, The Market è stato progettato secondo i criteri della certificazione BREEAM International 2013 for New Construction. Il rating ottenuto è Very Good, con un punteggio per la fase di design pari al 64,3%.



COMFORT

Le soluzioni impiantistiche adottate per garantire sia i fabbisogni energetici che quelli idrici-sanitari del complesso assicurano il contenimento dei consumi energetici e dei costi di esercizio, il mantenimento nel tempo delle opere, la flessibilità d'uso e le condizioni ambientali necessarie per lo svolgimento delle attività e il benessere delle persone. Le aperture inserite tra gli edifici favoriscono la ventilazione naturale durante il periodo estivo ottimizzando l'azione del vento durante tutto l'anno.

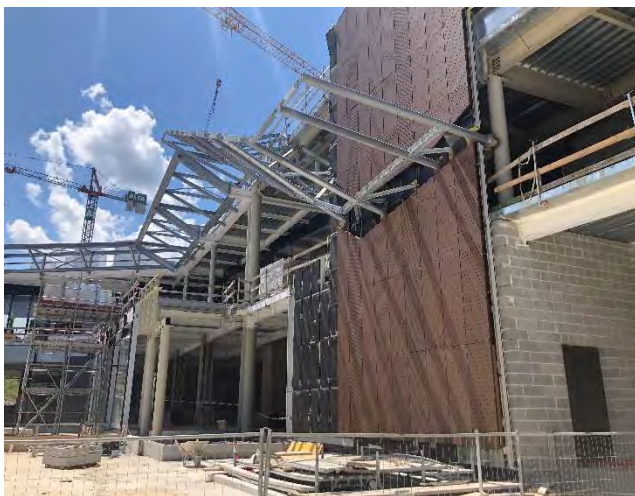
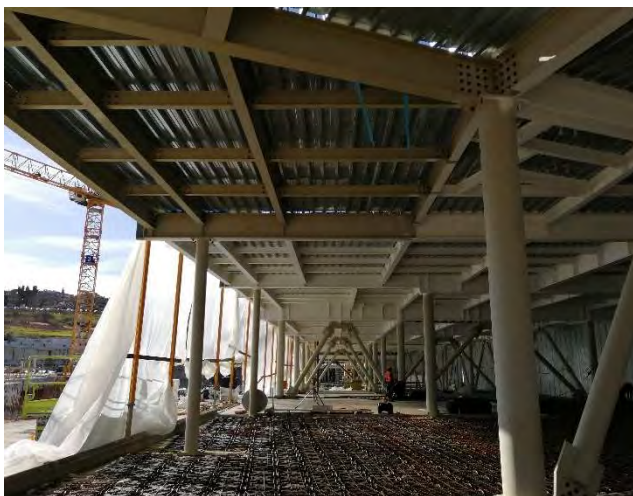


Figura 42 - Vista d'insieme di uno degli ingressi del San Marino Outlet Experience (in alto), fasi di cantiere della struttura dell'edificio (in basso).
 Foto: One Works

N14 ITAS FORUM

Rating di sostenibilità: -

Committente: ITAS Group**Luogo:** Trento - **Anno:** 2022**Progetto architettonico:** Studio BBS**Progetto strutturale:** PICHLER projects srl**Imprese:** ATI PICHLER projects srl, Caliarì Giuseppe & C srl, Giacca srl, Larentis Lorenz srl, Gruber srl**Tecnologia costruttiva:** colonne in profili tubolari a sezione cava ed elementi orizzontali in profili laminati aperti, con un elemento reticolare a sbalzo**Certificazione energetica:** classe B+**INNOVAZIONE TECNOLOGICA**

La struttura in acciaio presenta al piano terra dei profili circolari cavi $\varnothing 355.6 \times 16$ mm in S355J2 obliqui che costituiscono una grande trave reticolare che favorisce la connessione visiva degli ambienti interni. Le colonne inclinate sono ancorate al basamento in c.a. dei piani interrati e sorreggono un solaio la cui struttura è formata da una griglia di IPE e da travi di bordo reticolari realizzate con profili HEA 180 (acciaio S355J0) per i correnti superiore e inferiore, collegati da HEA 100 verticali e due UPN 100 accoppiate diagonali. Le strutture in elevazione dei piani superiori sono costituite da pilastri circolari cavi continui su tutti i piani, a cui sono saldate le piastre di connessione con gli elementi orizzontali di ciascun livello.

ENERGIA - AMBIENTE

Particolare attenzione è stata prestata anche sostenibilità ambientale con specifiche per quanto riguarda la capacità isolante energetica e acustica dell'involucro edilizio che hanno permesso al progetto di raggiungere la classe B+

COMFORT

Le facciate esterne sono caratterizzate da grande trasparenza, che connette l'edificio con il resto della città. Le pareti vetrate interne sono state studiate per garantire trasparenza e luminosità degli spazi, creando un collegamento visivo tra le diverse funzioni dell'edificio e con l'ambiente circostante. In ambito impiantistico è stato realizzato l'impianto di riscaldamento e raffrescamento a pannelli radianti ed è stata inoltre massimizzata la possibilità di aerazione naturale in tutti gli uffici.



Figura 43 - Vista d'insieme dell'edificio e dei pilastri obliqui (in alto), fasi di cantiere di strutture e facciate (in basso). Foto: Alex Filz (finito); PICHLER projects srl (cantiere)

N15 BATTISTELLA HEADQUARTER

Rating di sostenibilità: -

Committente: Battistella Company spa
Luogo: Pieve di Soligo, Treviso - **Anno:** 2023
Progetto architettonico: Signorotto + Partners
Progetto strutturale: Sogen
Impresa: CEV spa
Costruttore metallico: PICHLER projects srl
Tecnologia costruttiva: struttura intelaiata in acciaio, mentre esternamente presenta una facciata vetrata a tutt'altezza.
Certificazione energetica: classe A4



INNOVAZIONE TECNOLOGICA

La struttura è composta da sottili pilastri circolari in acciaio da 25 o 35 cm che sorreggono solai in lamiera grecata; un vano scale in calcestruzzo; e un vano ascensore in acciaio e vetro, da cui si staccano le rampe di connessione verticale insieme alla passerella. La struttura della facciata è realizzata in profili reticolari saldati in officina e cantiere composti da tubolari di sezione 350 x 150 ancorati alla struttura principale in corrispondenza dei solai tramite tubolari perimetrali che si connettono ai pilastri arretrati attraverso monconi HEB 200. La passerella di collegamento con l'esistente presenta una struttura indipendente di travi HEA e colonne a Y ancorate al terreno, trattati con zincatura a caldo per aumentare la durabilità.

ENERGIA - AMBIENTE

Particolare attenzione è stata prestata agli aspetti di sostenibilità, con l'edificio che raggiunge la classe energetica A4. Ad ovest è presente l'unico lato opaco dell'edificio, la cui facciata è realizzata da una struttura in carpenteria metallica, isolante in lana di roccia ad alta densità e un tamponamento in pannelli sandwich di lana minerale a media densità per rispettare i requisiti di resistenza al fuoco, oltre ad una facciata ventilata con rivestimento in pannelli metallici.

COMFORT

Le chiusure trasparenti presentano una finitura serigrafata dei vetri che contribuisce a ridurre l'irraggiamento solare, limitando così il fabbisogno energetico estivo per il raffrescamento e conferendo all'involucro un aspetto lucente nelle ore notturne. La luce zenitale portata dai lucernari poligonali posti in copertura illumina naturalmente l'open space interno.

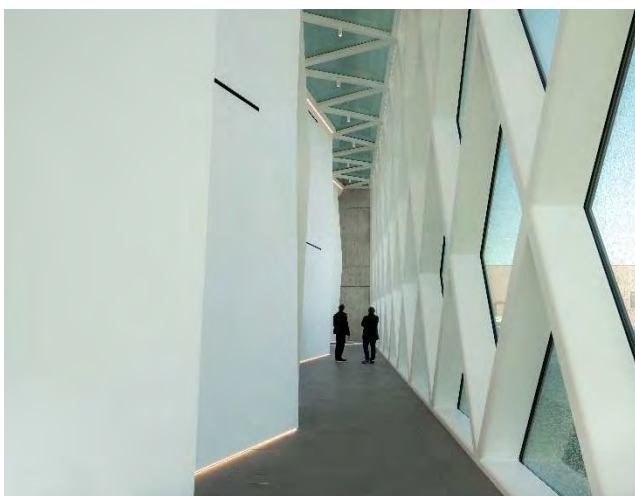


Figura 44 - Vista d'insieme del Battistella Headquarter (in alto), fasi di cantiere della struttura in acciaio dell'edificio e vista degli interni (in basso). Foto: Marco Zanta (finito); PICHLER projects srl (cantiere)

N16 RECREATION CENTER - CAMPUS BOCCONI Rating di sostenibilità: LEED Platinum

Committente: Università Luigi Bocconi.

Luogo: Milano - **Anno:** 2020 (edifici didattici)

Progetto architettonico: SANAA

Progetto strutturale: Studio di Ingegneria Pereira

Imprese costruttrici: Impresa Percassi spa

Costruttore metallico: MAEG Costruzioni spa

Tecnologia costruttiva: elementi orizzontali e verticali in acciaio a sostegno delle grandi capriate. Facciate ondulate innestate sui profili tubolari in acciaio attraverso sottostrutture in carpenteria

Certificazione energetica: -

**INNOVAZIONE TECNOLOGICA**

La necessità di grandi campate ha richiesto una struttura metallica con pilastri a sezione maggiorata e travi reticolari binate che sorreggono solai in lamiera grecata con getto di calcestruzzo collaborante. Data la forma circolare e le grandi luci, la struttura orizzontale risulta quasi cassettonata con irrigidimenti laterali per le travi reticolari che si ancorano a pilastri disposti a circa 5 m dal perimetro dell'edificio e vani scale circolari in calcestruzzo. Sono in totale 860 le tonnellate di profili in acciaio impiegate per l'edificio.

**ENERGIA - AMBIENTE**

Grande attenzione è stata dedicata alla sostenibilità raggiungendo la certificazione LEED Platinum grazie a un'autosufficienza energetica fornita da un impianto da 1200 kW di potenza nominale di pannelli fotovoltaici in copertura che alimenta pompe di calore ad acqua in costante scambio termico con il corso d'acqua del Ticinello.

**COMFORT**

L'impianto di climatizzazione è partizionato per ogni singola aula in modo da ottimizzarne il consumo e i terminali sono nascosti all'interno dei controsoffitti sospesi di ciascun ambiente con caratteristici elementi puntuali, anch'essi circolari.

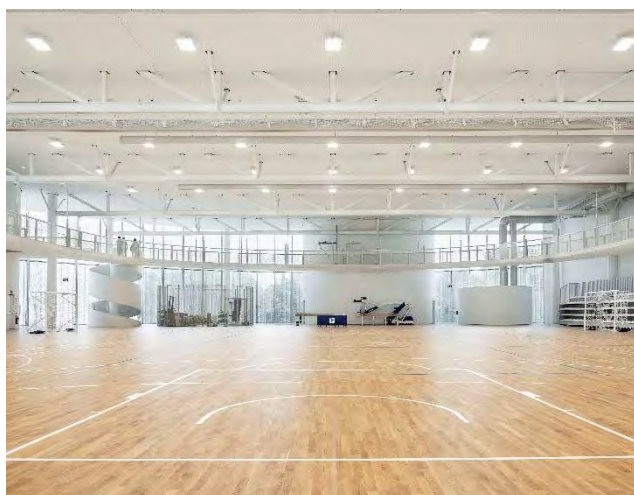


Figura 45 - Vista generale del Campus (in alto), vista interna del Recreation Center e dettaglio delle strutture in acciaio in cantiere (in basso).
Foto: SANAA; Filippo Fortis; MAEG Costruzioni spa

N17 CAMPUS MILANO INTERNAZIONALE

Rating di sostenibilità: LEED Gold

Committente: Fondo Immobiliare di Lombardia Comparto Uno gestito da Investire SGR spa

Luogo: Milano - Anno: 2020

Progetto architettonico: GaS Studio

Progetto strutture in acciaio: Steel Project Engineering srl

Costruttore chiavi in mano: PICHLER projects srl

Tecnologia costruttiva: strutture in carpenteria pesante con travi di tipo "slim floor" composte e saldate in officina

Certificazione energetica: -



INNOVAZIONE TECNOLOGICA

La struttura portante dell'edificio è costituita da colonne e travi in acciaio, per un peso complessivo di circa 500 tonnellate in qualità S355J0. Le colonne sono composte da elementi a doppio T saldati con dimensioni a progetto e con teste rettificata in modo da garantire una perfetta planarità dei giunti verticali testa a testa. Anche le travi piate che costituiscono gli appoggi dei solai, di tipo slim floor, sono composte da elementi saldati. Il pacchetto di copertura si sviluppa su una superficie di 730 m² con solaio "slim floor" di spessore 210 cm, così come i solai interni.



ENERGIA - AMBIENTE

L'edificio si propone come modello di riferimento innovativo rispetto al tema della sostenibilità, e infatti ha ottenuto la certificazione LEED Gold.



COMFORT

Al fine di offrire più spazio e luce alle camere quasi tutti i servizi comuni (cucine, sale mensa, sale studio, sala musica, bar ecc.) sono collocati al piano terra e al primo piano interrato. La progettazione di un patio, di forma lunga ma poco profonda, ha permesso una maggior illuminazione naturale degli spazi conviviali di cui è dotato il complesso studentesco.

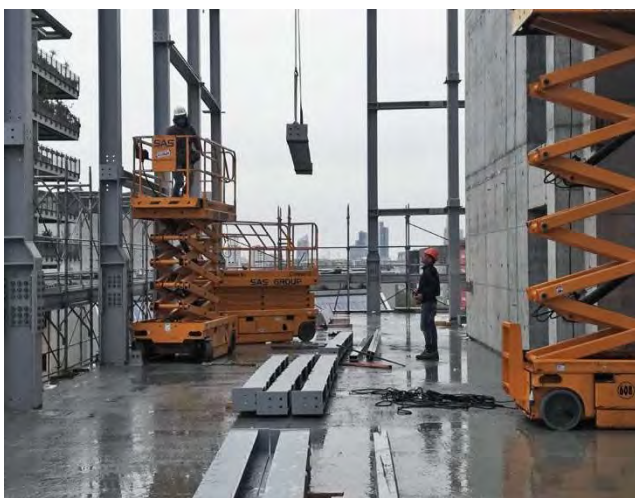
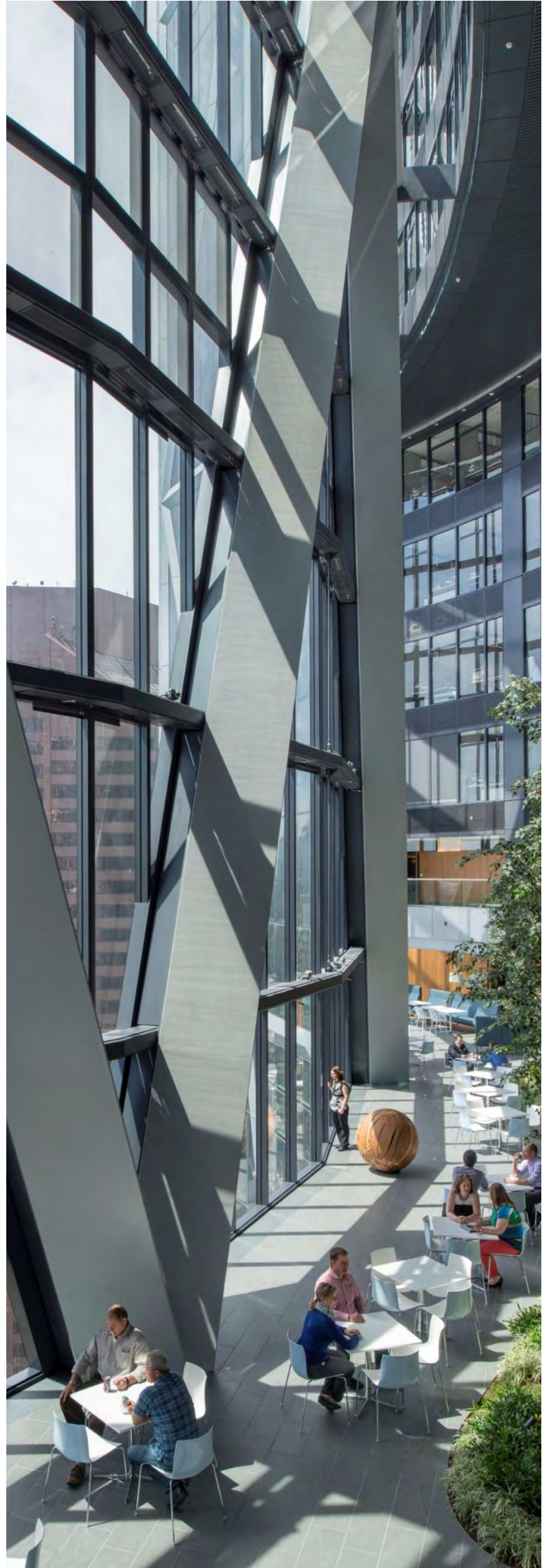


Figura 46 - Vista del Campus inserito nel quartiere della Bicocca (in alto), fasi di costruzione delle strutture in acciaio (in basso). Foto: Oskar Da Riz (finito); PICHLER projects srl (cantiere)

5 CONCLUSIONI

Grattacielo "The Bow", Canada. Committente: H+R Real Estate Investment Trust - Progetto architettonico: Foster + Partners, Zeidler Partnership (collaborating architects) - Progetto strutturale: Yolles - Impresa: Ledcor Construction - Foto: Nigel Young - Foster + Partners



CONCLUSIONI

Questo documento è nato con lo scopo di fare il punto sullo stato dell'arte di metodi e strumenti attualmente disponibili e utilizzati dal mercato come supporto per il raggiungimento dell'obiettivo di decarbonizzazione del settore delle costruzioni imposto dalla recente normativa in materia.

Il quadro che ne deriva evidenzia la necessità di sviluppare nuovi modelli di cooperazione per migliorare i livelli di sostenibilità dei materiali da costruzione e raggiungere l'obiettivo di emissioni nulle al 2050.

In questo contesto, la filiera dell'acciaio per costruzioni in carpenteria metallica rappresenta un settore capace di innovarsi continuamente e proiettarsi verso un futuro a impatto zero, visto che oltre il 35% degli investimenti del comparto è rivolto al miglioramento delle performance ambientali, della salute e sicurezza sul lavoro. Tali investimenti hanno già contribuito a ridurre le emissioni specifiche di CO₂ del settore siderurgico nazionale del 60% dal 1990. Oltre l'85% della produzione italiana è realizzata grazie al riciclo del rottame ferroso, che avviene nei forni elettrici alimentati prevalentemente con energia rinnovabile e la siderurgia italiana si classifica al primo posto in Europa per livello di decarbonizzazione e circolarità (AAVV, 2024). Inoltre, il settore siderurgico nazionale costituisce un volano occupazionale per il sistema Paese. Le aziende siderurgiche investono ingenti risorse sia nel miglioramento dei siti produttivi ed anche nella diffusione di una vera e propria cultura della sicurezza sui propri lavoratori in un settore fortemente specializzato. I nuovi investimenti stanno trasformando le aziende operanti nel settore in "fabbriche intelligenti", ovvero luoghi dove il mondo reale e il mondo digitale si integrano.

Nel perseguire queste strategie, ci sono importanti benefici e rischi da tenere in considerazione. In particolare, immaginare e attuare una transizione su larga scala verso un'economia sostenibile e circolare nell'ambiente costruito comporta dei significativi rischi se i cambiamenti del più ampio contesto ecologico, sociale ed economico non vengono pianificati e gestiti con molta attenzione.

Il processo di decarbonizzazione del settore può creare il rischio di conseguenze indesiderate per gli

ecosistemi ambientali. Può anche portare al perpetuarsi o all'esacerbarsi di pratiche lavorative ingiuste e a spostamenti iniqui dei guadagni e delle perdite economiche nel processo di transizione industriale.

Per stimolare il mercato e consentire ai progettisti, ai proprietari di edifici e alle comunità di prendere le decisioni giuste, gli strumenti a sostegno della decarbonizzazione dei materiali da costruzione richiedono progressi più rapidi. Questi strumenti devono essere supportati dall'accesso a dati di maggiore qualità e da verifiche trasparenti condotte da revisori terzi qualificati. Una maggiore sinergia potrebbe essere sfruttata combinando la certificazione di pratiche e condizioni di lavoro eque e ambientali.

In quest'ottica il presente White Paper vuole divenire un documento di riferimento per gli attori della filiera delle costruzioni che vogliono adottare un approccio basato sull'intero ciclo di vita degli edifici per la valutazione delle strategie di decarbonizzare dell'ambiente costruito, per valutare non esclusivamente l'impatto diretto prodotto da un determinato prodotto o materiale, ma anche da un sistema costruttivo e tutte le conseguenze indirette che questi hanno sull'ambiente e sulla società.

La ricerca condotta e i risultati riportati in questo documento evidenziano, infatti, che un approccio integrato e olistico nella filiera delle costruzioni in carpenteria metallica è ormai consolidato da anni e ne garantisce qualità e produzione industriale lungo l'intero ciclo di vita. Se da un lato, infatti, le certificazioni di sostenibilità e gli strumenti metodologici di valutazione ambientale sono divenuti prassi quotidiana del processo progettuale, sia perché richiesti dal mercato che dalla normativa vigente, dall'altro la filiera delle costruzioni in carpenteria metallica ha dimostrato di essere tra le più competitive e pronte per rispondere alla sfida della decarbonizzazione che l'edilizia si trova ad affrontare. Considerando infatti, il grande impatto che gli edifici hanno sia sul consumo energetico che sulle emissioni di gas serra, i prodotti in acciaio nell'approccio Life Cycle Thinking si presentano come la chiave perfetta per rendere il patrimonio edilizio efficiente, sostenibile e decarbonizzato, essendo tra i materiali che possono contribuire in modo efficace e concreto alla riduzione dei consumi ed emissioni del settore e allo sviluppo di un'economia circolare.

6 BIBLIOGRAFIA



Foto: Freepik, freepik

- AAVV, *La metodologia Life Cycle per le costruzioni in carpenteria metallica*, Position Paper della Fondazione Promozione Acciaio - Commissione Sostenibilità - Milano, 2024.
- Associazione Nazionale Costruttori Edili (ANCE) (2021). Le nuove misure Ue per l'efficiamento energetico degli edifici. <https://ance.it/2021/12/le-nuove-misure-ue-per-lefficiamento-energetico-degli-edifici/>
- Barucco M.A. (2015). *Progettare e costruire in acciaio sagomato a freddo*. EdicomEdizioni.
- Benke B., Lewis M., Carlisle S., Huang M., & Simonen K. (2022). *Developing an Embodied Carbon Policy Reduction Calculator*. Carbon Leadership Forum, University of Washington. Seattle, WA. <https://hdl.handle.net/1773/48566>
- Bhatnagar R, Keskin D, Romme AGL, Huijben JCCM. (2022). Design principles for sustainability assessments in the business model innovation process. *Journal of Cleaner Production* 377. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134313>
- Binder JK, Belz FM. Sustainable Entrepreneurship: What it is. In: AA.VV. Handbook of Entrepreneurship and Sustainable Development Research. Ed. Paula Kyrö, 2015, 30-72.
- Bocchini P, Frangopol DM, Ummenhofer T, Zinke T. (2014). Resilience and Sustainability of Civil Infrastructure: Toward a Unified Approach. *Journal of Infrastructure Systems* 20. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IS.1943-555X.0000177](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000177)
- BPIE (Buildings Performance Institute Europe) (2022). Recommendations for industrialised renovation. BPIE
- Brand S. (1994). *How Buildings Learn: What Happens After They're Built*. Viking Press. ISBN: 978-0-670-83515-7
- Bruneau M., Chang S.E., Eguchi R.T., Lee G.C., O'Rourke T.D., Reinhorn A.M., Shinozuka M., Tierney K., Wallace W.A. & Von Winterfeldt D. (2003). A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *Earthquake Spectra*, 19(4), 733-752. <https://doi.org/10.1193/1.1623497>
- Carpenter S, Walker B, Anderies J, et al. (2001). From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What?. *Ecosystems* 4, 765-781. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9>
- C40 Cities Climate Leadership Group (2022). Reinventing Cities: A global competition for zero-carbon and resilient urban projects. https://www.c40reinventingcities.org/data/sites_134e6/categorie/9/eng_reinventing_cities_-_regulation_expression_of_interest.docx_1_0fbc3.pdf
- Commissione europea (1998). Energy Efficiency in the European Community «Towards a Strategy for the Rational use of Energy, COM(1998) 246 final. Brussels, Belgium. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:1998:0246:FIN:EN:PDF>
- Commissione europea (2019). Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni: Il Green Deal Europeo, COM(2019) 640 final. Brussels, Belgium. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0006.02/DOC_1&format=PDF
- Commissione europea (2020a). Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni: Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare, per un'Europa più pulita e più competitiva, COM(2020) 98 final. Brussels, Belgium. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0098>
- Commissione europea (2021). European green deal: Delivering on our targets. Publications Office of the European Union.
- Commissione europea (2022a). EU budget policy brief: the EU as an issuer: the NextGenerationEU transformation. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2761/111076>
- Commissione europea (2022b). Level(s) and the new European Bauhaus. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2779/104409>
- Commissione europea (2022c). Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al Comitato economico e sociale europeo e al Comitato delle Regioni: Un'ondata di ristrutturazioni per l'Europa: investire gli edifici, creare posti di lavoro e migliorare la vita, COM(2020) 662 final. Brussels, Belgium. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0662>
- Commissione europea (2022d). Regolamento delegato 2020/2155 che integra la direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio istituendo un sistema comune facoltativo dell'Unione europea per valutare la predisposizione degli edifici all'intelligenza. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L431/9. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R2155&from=FR#:~:text=Il%20presente%20regolamento%20istituisce%20un,la%20metodologia%20comune%20per%20calcolarlo.>
- Commissione europea (2022e). Regolamento di esecuzione 2020/2156 che specifica le modalità tecniche per l'attuazione efficace di un sistema comune facoltativo a livello di Unione per valutare la predisposizione degli edifici all'intelligenza. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L431/25. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R2156&from=EN>
- Consiglio delle Comunità Europee (1974). Risoluzione del Consiglio concernente gli obiettivi per il 1985 della politica energetica comunitaria. 31975Y0709(02) [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31975Y0709\(02\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31975Y0709(02))
- Consiglio dell'Unione europea (1993). Direttiva 93/76/CEE intesa a limitare le emissioni di biossido di carbonio migliorando l'efficienza energetica (SAVE). 31993L0076 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31993L0076>

- Copernicus Climate Change Services (C3S) (2022). Global Climate Highlights 2022. <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2022#:~:text=During%20the%20year%2C%20CO2%20concentrations,seen%20for%202020%20and%202021>.
- Crawford R.H. (2011). *Life Cycle Assessment in the Built Environment*. Routledge, New York, USA. ISBN: 9780367576981.
- Dijkstra-Silva S, Schaltegger S, Beske-Janssen P. (2022). Understanding positive contributions to sustainability. A systematic review. *Journal of Environmental Management* 320. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115802>
- DXC Technology (2023). 8 ways the Circular Economy outperforms traditional business models. https://dxc.com/uk/en/cp/intelligence_delivered/perspectives/blogs/8-ways-the-Circular-Economy-outperforms-traditional-business-models
- Doan D.T., Ghaffarianhoseini A., Naismith N., Zhang T., Ghaffarianhoseini A. & Tookey J. (2017). A critical comparison of green building rating system. *Building and Environment*, 123, 243-260. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.007>
- Ellen Macarthur Foundation (2012). Towards the circular economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition. <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- Ellen Macarthur Foundation (2015). Circularity Indicators: An Approach to Measuring Circularity, Project Overview. <https://emf.thirdlight.com/link/yybss1obhtdy-ub419h/@/preview/1?>
- ENEA (2023a). Banca Dati Italiana LCA. ENEA. <https://bancadatiitalianalca.enea.it/Node/index.xhtml?stock=BDILCA>
- ENEA (2023b). Progetto ARCADIA: approccio ciclo di vita nei contratti pubblici e banca dati italiana LCA per l'uso efficiente delle risorse [Online]. <https://www.arcadia.enea.it/>
- Fichter K., Lüdeke-Freund F., Schaltegger S. & Schillebeeck S.J.D. (2023). Sustainability impact assessment of new ventures: An emerging field of research. *Journal of Cleaner Production*, 384. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135452>
- Filho W.L., Manolas E. & Pace P. (2015). The Future We Want: key issues on sustainable development in higher education after rio and the un decade of education for sustainable development. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 16(1), 112-129. <http://dx.doi.org/10.1108/IJSHE-03-2014-0036>
- Fondazione Promozione Acciaio (2020). Diverse soluzioni strutturali per edifici multipiano – caso studio di un edificio residenziale multi purpose. Fondazione Promozione Acciaio. <https://www.promozioneacciaio.it/pubblicazioni/diverse-soluzioni-strutturali-per-edifici-multipiano-caso-studio-di-un-edificio-residenziale-multi-purpose/>
- Fondazione Promozione Acciaio (2023). La sostenibilità delle costruzioni in acciaio. Fondazione Promozione Acciaio. <https://www.promozioneacciaio.it/pubblicazioni/la-sostenibilita-delle-costruzioni-in-acciaio/>
- Fondazione Promozione Acciaio. Progettare e costruire green (online). Fondazione promozione acciaio. <https://www.promozioneacciaio.it/progettare-e-costruire-green/>
- Gestore Servizi Energetici (GSE) (2023). Rapporto statistico solare e fotovoltaico 2022. https://www.gse.it/documenti_site/Documenti%20GSE/Rapporti%20statistici/GSE%20-%20Solare%20Fotovoltaico%20-%20Rapporto%20Statistico%202022.pdf
- GlobalABC/IEA/UNEP (Global Alliance for Buildings and Construction, International Energy Agency, and the United Nations Environment Programme) (2020): GlobalABC Roadmap for Buildings and Construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector, IEA, Paris.
- Global Reporting (GRI) (2016). GRI 305: Emissions 2016. Amsterdam, Paesi Bassi. <https://www.globalreporting.org/standards/media/1012/gri-305-emissions-2016.pdf>
- Hauke B., Kuhnhenne M., Lawson M. & Veljkovic M. (2016). Sustainable Steel Buildings: a practical guide for structures and envelopes. Wiley Blackwell. ISBN: 978-1-118-74111-5
- Holling C.S. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4, 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- Imperadori, M. (2010). La meccanica dell'architettura. La progettazione con tecnologia strattificata a secco. Il Sole 24 Ore. ISBN: 8832477815.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023). *Climate Change 2023 Synthesis Report: Summary for Policymakers*. Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- ISO 14064: parte 1-2-3 (2006). Greenhouse gases. International Organization for Standardization.
- ISO/DIS 59020 (2023). Circular economy – Measuring and assessing circularity, under development. International Organization for Standardization.
- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) (2022). Rapporto Rifiuti Speciali Edizione 2022: Dati di sintesi. Roma, Italia. https://www.isprambiente.gov.it/files2022/pubblicazioni/rapporti/rapportorifiutispeciali_ed-2022_n-368_versionedati-di-sintesiit.pdf

- Johnson MP, Schaltegger S. Entrepreneurship for Sustainable Development: A Review and Multilevel Causal Mechanism Framework. *Entrepreneurship Theory and Practice* Vol. 44 No. 6: 1141-1173, 2020.
- Kibert C.J. (1994). *Sustainable Construction*. Proceedings of the First International Conference of CIB TG 16, Tampa, Florida, USA.
- King B. & Magwood C. (2022). *Build Beyond Zero: New Ideas for Carbon-Smart Architecture*. IslandPress, Washington DC, USA. ISBN: 9781642832112.
- Kirchherr J., Reike D. & Hekkert M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Lavagna M. (2022). LCA in edilizia: Ambiti applicativi e orientamenti futuri della metodologia Life Cycle Assessment nel settore delle costruzioni. Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, Italia. ISBN: 9788891655806.
- Larsson N. (2009). *The Integrated Design Process; History and Analysis*. International Initiative for a Sustainable Built Environment (iiSBE)
- Legambiente (2022). *Il settore edilizio verso una nuova sfida: la decarbonizzazione delle costruzioni*. Progetto "Embodied Carbon Emissions" finanziato da European Climate Foundation.
- London KA, Kenley R. (2001). An industrial organization economic supply chain approach for the construction industry: a review. *Construction Management and Economics* 19, 777-788. <https://doi.org/10.1080/01446190110081699>
- Mahmoudi H, Renn O, Vanclay F, Hoffmann V, Karami E. (2013). A framework for combining social impact assessment and risk assessment. *Environmental Impact Assessment Review* 43, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2013.05.003>
- Mateus R., Braganca L. (2004). *Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construcao*. Publindustria, <https://hdl.handle.net/1822/817>
- Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica e Ministero delle Infrastrutture e Trasporti (2019). Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC). Roma, Italia https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/pniec_finale_17012020.pdf
- Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (2022). Piano per la Transizione Ecologica (PTE). Roma, Italia <https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/PTE/PTE-definitivo.pdf>
- Ministero per la Transizione Ecologica (2022). Strategia nazionale per l'economia circolare. Roma, Italia. https://www.mase.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/PNRR/SEC_21.06.22.pdf
- Muñoz P. & Cohen B. (2018). Sustainable Entrepreneurship Research: Taking Stock and looking ahead. *Business Strategy and the Environment*, 27(3), 300-322. <https://doi.org/10.1002/bse.2000>
- Osterwalder A, Pigneur Y. (2010). *Business Model Generation: A Handbook For Visionaries, Game Changers, And Challenger*. John Wiley and Sons, Hoboken.
- Parlamento europeo, Consiglio dell'Unione europea (2002). Direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia. Gazzetta ufficiale delle Comunità europee L 1/65. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2002/91/oj/ita/pdf>
- Parlamento europeo, Consiglio dell'Unione europea (2008). Direttiva 2008/98/CE relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive (Testo rilevante ai fini del SEE). Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 312/3. <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>
- Parlamento europeo, Consiglio dell'Unione europea (2010). Direttiva 2010/31/CE sulla prestazione energetica nell'edilizia. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 153/13. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:it:PDF>
- Parlamento europeo, Consiglio dell'Unione europea (2012). Direttiva 2012/27/CE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE L 315/1. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027>
- Parlamento europeo, Consiglio dell'Unione europea (2018a). Direttiva 2018/844/CE che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 156/75. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L0844>
- Parlamento europeo, Consiglio dell'Unione europea (2018b). Direttiva 2018/2001 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili (rifusione). Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 328/82. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001>
- Parlamento europeo (2021). Regolamento (UE) 2021/1119 che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica e che modifica il regolamento (CE) n. 401/2009 e il regolamento (UE) 2018/1999 («Normativa europea sul clima»). Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 243/1. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea L 328/82
- Parlamento europeo (2023). Revision of the Renewable Energy Directive: Fit for 55 package. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/698781/EPRS_BRI\(2021\)698781_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/698781/EPRS_BRI(2021)698781_EN.pdf)
- Pedriani M. & Zaccone M.C. (2019). Le aziende diventano sostenibili. *Pearson Area Giuridico-Economica*, 1-4. <https://dx.doi.org/10.17464/PR6160000405R>

- Pitt MM, Tucker M, Riley M, Longden J. (2009) Towards sustainable construction: promotion and best practices. *Construction Innovation* 9 (2), 201-224.
- Porter ME. (1985). *Competitive advantage: creating and sustaining superior performance*. FreePress, New York.
- Rinaldi C. (2022). Gli strumenti di valutazione ambientale di prodotto: LCA e le sue applicazioni. *Corso: Strategie di Economia Circolare, 10 Giugno 2022*.
- Salvalai G., Grecchi M. & Sesana M.M. (2019). From the energy performance certificate to the building renovation passport. *Tema*, 5, 84-94. <https://hdl.handle.net/11311/1117250>
- Sesana M.M. (2022). *Progettare e costruire edifici sostenibili con profili in acciaio sagomati a freddo*. Fondazione Promozione Acciaio - Dario Flaccovio Editore. ISBN: 8857914739.
- Singaram RL, Zakaria R, Munikanan V, Aminudin E, Shamsuddin SM, Yahya MA, Sam ARM, Wahi N, Gara J, Sahamir SR. (2022). SME Contractor Multi-Criteria Business Model on Adaptation of Construction Industry Revolution 4.0 in Malaysia - A Review on Business Models and Adaptation Challenges. *Chemical Engineering Transactions* 97, 391-396. <https://doi.org/10.3303/CET2297066>
- Timmerman P. (1981). *Vulnerability, Resilience and the Collapse of Society*. Institute for Environmental Studies.
- UNI CEN ISO/TS 14067:2014 (2014). Gas ad effetto serra - Impronta climatica dei prodotti (Carbon footprint dei prodotti) - Requisiti e linee guida per la quantificazione e comunicazione, 11 settembre 2014. Ente nazionale italiano di unificazione.
- UNI/TS 11820 (2022). Misurazione della circolarità - Metodi ed indicatori per la misurazione dei processi circolari nelle organizzazioni, 30 novembre 2022. Ente nazionale italiano di unificazione.
- United Nations (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- United Nations Environment Programme (2022a). *Emissions Gap Report 2022: The Closing Window - Climate crisis calls for rapid transformation of societies*. Nairobi, Nigeria. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2022>
- United Nations Environment Programme (2022b). *2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. Nairobi, Nigeria. <https://globalabc.org/news/globalabc-releases-2022-global-status-report-buildings-and-construction>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (1997). Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Vanclay F. (2004). The triple bottom line and impact assessment: How do TBL, EIA, SIA, SEA and EMS relate to each other?. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management* 6 (3), 265-288. <http://www.jstor.org/stable/enviassepolimana.6.3.265>
- World Economic Forum (2022). The Global Risks Report 2022, 17th Edition, Insight Report. Ginevra, Svizzera. https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2022.pdf
- Zang Y., Wang H., Gao W., Wang F., Zhou N., Kammen D.M. & Ying X. (2019). A Survey of the Status and Challenges of Green Building Development in Various Countries. *Sustainability*, 11(19), <https://doi.org/10.3390/su11195385>

CASI STUDIO

N1 - Residenza Via Comune Antico:

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/residenze-via-comune-antico/>

N2 - Torre Diamante:

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/torre-diamante/>

N3 - Villa Ferrari:

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/villa-ferrari/>

N4 - Ferrero Technical Center:

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/ferrero-technical-center/>

N5 - Luxottica Digital Factory:

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/luxottica-digital-factory/>

N6 - Palazzo Pitagora:

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/edificio-residenziale-multi-purpose/>

N7 - Centro Commerciale Green Pea:

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/green-pea/>

N8 - Torre Intesa Sanpaolo

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/torre-intesa-san-paolo/>

N9 - La Serenissima:

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/ristrutturazione-edificio-la-serenissima/>

N10 – Symbiosis D:

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/edificio-symbiosis-d/>

N11 – Headquarters BNL:

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/headquarters-bnl-gruppo-bnp-paribas/>

N12 – Prysmian HQ:

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/prysmian-hq/>

N13 – San Marino Outlet Experience:

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/san-marino-outlet-experience/>

N14 – ITAS Forum:

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/itas-forum/>

N15 – Battistella Headquarter:

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/battistella-headquarter/>

N16 – Recreation Center Campus Bocconi:

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/campus-bocconi/>

N17 – Capus Milano Internazionale:

<https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/campus-milano-internazionale/>

INDICE FIGURE

| | |
|--|----|
| Figura 1. Concentrazione dei gas serra dal 1850 ad oggi. Le scale di rappresentazione differiscono in base ai valori di concentrazione. (IPCC, 2023) | 7 |
| Figura 2. Illustrazione degli effetti del cambiamento climatico a seconda dell'aumento delle temperature globali medie annuali rispetto ai periodi preindustriali. (Nazioni Unite, 2021) | 8 |
| Figura 3. Andamento delle emissioni di gas serra dal 2022 al 2100 in base a diversi scenari. (IPCC, 2023) | 9 |
| Figura 4. Illustrazione di operational ed embodied carbon nel settore delle costruzioni. (rielaborazione autori) | 11 |
| Figura 5. Sintesi delle azioni presentate nella Roadmap for Buildings and Construction 2020-2050 di Global Alliance for Buildings and Construction per il raggiungimento del processo di decarbonizzazione nel settore delle costruzioni. (rielaborazione autori) | 13 |
| Figura 6. Confronto fra i valori potenziali di prodotti realizzati o con un modello economico lineare (linea tratteggiata) o con un modello economico circolare (linea continua). (DXC Technology, 2023) | 14 |
| Figura 7. Schema delle 10R dell'economia circolare. (Sesana, 2022) | 16 |
| Figura 8. Andamento del tasso di circolarità in UE dal 2010 al 2021. (Eurostat, 2023) | 17 |
| Figura 9. Schematizzazione del modello di Brand per layers con relativa durata in anni di vita utile. (Sesana, 2022) | 19 |
| Figura 10. Schema riassuntivo dei vari elementi che compongono il Green New Deal dell'Unione Europea. (Commissione Europea, 2019) | 28 |
| Figura 11. Gli strumenti cardine del pacchetto Fit for 55 in ordine di importanza per il settore delle costruzioni. (ANCE, 2021) | 29 |
| Figura 12. Struttura della metodologia di calcolo del metodo <i>Smart Readiness Indicator</i> , con i 9 domini tecnici e i 7 criteri d'impatto. (Commissione Europea, 2020) | 32 |
| Figura 13 - Evoluzione dell'approccio alla costruzione sostenibile. Fonte: Mateus et al., 2004 | 36 |
| Figura 14 - Stadi di integrazione della sostenibilità nelle strategie aziendali. Fonte: Pedrini et al., 2019 | 37 |
| Figura 15 - Icone di alcuni dei principali protocolli e certificazioni in attivo | 38 |
| Figura 16 - Linea del tempo delle principali certificazioni ambientali volontarie nel mondo al 2019. Fonte: Zang et al., 2019 | 40 |
| Figura 17 - Grafico rappresentate l'andamento del numero di EPD in Europa fino al 2023. Fonte: ConstructionLCA, 2023 | 43 |
| Figura 18 - Aspetti della resilienza considerati nella definizione di Bruneau. Fonte: Bruneau et al., 2003 | 48 |
| Figura 19 - Illustrazione del diagramma di Kiviat con scala Likert rielaborato per la restituzione dei risultati ottenuti con SARIA. Fonte: Sesana, 2023 | 53 |
| Figura 20. Illustrazione delle quattro fasi che compongono un'analisi LCA. (elaborazione autori) | 55 |
| Figura 21. Esempio di analisi degli input ed output per la valutazione dell'inventario del ciclo di vita. (elaborazione autori) | 57 |
| Figura 22. Andamento dei consumi di energia ed emissioni di carbonio durante il ciclo di vita di un edificio convenzionale e un edificio progettato tenendo conto dei valori di embodied carbon ed embodied energy. (King B. et al, 2022) | 62 |
| Figura 23. Schema delle fasi del ciclo di vita di un edificio. (elaborazione autori) | 63 |
| Figura 24. Componenti del sistema LCA secondo la Norma EN 15978. (elaborazione autori) | 64 |
| Figura 25. Fasi dello svolgimento di una valutazione del ciclo di vita nell'ambito del quadro Level(s). (elaborazione autori) | 66 |
| Figura 26. Rappresentazione del processo di progettazione integrata. (Sesana, 2022) | 73 |
| Figura 27. Vista tridimensionale di strutture in carpenteria metallica pesante e rivestimenti di facciata a secco (a sinistra, PICHLER projects Srl) e sezione prospettica di un edificio con tecnologia S/R in Light Steel Frame (a destra, Manni Green Tech Srl) | 78 |
| Figura 28. Atlante europeo delle costruzioni in carpenteria metallica | 87 |
| Figura 29: Atlante italiano delle costruzioni in carpenteria metallica | 89 |
| Figura 30 - Vista d'insieme dell'edificio (in alto), fasi di cantiere (in basso). Foto: dYNAMIC NETWORK aRCHITECTS | 91 |
| Figura 31 - Vista generale del cantiere (in alto), fasi di costruzione con sistema e dettagli della struttura (in basso). Foto: Lorenzo De Simone - FPA; Arup; Oskar Da Riz - PICHLER projects srl | 92 |
| Figura 32 - Vista dell'ingresso di Villa Ferrari a fine lavori (in alto), fasi di costruzione (in basso). Foto: Davide Dolcini - FPA; Cogi srl | 93 |
| Figura 33 - Vista della facciata dell'edificio (in alto), fasi di costruzione e dettagli struttura (in basso). Foto: Enrico Cano; FDG; Redesco Progetti srl | 94 |

| | |
|--|-----|
| Figura 34 – Vista della facciata dell'edificio "Luxottica Factory" (in alto), fasi di riqualificazione e vista della corte interna (in basso). Foto: Andrea Martiradonna; Marco Frusca (cantiere)..... | 95 |
| Figura 35 – Vista d'insieme di Palazzo Pitagora (in alto), fasi di costruzione della struttura in acciaio (in basso). Foto: Lorenzo Gardon – BIOEDIL Progetti srl; PICHLER projects srl..... | 96 |
| Figura 36 – Vista d'insieme del centro commerciale Green Pea (in alto), fasi di costruzione della struttura in acciaio (in basso). Foto: Fabio Oggero; ACC Naturale Architettura; Negozio Blu Architetti..... | 97 |
| Figura 37 – Vista d'insieme della Torre ultimata e in fase di cantiere (in alto), dettagli megacolonne e transfer (in basso). Foto: Enrico Cano – RPBW; Marco Clozza; RPBW | 98 |
| Figura 38 – Vista dell'edificio al termine della riqualificazione (in alto), strutture in acciaio preesistenti e interventi di modifica dell'assetto originario (in basso). Foto: Andrea Martiradonna; General Planning..... | 99 |
| Figura 39 – Vista d'insieme dell'edificio (in alto), vista delle travi composte saldate e degli elementi a "V" (in basso). Foto: Leo Torri; Giulio Boem; SCE Project | 100 |
| Figura 40 – Vista d'insieme dell'edificio (in alto), vista delle forature in cantiere delle travi principali e montaggio delle facciate vetrate (in basso). Foto: Luc Boegly; Redesco Progetti srl (vista interna)..... | 101 |
| Figura 41 – Vista fronte ingresso dell'Headquarter (in alto), dettagli delle fasi di cantiere (in basso). Foto: Saverio Lombardi Vallauri; Cristiano Bendinelli; Paolo Sandro Carlini..... | 102 |
| Figura 42 – Vista d'insieme di uno degli ingressi del San Marino Outlet Experience (in alto), fasi di cantiere della struttura dell'edificio (in basso). Foto: One Works..... | 103 |
| Figura 43 – Vista d'insieme dell'edificio e dei pilastri obliqui (in alto), fasi di cantiere di strutture e facciate (in basso). Foto: Alex Filz (finito); PICHLER projects srl (cantiere)..... | 104 |
| Figura 44 – Vista d'insieme del Battisella Headquarter (in alto), fasi di cantiere della struttura in acciaio dell'edificio e vista degli interni (in basso). Foto: Marco Zanta (finito); PICHLER projects srl (cantiere)..... | 105 |
| Figura 45 – Vista generale del Campus (in alto), vista interna del Recreation Center e dettaglio delle strutture in acciaio in cantiere (in basso). Foto: SANAA; Filippo Fortis; MAEG Costruzioni spa..... | 106 |
| Figura 46 – Vista del Campus inserito nel quartiere della Bicocca (in alto), fasi di costruzione delle strutture in acciaio (in basso). Foto: Oskar Da Riz (finito); PICHLER projects srl (cantiere)..... | 107 |

INDICE TABELLE

| | |
|---|----|
| Tabella 1. Indicatori componenti lo strumento Level(s)..... | 31 |
| Tabella 2 - Analisi riassuntiva dei concetti di sostenibilità e resilienza..... | 50 |
| Tabella 3 - Quadro della struttura del metodo SARIA per le categorie e campi di azione, con rispettive descrizioni e icone di riferimento..... | 52 |
| Tabella 4 - Elenco dei punteggi di rating utilizzati nel processo di valutazione e sintesi dei risultati dello strumento SARIA. Fonte: Sesana, 2023. | 53 |
| Tabella 5. Alcuni esempi di categorie di impatti più comuni e la loro classificazione e caratterizzazione..... | 59 |
| Tabella 6. Benchmark LCA in alcuni Green Building Rating Systems..... | 65 |
| Tabella 7. Benchmark EPD in alcuni Green Building Rating Systems..... | 66 |
| Tabella 8. Approccio di Level(s) basato sul ciclo di vita..... | 67 |
| Tabella 9. Elenco delle realizzazioni in carpenteria metallica indicate nell'atlante europeo in Figura 28..... | 81 |
| Tabella 10. Elenco delle realizzazioni in carpenteria analizzate nel dettaglio..... | 86 |

INDICE BOX

| | |
|--|----|
| Box 1. Capitoli del White Paper della Commissione Sostenibilità di FPA | 5 |
| Box 2. Glossario: terminologia e target..... | 10 |
| Box 3. Le sfide del settore delle costruzioni, indicate nel bando di Reinventing Cities (C40 Cities Climate Leadership Group)..... | 12 |
| Box 4. Definizione di economia circolare secondo Ellen MacArthur Foundation (2012). | 14 |
| Box 5. I cinque principi dell'economia circolare..... | 15 |
| Box 6. Il quadro riassuntivo delle principali direttive e politiche europee di efficientamento energetico degli ultimi 50 anni per il settore delle costruzioni..... | 23 |
| Box 7. nearly Zero Energy Building (nZEB). | 25 |
| Box 8. Comunicato stampa del 14 marzo 2023: "Case green: approvata la posizione del Parlamento europeo"..... | 30 |
| Box 9. Porposta di legge "Case Green": gli aggiornamenti per l'implementazione del Building Renovation Passport nei paesi membri | 33 |
| Box 10 - Definizione delle Nazioni Unite di sostenibilità (1987) e la linea del tempo della sostenibilità | 35 |
| Box 11 - Definizione di edilizia sostenibile | 36 |
| Box 12 - Glossario dei principali termini ed organizzazioni che si occupano della valutazione del livello di sostenibilità a diverse scale per fronteggiare i cambiamenti climatici..... | 39 |
| Box 13 - Descrizione delle principali certificazioni volontarie presenti in Italia..... | 41 |
| Box 14 - Etichetta ecologica di Tipo I - Ecolabel - ISO 14024..... | 42 |
| Box 15 - Etichetta ecologica di Tipo II - Ciclo di Mobius - ISO 14021..... | 42 |
| Box 16 - Specifiche trattanti l'acciaio all'interno dell'ultimo aggiornamento dei Criteri Ambientali per l'edilizia del D.M. 23/06/2022..... | 45 |
| Box 17 - Definizioni di Resilienza | 47 |
| Box 18. Definizioni di scopo e campo di azione nella prima fase di uno studio LCA..... | 56 |
| Box 19. Descrizione dei sei passaggi della terza fase di un'analisi LCA. | 58 |
| Box 20. Le tre principali tipologie di analisi LCA. | 59 |
| Box 21. Vantaggi dell'analisi LCA per gli obiettivi di economia circolare..... | 62 |
| Box 22. Vantaggi dell'approccio Life Cycle Thinking per i diversi soggetti coinvolti nel processo. | 68 |
| Box 23. Iter della certificazione ANAB - Prodotto certificato per la bioedilizia..... | 69 |
| Box 24. Presentazione delle azioni del progetto ARCADIA. | 70 |
| Box 25. Sintesi delle attività svolte all'interno del progetto Arcadia..... | 71 |
| Box 26. Principali differenze tra progettazione tradizionale e progettazione integrata..... | 74 |
| Box 27 - Vantaggi della progettazione integrata. | 75 |
| Box 28 I quattro corollari aggiuntivi del sistema costruttivo a secco Struttura - Rivestimento (S/R). | 77 |
| Box 29 - Elenco dei principali vantaggi del sistema costruttivo a secco in acciaio. | 79 |
| Box 30. I principali vantaggi del sistema a secco in acciaio secondo le tre sfere della sostenibilità..... | 80 |

7 AUTORI



MARTA MARIA SESANA



Appassionata di sostenibilità, innovazione ed efficienza energetica per l'ambiente costruito, Marta Maria Sesana è Ingegnere Edile-Architetto (laureata con 110/110 e lode presso il Politecnico di Milano, 2006) e dottore di ricerca in Ingegneria dei sistemi edilizi (Politecnico di Milano, 2011). Attualmente è Ricercatrice e docente presso l'Università degli Studi di Brescia, al Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio, Ambiente e di Matematica (DICATAM) di corsi legati all'Architettura Tecnica, dopo aver maturato una lunga esperienza di ricerca e didattica presso il Politecnico di Milano sia durante la sua formazione accademica che nel proseguo del suo post-doc e in particolare durante i periodi di visiting researcher all'estero presso il Fraunhofer Institute (ISE, 2008/2010), la Colorado

University a Boulder (Engineering and Applied Science Dept., 2017) e la Drexel University a Philadelphia (2018). I principali temi di ricerca di cui si occupa sono: l'innovazione e l'efficienza energetica nell'ambiente costruito, la simulazione energetica degli edifici e la valutazione degli impatti lungo l'intero ciclo di vita, l'analisi delle prestazioni delle soluzioni tecnologiche per l'edilizia, i metodi di progettazione integrati e sostenibili con particolare attenzione al patrimonio edilizio esistente, tramite la valutazione e certificazione secondo protocolli di sostenibilità, le procedure e gli strumenti decisionali per la gestione dei dati dell'intero processo progettuale e costruttivo degli edifici, quali gli attestati di prestazione energetica o i passaporti degli edifici. È responsabile scientifico di diverse consulenze per la promozione della sostenibilità nella filiera delle costruzioni e per lo studio di sistemi tecnologici d'involucro innovativi. L'attività di ricerca è supportata dalla collaborazione con aziende del settore per ricerche applicate e di processi di innovazione tecnologica. È autrice di numerosi articoli su riviste scientifiche peer-review internazionali e monografie sulle tematiche di ricerca, oltre ad essere membro del comitato scientifico sia di riviste che conferenze del suo settore di ricerca sia a livello nazionale che internazionale. Dal 2022 è responsabile scientifico della Commissione Sostenibilità per la Fondazione Promozione Acciaio, e membro del Gruppo di lavoro TC14 – Sustainability & Eco-Efficiency of Steel Construction e del Gruppo di Lavoro UNI CT 033/GL 02 Sostenibilità in edilizia.

PAOLO DELL'ORO



Paolo Dell'Oro si è laureato in Ingegneria Edile-Architettura presso il Politecnico di Milano nel 2022, con una tesi dal titolo "Greenfit: A retrofit system".

Da Gennaio 2023 è assegnista di ricerca presso il Dipartimento DICATAM (Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio, Ambiente e Matematica) dell'Università di Brescia, con attività di ricerca che si concentrano prevalentemente su lo studio prestazionale di tecnologie costruttive innovative stratificate a secco, la valutazione energetica e ambientale degli edifici e dei suoi sistemi costruttivi tramite modelli di simulazione dinamica.

Nell'ambito dell'attività di ricerca condotta presso l'Università degli Studi di Brescia ha collaborato attivamente alle riunioni operative e ai gruppi di lavoro della Commissione Sostenibilità della Fondazione Promozione Acciaio. Tale esperienza

gli ha permesso di condurre una raccolta completa e sistematica delle soluzioni costruttive off-site in acciaio, di studiarne nel dettaglio le prestazioni sotto la supervisione del responsabile scientifico della ricerca e di collaborare alla campagna di monitoraggio del livello della sostenibilità e resilienza degli attori della filiera acciaio per le costruzioni.

PROGETTARE E COSTRUIRE EDIFICI SOSTENIBILI E RESILIENTI IN ACCIAIO

WHITE PAPER

Il presente documento nasce nell'ambito del progetto di ricerca voluto dalla Fondazione Promozione Acciaio e condotto dall'Università degli Studi di Brescia sulla progettazione e costruzione di edifici sostenibili e resilienti.

Richiamando i principi della progettazione di edifici in carpenteria metallica per scopi formativi e divulgativi, la pubblicazione fornisce un aggiornamento tecnico/scientifico sulle seguenti tematiche: sostenibilità, economia circolare con approccio LCA ed innovazione tecnologica.

Strutturato come un White Paper, il documento illustra nel dettaglio la soluzione a un problema o a una situazione critica, offrendo un punto di vista autorevole e tecnico, il cui obiettivo è informare, attraverso dati e analisi dettagliate, l'interlocutore di riferimento.

I quattro capitoli che formano la pubblicazione trattano argomenti di fondamentale importanza per il settore delle costruzioni:

- decarbonizzazione dell'ambiente costruito;
- sostenibilità e resilienza: definizioni e rating di valutazione per la filiera delle costruzioni;
- progettazione life-cycle e strumenti di valutazione LCA-based;
- edifici in carpenteria metallica: dalla progettazione al cantiere con costruzioni off-site.



Fondazione Promozione Acciaio
Ente culturale per lo sviluppo di costruzioni in acciaio

Via Vivaio 11 – 20122 Milano
Tel. +39 0286313020 Mail. segreteria@fpacciaio.it

www.promozioneacciaio.it