



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA  
INGEGNERIA DELLE COSTRUZIONI  
E AMBIENTE COSTRUITO

# **La Fabbrica Intelligente e Sostenibile**

## Guida strategica per la gestione del patrimonio industriale

Luglio 2025 | Chiara Tagliaro e Alice Paola Pome'  
[chiara.tagliaro@polimi.it](mailto:chiara.tagliaro@polimi.it) | [alicepaola.pome@polimi.it](mailto:alicepaola.pome@polimi.it)



## Sommario

Executive Summary.....	3
Obiettivi.....	3
Introduzione e contesto .....	4
Stato dell'arte sulla sostenibilità nell'ambiente costruito .....	5
L'importanza della sostenibilità ambientale .....	5
Panoramica della normativa europea sulla sostenibilità.....	7
Il quadro normativo italiano.....	8
La traiettoria per la decarbonizzazione .....	8
La Direttiva "Case Green" (EPBD IV).....	9
Altri riferimenti verso la sostenibilità .....	10
Il capannone produttivo sostenibile .....	15
Alcuni casi.....	16
Ford Rouge Complex a Dearborn .....	16
BMW Group plant a Leipzig .....	22
Ferrari E-Building a Maranello.....	27
Schneider Electric a Stezzano. Un caso di riqualificazione energetica e digitale.....	30
Z-Life di Zambon a Bresso .....	38
Roadmap e raccomandazioni .....	44
Stato dell'arte sull'Industria 4.0 e oltre.....	45
L'Edilizia 4.0 .....	46
Lo smart building per il settore produttivo.....	49
Verso gli Smart Readiness Indicators.....	50
Il capannone produttivo intelligente.....	52
Componenti principali delle fabbriche intelligenti.....	53
Soluzioni digitali .....	54
SOLUZIONI DIGITALI PER LA QUALITA' E L'IMPATTO AMBIENTALE .....	55
SOLUZIONI DIGITALI PER LA PROGETTAZIONE DELLA FABBRICA DEL FUTURO.....	60
Conclusioni .....	63
BIBLIOGRAFIA.....	64
ALLEGATI.....	67
Agenda 2030 e gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile.....	67
Gli obiettivi di sviluppo sostenibile nell'ambiente costruito .....	69
I sistemi di rating .....	70



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

## Executive Summary

Il presente lavoro analizza le opportunità di incremento della sostenibilità ambientale e del livello innovativo del patrimonio edilizio produttivo e industriale, con particolare riferimento alla realtà italiana ed europea. Il report si propone di evidenziare l'urgenza della riqualificazione degli edifici industriali esistenti e di fornire un quadro aggiornato delle soluzioni architettoniche, tecnologiche e normative orientate alla sostenibilità e all'adozione delle tecnologie digitali per rendere i capannoni industriali "intelligenti". In un contesto globale segnato da crisi ambientali, pressioni normative e transizioni digitali, l'industria manifatturiera è chiamata a trasformare radicalmente i propri spazi operativi, adottando modelli di Smart Factory capaci di conciliare efficienza produttiva e responsabilità ambientale.

Il lavoro offre una disamina articolata dello stato dell'arte in materia di sostenibilità nell'ambiente costruito, a partire dai riferimenti fondamentali dell'Agenda 2030 e dagli obiettivi climatici fissati a livello europeo. Viene approfondito il ruolo degli strumenti di valutazione ambientale, quali il Life Cycle Assessment (LCA) e le principali certificazioni verdi (LEED, BREEAM, Protocollo ITACA), evidenziandone potenzialità e limiti nell'applicazione agli edifici industriali. In parallelo, viene analizzato il corpus normativo europeo, con particolare riferimento alla Direttiva EPBD, e il suo recepimento nel quadro legislativo italiano, che definisce una traiettoria chiara verso la decarbonizzazione entro il 2050, articolata in obiettivi temporali progressivi e misure di obbligatorietà tecnica e gestionale.

Il report propone un approccio progettuale integrato per la riqualificazione sostenibile del capannone produttivo, che comprende l'utilizzo di materiali a basso impatto ambientale, l'adozione di impianti ad alta efficienza e fonti rinnovabili, la gestione intelligente dei consumi tramite sensoristica e sistemi BMS, la valorizzazione del ciclo dell'acqua e la flessibilità d'uso degli spazi. Tale approccio è supportato da un'analisi comparativa di alcuni casi studio significativi.

Dall'analisi emerge che il raggiungimento degli obiettivi climatici e ambientali passa necessariamente da un ripensamento sistemico del patrimonio edilizio industriale, in cui la sostenibilità non sia solo un vincolo normativo ma un elemento strategico per l'innovazione, la competitività e il benessere dei lavoratori. Questo può essere raggiunto solamente attraverso l'adozione delle tecnologie digitali, che sono riconosciute come leva abilitante per la transizione di sostenibilità. Strumenti come l'Intelligenza Artificiale, l'Internet of Things (IoT), i sistemi di Building Management (BMS) e framework di misura come gli Smart Readiness Indicators (SRI) consentono il monitoraggio in tempo reale delle prestazioni energetiche, l'ottimizzazione dei consumi, la manutenzione predittiva degli impianti e una gestione integrata degli edifici produttivi. La convergenza tra digitalizzazione e sostenibilità, definita a livello europeo come "twin transition", è considerata strategica per promuovere una nuova generazione di fabbriche intelligenti, resilienti, interconnesse e orientate al ciclo di vita.

## Obiettivi

Questo documento analizza le opportunità di incremento della **sostenibilità ambientale del patrimonio edilizio produttivo e industriale** attraverso una panoramica dello stato dell'arte a livello di avanzamento normativo, architettonico e tecnologico. In particolare, la ricerca mira a:

- (1) Far emergere l'urgenza del tema dell'adeguamento del patrimonio esistente attraverso l'analisi del quadro normativo e regolatorio;
- (2) Fornire esempi innovativi di soluzioni, strumenti e approcci in materia di edilizia produttiva e industriale sostenibile;
- (3) Evidenziare soluzioni digitali per la valutazione della sostenibilità dei capannoni produttivi, rimarcando l'esigenza di integrare principi di sostenibilità all'innovazione digitale.

## Introduzione e contesto

Gli squilibri economici attuali, l'aumento dei costi e le continue tensioni nelle catene di approvvigionamento sottolineano l'importanza della velocità e dell'efficienza nelle operazioni industriali. In parallelo, l'interesse verso un ambiente costruito più sostenibile, che non solo sappia ottimizzare i propri impatti sull'ambiente naturale ma riesca a supportare i cambiamenti dei comportamenti degli occupanti, genera un notevole effetto sugli edifici produttivi.

Oggi nuovi materiali e metodi di costruzione volti a ridurre il consumo energetico e le emissioni di carbonio possono essere adottati per migliorare le prestazioni energetiche degli stabilimenti produttivi. Una serie di nuove tecnologie digitali può essere adottata durante la fase di progetto e di costruzione, come anche nella fase operativa dell'edificio, per migliorarne le prestazioni.

La scelta dei materiali e dei sistemi utilizzati negli edifici produttivi, siano questi nuovi o riqualificati, gioca un ruolo chiave nel risparmio energetico in quanto in tali impianti l'energia viene utilizzata per numerosi processi tra cui produzione, assemblaggio, riscaldamento o raffrescamento, ventilazione e movimentazione dei prodotti, ecc. (Zouaghi, 2023). Dall'altro lato l'automatizzazione della fase di gestione di tali edifici può garantirne un'elevata efficienza per tutto il ciclo di vita e ridurre gli impatti durante l'utilizzo.

La transizione a cui stiamo assistendo è quella da un impianto produttivo statico a un edificio produttivo dinamico, in grado di adattarsi alle mutevoli esigenze del processo produttivo che accoglie e delle persone che vi gravitano attorno. Tutto ciò è possibile grazie prevalentemente all'adozione di target e strategie di sostenibilità e all'utilizzo delle tecnologie digitali che vede la fabbrica del futuro prendere il nome di *Smart Factory* (SF).

Sebbene la transizione verso la SF offra vantaggi significativi, presenta anche sfide che devono essere affrontate per realizzare appieno il potenziale dell'innovazione tecnologica. Ad esempio molti produttori affrontano difficoltà nell'integrare tecnologie avanzate a causa della mancanza di risorse, nonché a causa delle richieste di un'architettura tecnologica che sappia supportare la connettività dei dati. Infine il passaggio alla SF richiede anche di formare adeguatamente la propria forza lavoro garantendo nuove competenze specialistiche e trasversali che permettano di gestire efficacemente le nuove tecnologie (Boonbrahm et al., 2020).

Nelle sezioni che seguono si vedrà in primo luogo come la sostenibilità viene concepita oggi nell'ambiente costruito e successivamente quali ricadute dovrà avere sugli impianti industriali del futuro. Viene ricostruito il quadro di riferimento certificativo e normativo sulla sostenibilità per gli edifici produttivi e si passano in rassegna cinque casi di stabilimenti produttivi sostenibili. Il report si conclude con un approfondimento sulle potenzialità che l'Industria 4.0 e le nuove tecnologie digitali offrono rispetto agli obiettivi di sostenibilità.



# Stato dell'arte sulla sostenibilità nell'ambiente costruito

A seguito della pubblicazione del Rapporto Brundtland (1987) conosciuto con il titolo "Our Common Future", la Commissione Mondiale sull'Ambiente e lo Sviluppo ha elaborato il concetto di "sviluppo sostenibile" come uno sviluppo che soddisfi i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri. Su questa base nel 1988 il Programma per l'Ambiente delle Nazioni Unite (United Nations Environment Programme - UNEP) e l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (World Meteorological Organization - WMO) hanno organizzato un gruppo di lavoro con l'obiettivo di indirizzare i politici e, in generale, la società sullo stato climatico della Terra. Chiamato **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**, questo gruppo di lavoro evidenziò l'urgenza globale nella definizione di azioni che mitigassero gli impatti umani sul pianeta. È proprio a partire da questo primo gruppo di lavoro che è iniziata la transizione della società umana e dell'economia mondiale verso uno **"sviluppo sostenibile"**.

In particolare a livello internazionale si è deciso di istituire un ciclo di conferenze, le **Conference of the Parties (COP)**, per definire dei target mondiali che favorissero il processo di trasformazione, condivisi ovviamente da tutti gli Stati. La terza COP (COP3) si concluse con un accordo, il **Protocollo di Kyoto (1997)**, che ha posto dei limiti rispetto alle emissioni globali. Nel **dicembre 2015 la COP21** tenutasi a Parigi si è conclusa con un accordo globale definito **Agenda 2030**. In particolare la discussione ha guardato alla possibilità di limitare il cambiamento climatico e di creare dei benefici economici, sociali e di salute per la popolazione.

L'Agenda 2030, quindi, risulta come un vero e proprio piano d'azione che definisce **17 Obiettivi di sviluppo sostenibile** (Sustainable Development Goals - SDG) e **169 target** specifici che coprono un'ampia gamma di questioni sociali, economiche e ambientali, con l'obiettivo di promuovere la prosperità proteggendo il pianeta. **Il settore delle costruzioni, per esempio, è strettamente connesso allo sviluppo sostenibile e a diversi SDG (vedi ALLEGATI).**

Per allineare il settore immobiliare ed, in particolare, il segmento dedicato all'edilizia di tipo industriale e produttivo agli obiettivi dell'Agenda 2030, le parti interessate (governi, aziende e società civile) devono collaborare e impegnarsi a **migliorare gli standard di costruzione e ristrutturazione** volti a ottimizzare l'efficienza degli edifici. Ciò include investire in tecnologie innovative e soluzioni sostenibili e promuovere una pianificazione urbana che incentivi la resilienza nelle comunità per diffondere uno stile di vita sostenibile.

## L'importanza della sostenibilità ambientale

L'Agenda 2030 ha ulteriormente enfatizzato la rilevanza di numerosi strumenti, già esistenti da decenni, volti a certificare i cosiddetti Green Building o Edifici Verdi. Molti di questi sistemi di certificazione si basano sulla metodologia del Life Cycle Assessment (LCA) per sviluppare la valutazione dell'impatto ambientale degli edifici. Tuttavia, se la LCA è una metodologia applicata in tutti i settori dell'economia, le certificazioni verdi sono sistemi di valutazione implementati esclusivamente per la valutazione degli edifici.

### Il Life Cycle Assessment (LCA)

Il LCA è una metodologia utilizzata per valutare i carichi ambientali di un processo (o prodotto) durante l'intero ciclo di vita (Sonnemann et al., 2003). Questa valutazione comprende l'intero ciclo di vita del processo (o prodotto), dalla fase di estrazione e lavorazione delle materie prime fino allo smaltimento finale passando per la produzione, il trasporto e la distribuzione, l'uso, la manutenzione, il riutilizzo, il riciclo e lo smaltimento (Consili et al., 1993).

La metodologia si basa su uno standard internazionale, la norma ISO 14040:2006, e si compone di quattro fasi analitiche: (i) definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione della valutazione, (ii) creazione dell'inventario del ciclo di vita, (iii) valutazione dell'impatto e (iv) interpretazione dei risultati finali.

La LCA è spesso impiegata come strumento analitico di supporto alle decisioni.



Il recente aumento dei costi energetici e la crescente preoccupazione per l'ambiente stanno facendo **aumentare la domanda di edifici più sostenibili** (Azhar et al., 2011). Di conseguenza autorità e organizzazioni hanno iniziato a sviluppare sistemi di rating per gli edifici verdi con l'obiettivo di ridurre il consumo di risorse naturali e minimizzare le emissioni (Doan et al., 2017). Gli edifici certificati da questi sistemi di rating sono considerati meno energivori in quanto offrono un ambiente di vita migliore agli utenti e contribuiscono a diffondere una reputazione positiva complessiva dell'ambiente costruito (Yu e Tu, 2011).

Il World Green Building Council (WorldGBC) ha identificato 74 certificazioni per edifici verdi adottate tra gli Stati che vi aderiscono a livello globale. In realtà nel complesso esistono oltre 600 diversi sistemi di rating (Doan et al., 2017), che utilizzano i termini "edificio verde" ed "edificio sostenibile" in modo intercambiabile anche se i due concetti non sono propriamente sinonimi.

Da un lato gli **"edifici verdi"** sono descritti come pratiche progettuali che riducono l'impatto ecologico e ambientale soddisfacendo determinati criteri prestazionali. Nel tempo il concetto di "edificio verde" è stato continuamente aggiornato. Oggi è comune definire gli edifici verdi come costruzioni che offrono spazi salubri, funzionali ed efficienti per le persone massimizzando il risparmio di risorse (come energia, acqua e materiali), proteggendo l'ambiente e riducendo l'inquinamento.

Dall'altro lato gli **"edifici sostenibili"** sono descritti come costruzioni che supportano lo sviluppo sostenibile, secondo la definizione della Commissione Brundtland (1987). Questo tipo di edifici sostiene i diversi pilastri della sostenibilità, incluso il concetto di comunicazione e cooperazione per informare e definire regole di governance per l'interazione con i membri della società. Nel concetto di sostenibilità è implicita l'idea di sviluppo continuo che riflette la natura multi-interpretativa e interdisciplinare dello stesso.

Pertanto, mentre gli "edifici verdi" si concentrano sugli aspetti ambientali, gli "edifici sostenibili" considerano contestualmente questioni ambientali, sociali, economiche e istituzionali (Doan et al., 2017).

I sistemi di rating sviluppati da varie organizzazioni ed enti istituzionali sono nati come sistemi di rating per gli edifici verdi con un focus sulle azioni necessarie per ottimizzare le prestazioni ambientali ed ecologiche e contribuire a una relazione positiva tra l'ambiente costruito e l'ambiente naturale.

Anche se i sistemi di rating verdi presentano alcune debolezze nella valutazione dei fattori sociali, istituzionali ed economici, questi sono dei validi strumenti per impostare strategie adeguate a migliorare le prestazioni degli edifici e identificare best practice per il settore immobiliare.

Ad oggi **non esistono sistemi di rating specificamente dedicati agli immobili industriali e produttivi** ma è stato verificato che le "fabbriche verdi" raggiungono performance significativamente superiori rispetto alle fabbriche tradizionali, con benefici non solo per l'ambiente ma anche per la produttività aziendale.

### I benefici delle fabbriche verdi

Le fabbriche verdi hanno un impatto positivo sulla performance ambientale e la performance aziendale (Çiner & Doğan-Sağlamtimur, 2019).

La United States General Services Administration (USGSA, 2011) ha rilevato che gli edifici verdi hanno **costi operativi aggregati inferiori del 19%** rispetto a fabbriche tradizionali, **consumano il 25% in meno di energia e producono il 36% in meno di emissioni di CO<sub>2</sub>**.

Uno studio condotto in Malesia ha rivelato che un edificio verde consente un **risparmio energetico fino al 71,1% rispetto alla media del settore industriale di riferimento**, comportando quindi importanti risparmi economici e di riduzione del consumo energetico (Dwaikat & Ali, 2018).

## Panoramica della normativa europea sulla sostenibilità

L'adozione del Protocollo di Kyoto diede una spinta alla definizione di normative europee in materia di contrasto al cambiamento climatico. L'insieme delle leggi europee in materia di sostenibilità oggi costituisce il sistema più articolato e che sta crescendo più velocemente a livello globale. L'insieme delle così definibili **"European Climate Law"** è in costante aggiornamento per permettere all'Unione Europea di raggiungere i target di neutralità ambientale entro il 2050 (Woerdman, et al., 2021).

Questo sistema legislativo si articola in due corpus principali: le **leggi di mitigazione climatica** e le **leggi di adattamento climatico**.

Le prime si focalizzano sulla riduzione (e, quindi, la mitigazione) delle emissioni climalteranti, mentre le seconde si concentrano sull'adeguamento (e, quindi, sull'adattamento) della società alle conseguenze del cambiamento climatico. Se le leggi di mitigazione sono definite da direttive europee, quelle di adattamento di solito sono specifiche dei diversi contesti nazionali.

Guardando al medio e lungo periodo il corpus di mitigazione è composto da direttive e normative europee che intendono definire diversi target e strumenti per permettere agli Stati Membri di sviluppare un piano efficace di decarbonizzazione.

Nel complesso l'Unione Europea nel suo quadro normativo punta su una doppia priorità che definisce la traiettoria per l'edilizia e il settore immobiliare: **la transizione verde e la transizione digitale**. Questi mandati non sono solo priorità politiche ma anche imperativi dettati dalle sfide globali e dalla necessità urgente di un cambiamento sistemico.

La **transizione verde** si riferisce al raggiungimento degli obiettivi del **Green Deal (COM/2019/640)**, che includono la fornitura di energia pulita, l'adozione dei principi dell'economia circolare e la conservazione degli ecosistemi. L'UE si è impegnata a raggiungere ambiziosi obiettivi ambientali mirati a mitigare i cambiamenti climatici e promuovere la sostenibilità attraverso diverse iniziative:

- **Neutralità climatica:** l'UE mira a raggiungere la neutralità climatica entro il 2050 con obiettivi intermedi per la riduzione delle emissioni di gas serra. Politiche come il Sistema di Scambio delle Emissioni dell'UE (ETS) e il pacchetto legislativo del Green Deal stabiliscono il quadro per la decarbonizzazione dell'economia europea, inclusa la **Direttiva sulla Prestazione Energetica degli Edifici (EPBD)** specifica per l'ambiente costruito.
- **Economia circolare:** promuovere un modello di economia circolare che minimizzi la generazione di rifiuti e massimizzi l'efficienza delle risorse è considerato centrale per la crescita sostenibile. Iniziative per incentivare il riciclaggio, l'eco-design e il consumo sostenibile mirano a ridurre l'impronta ecologica dell'Europa.
- **Protezione della biodiversità e ripristino degli ecosistemi degradati:** per preservare il patrimonio naturale dell'Europa e migliorare la resilienza contro le sfide ambientali, la Strategia per la Biodiversità dell'UE e la Strategia "Farm to Fork" ("Dal produttore al consumatore") promuovono l'agricoltura sostenibile e la conservazione della biodiversità.

La **transizione digitale** si riferisce all'implementazione dell'innovazione digitale e delle tecnologie, tra cui l'IA, l'IoT e le piattaforme di dati (Commissione Europea, 2020). Con iniziative come il Mercato Unico Digitale e il Programma Europa Digitale, l'UE mira a sfruttare il potere della tecnologia per stimolare la crescita economica, l'innovazione e il progresso sociale. Gli obiettivi chiave della trasformazione digitale sono:

- **Infrastruttura digitale e connettività:** l'UE si impegna ad espandere l'accesso a Internet ad alta velocità e l'infrastruttura digitale in tutti gli Stati Membri, garantendo la connettività per tutti i cittadini e le imprese. Questa iniziativa non solo migliora l'inclusione digitale ma supporta anche lo sviluppo economico nelle regioni meno servite.
- **Innovazione digitale e competitività:** promuovere l'innovazione digitale attraverso investimenti in tecnologie emergenti come l'IA, la blockchain e la cybersecurity favorisce la competitività e posiziona

L'Europa come leader globale nell'economia digitale. Iniziative come Horizon Europe guidano le innovazioni tecnologiche finanziando la ricerca e l'innovazione.

- **Governance e regolamentazione digitale:** garantire una governance responsabile e quadri normativi diventa fondamentale con l'evoluzione delle tecnologie digitali. L'attenzione dell'UE alla protezione dei dati (GDPR), ai diritti digitali e alla cybersecurity mira a salvaguardare la privacy e la sicurezza dei cittadini favorendo la fiducia nei servizi digitali.

I due processi sono strettamente intrecciati soprattutto **nel caso dell'ambiente costruito**.

L'implementazione di politiche a emissioni zero richiede una trasformazione significativa nei modi in cui l'ambiente costruito viene misurato e gestito a livello sia sociale che industriale. Questo sta indirizzando lo sviluppo verso l'innovazione digitale per raggiungere un equilibrio sostenibile (Li et al., 2024).

L'idea generale è che le tecnologie digitali forniscano funzioni, come il monitoraggio e la gestione degli edifici in tempo reale, che possano catalizzare la transizione verde. Non a caso gli **Smart Readiness Indicators (SRI)** sono stati sviluppati nell'ambito della **Direttiva sulla Prestazione Energetica degli Edifici (EPBD)** per misurare la capacità degli edifici di utilizzare tecnologie intelligenti con l'aspettativa che aiutino a raggiungere la decarbonizzazione e a creare ambienti di vita più confortevoli ed efficienti.

La convergenza della trasformazione digitale e della sostenibilità ambientale offre significative sinergie e opportunità di rafforzamento reciproco.

#### Direttiva sulla Prestazione Energetica degli Edifici (EPBD)

La Direttiva EU 2018/844 – EPBD III Allegato 1 bis ha definito la necessità di istituire un sistema comune Europeo per **valutare la “predisposizione degli edifici all’intelligenza”**, intesa come la capacità di un edificio di adattare il proprio funzionamento alle esigenze di occupanti e della rete per migliorarne l'efficienza energetica e le prestazioni complessive.

Tali indicatori devono valutare tre **funzionalità chiave dell'edificio e degli impianti**: (1) la capacità di mantenere una gestione efficiente (per esempio l'ottimizzazione dell'uso delle fonti rinnovabili); (2) la capacità di adattare la flessibilità di funzionamento in risposta alle esigenze dell'occupante (per esempio garantire la facilità d'uso, mantenere delle condizioni di benessere, informare sui consumi energetici); (3) la capacità di interagire in modo attivo con la rete (per esempio utilizzando sistemi di load shifting o di modulazione del carico).

La metodologia proposta per il calcolo SRI degli edifici utilizza un approccio checklist di valutazione dei singoli servizi presenti nell'edificio, di associazione di punteggi del servizio in base al livello funzionale raggiunto e di calcolo di un punteggio complessivo attraverso il metodo di **valutazione multicriterio**.

## Il quadro normativo italiano

Il quadro normativo italiano si rifà alle normative europee legate all'efficienza energetica degli edifici (EPBD) con la pubblicazione di diversi Decreti legislativi.

## La traiettoria per la decarbonizzazione

L'**EPBD I** (EU 91/2002) è stata tradotta nel D.Lgs. 192/2005 che ha definito i livelli di prestazione energetica degli edifici e la linea guida per la certificazione energetica. L'**EPBD II** (EU 31/2010), invece, è stata tradotta nella Legge 90/2013 in cui sono stati definiti i requisiti minimi e le linee guida per la certificazione “APE”. Infine l'**EPBD III** (EU 44/2018) ha visto la pubblicazione nel contesto italiano del D.Lgs. 48/2020 che ha definito dei nuovi requisiti minimi.

L'ultimo aggiornamento **EPBD IV** prevede la presentazione di un **piano nazionale di ristrutturazione degli edifici entro il 31 dicembre 2025**.

Il percorso di decarbonizzazione italiano prevede alcuni momenti fondamentali dal 2024 al 2050, che sono descritti nella tabella riportata di seguito. La Tabella 1 riassume la traiettoria delineata dal corpus dell'EPBD e, in generale, dal Green Deal europeo con una valutazione qualitativa del relativo impatto atteso di diverse

misure sugli edifici industriali e il termine temporale di implementazione di una normativa specifica che legiferi in merito allo specifico obiettivo.

Tabella 1. La traiettoria per la decarbonizzazione dell'ambiente costruito in Italia (elaborazione degli autori).

SCADENZA	OBIETTIVO	IMPATTO ATTESO SUGLI EDIFICI INDUSTRIALI
31/12/2024	Gli edifici non residenziali con impianti a potenza nominale utile superiore a 290 kW devono avere sistemi di automazione e controllo del riscaldamento, condizionamento e ventilazione	<b>ELEVATO</b>
01/01/2025	Stop agli incentivi fiscali per l'installazione di caldaie alimentate a combustibili fossili	<b>ELEVATO</b>
31/12/2025	Presentazione del piano nazionale di ristrutturazione degli edifici	<b>MEDIO</b>
31/12/2026	Tutti gli edifici pubblici e non residenziali con una superficie coperta utile superiore a 250 mq dovranno installare impianti fotovoltaici	<b>ELEVATO</b>
31/12/2027	Tutti i nuovi edifici pubblici e non residenziali con superficie superiore a 2.000 mq e quelli con superficie superiore a 500 mq sottoposti a ristrutturazione dovranno installare impianti fotovoltaici	<b>ELEVATO</b>
01/01/2028	Edifici pubblici di nuova costruzione dovranno essere ad emissione zero. Obbligo del calcolo del GWP (Global Warming Potential) durante il ciclo di vita degli edifici di nuova costruzione con una superficie superiore a 1.000 mq	<b>NULLO</b>
31/12/2029	Tutti gli edifici residenziali di nuova costruzione e tutti i parcheggi coperti adiacenti dovranno installare impianti fotovoltaici	<b>NULLO</b>
01/01/2030	Gli edifici di nuova costruzione dovranno essere ad emissione zero	<b>ELEVATO</b>
31/12/2030	I consumi medi degli edifici residenziali e non residenziali dovranno diminuire del 16% rispetto al 2020	<b>ELEVATO</b>
01/01/2033	I consumi medi degli edifici non residenziali dovranno diminuire del 26% rispetto al 2020	<b>ELEVATO</b>
31/12/2035	Il consumo medio di energia primaria dell'intero parco immobiliare residenziale dovrà diminuire del 20-22% rispetto al 2020	<b>NULLO</b>
01/01/2040	Le caldaie a gas non saranno più installabili	<b>MEDIO</b>

## La Direttiva “Case Green” (EPBD IV)

Nel contesto italiano la direttiva EPBD IV è meglio conosciuta come **Direttiva “Case Green”** e che ha l'obiettivo primario di delineare principi, strumenti e strategie in grado di facilitare il raggiungimento dell'**obiettivo di un patrimonio edilizio europeo a zero emissioni entro il 2050**. La Direttiva "Case Green" è formalmente conosciuta come Direttiva (UE) 2024/1275 sulla prestazione energetica nell'edilizia e fa parte del pacchetto di riforme "Fit for 55". L'EPBD IV (comma 26) recita:

*“I livelli minimi di prestazione energetica per gli edifici non residenziali dovrebbero essere previsti a livello dell'Unione e dovrebbero concentrarsi sulla ristrutturazione degli edifici non residenziali con le prestazioni peggiori, che hanno il potenziale più alto in termini di decarbonizzazione ed estensione dei benefici sociali ed economici, e pertanto devono essere ristrutturati in via prioritaria”.*

In quest'ottica, come afferma l'Articolo 8, **gli Stati Membri dovranno adottare delle misure per ridurre i consumi del patrimonio edilizio-immobiliare verificando la reale fattibilità tecnico-economica** delle strategie e degli interventi di riqualificazione. Infatti tale direttiva riafferma i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi, già inseriti nelle precedenti edizioni dell'EPBD, che servono a definire le prestazioni per edifici esistenti e garantire l'effettiva ristrutturazione degli edifici inefficienti. Vi è l'urgenza di ridurre la dipendenza dai combustibili fossili e di intensificare l'elettrificazione del consumo energetico degli edifici (comma 32). Per questo è richiesta la predisposizione al fotovoltaico in tutti gli edifici di nuova costruzione e, nel lungo periodo, l'installazione di sistemi fotovoltaici non sui soli edifici di nuova costruzione ma anche su quelli in ristrutturazione.

In particolare, **entro il 2030, il 16% degli edifici non residenziali deve raggiungere i requisiti minimi di prestazione energetica**. Questa necessità implica un impegno sostanziale per riqualificare il patrimonio industriale italiano il cui 30% rappresenta le peggiori prestazioni energetiche rispetto a tutto il patrimonio immobiliare non residenziale a livello nazionale (Aste, Del Pero e Leonforte, 2024).

Per il momento in Italia non esiste nessun obbligo che riguardi la riqualificazione delle **strutture industriali** anche se esistono degli incentivi (es. Ecobonus 36% su edifici non residenziali e Conto Termico 3.0 dal 2026) che potrebbero facilitare la riqualificazione degli immobili esistenti. Per gli edifici industriali, quindi, bisognerà fissare dei requisiti minimi e progressivi di prestazione energetica che dovranno essere rispettati a partire dal 2030 e diventare sempre più restrittivi negli anni successivi fino a raggiungere il target "zero emissioni" nel 2050.

La Direttiva "Case Green" per tutti gli edifici non residenziali, compresi anche quelli industriali, prevede che siano soggetti a **requisiti generali di miglioramento delle prestazioni energetiche** come la riduzione del consumo di energia primaria e l'adozione di fonti rinnovabili.

## Altri riferimenti verso la sostenibilità

Oltre al complesso delle EPBD, esistono altri riferimenti normativi e/o standard di valutazione che, nel tempo, hanno progressivamente descritto l'approccio del Paese verso la sostenibilità ambientale e indirizzato diversi settori economico/produttivi verso la riduzione dei propri impatti.

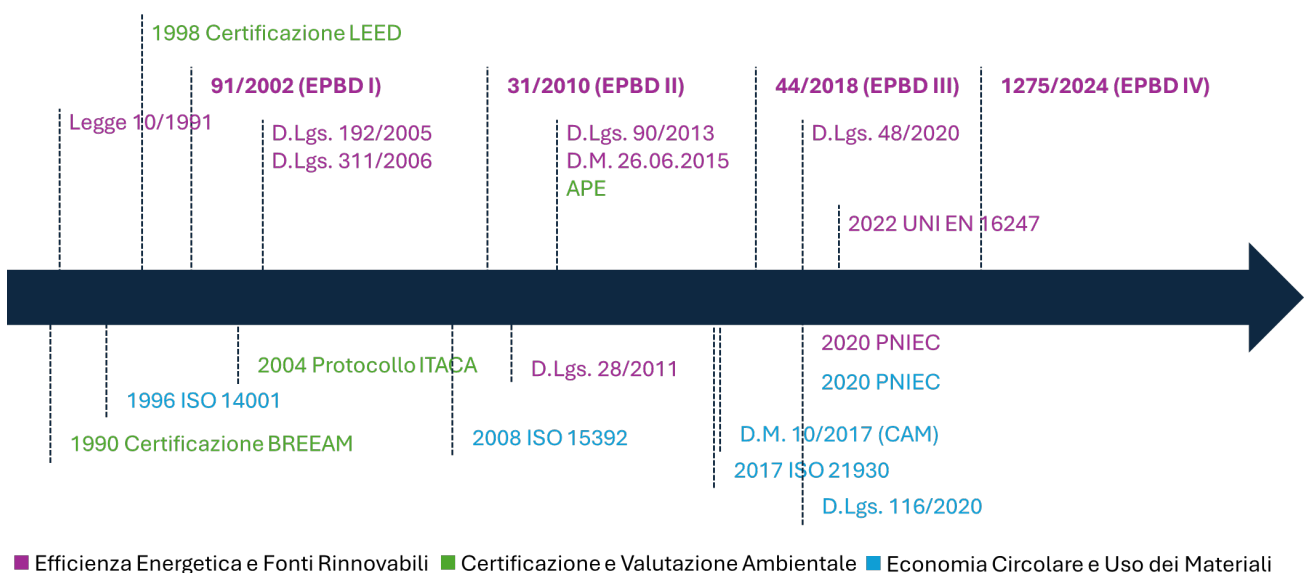


Figura 1. Principali riferimenti normativi e standard di valutazione ordinati secondo l'anno di pubblicazione (elaborazione degli autori).



Alcuni di questi riferimenti, anche in maniera indiretta, incidono sulla sostenibilità degli edifici industriali includendo tre principali aspetti che devono essere integrati per progettare o riqualificare impianti industriali più in linea con i requisiti di sviluppo sostenibile:

1. Efficienza energetica e fonti rinnovabili;
2. Certificazione e valutazione ambientale;
3. Economia circolare e uso dei materiali.

Di seguito si passano in rassegna i diversi riferimenti normativi con riferimento puntuale alla rilevanza che questi possono avere per la costruzione e ristrutturazione degli edifici industriali.

#### 1. **Efficienza Energetica e Fonti Rinnovabili:**

- Legge 10/1991: introduce obblighi di contenimento dei consumi energetici per gli impianti industriali con l'obiettivo di promuovere l'uso razionale dell'energia e la riduzione dei consumi. Tale Legge prevede l'obbligo di un progetto energetico per gli edifici industriali di nuova costruzione, che stimi il fabbisogno energetico dell'edificio e identifichi delle soluzioni per ridurre i consumi, migliorare l'efficienza termica degli impianti e utilizzare fonti rinnovabili.
- D.Lgs. 192/2005 e D.Lgs. 311/2006: questi decreti definiscono i criteri per il contenimento dei consumi energetici negli edifici e i parametri per l'isolamento termico e il rendimento degli impianti. In particolare, attuano nel nostro ordinamento la EPBD I (Direttiva 2002/91 dell'UE).
- D.M. 26 giugno 2015: introduce i criteri per gli edifici a energia quasi zero (nZEB – near-Zero Energy Building), che si applicano anche agli edifici industriali di nuova costruzione. Questo recepisce il D.Lgs. 90/2013 che viene pubblicato a seguito della EPBD II (Direttiva 2010/31 dell'UE).
- D.Lgs. 28/2011: disciplina l'uso delle fonti rinnovabili negli edifici, imponendo quote minime di utilizzo di energia da fonti rinnovabili.
- D.Lgs. 48/2020: questo decreto aggiorna la normativa sull'efficienza energetica, recependo la EPBD III (Direttiva 2018/44 dell'UE), includendo l'obbligo di realizzare edifici nZEB e promuovere esclusivamente la ristrutturazione sostenibile.
- Norma UNI EN 16247 "Diagnosi energetiche": pubblicata nel 2022, stabilisce le linee guida per la diagnosi energetica (audit energetico) in tutte le tipologie di edifici, inclusi quelli industriali. Attraverso la definizione dei requisiti di audit (includendo la trasparenza dell'analisi, l'accuratezza delle misurazioni, la completezza del perimetro di analisi, la proporzionalità e la verificabilità dei dati e dei risultati ottenuti), questa norma aiuta ad individuare le soluzioni per il risparmio energetico e la riduzione dell'impatto ambientale.. Riferendosi alla diagnosi energetica degli edifici, tale norma prevede l'analisi dell'involucro edilizio, la valutazione degli impianti tra cui climatizzazione, riscaldamento e illuminazione, ed il confronto tra i consumi teorici e reali.
- Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC): pubblicato nel 2020, con aggiornamenti nel 2023 e 2024, è un documento strategico che definisce obiettivi di riduzione delle emissioni e promozione delle fonti rinnovabili entro il 2030 e il 2050. Basato sulle linee definite dal Green Deal europeo, questo Piano identifica cinque dimensioni strategiche: decarbonizzazione, efficienza energetica, sicurezza energetica, mercato interno dell'energia nonché ricerca, innovazione e competitività. Nel piano gli edifici industriali ricoprono un ruolo importante nella strategia di decarbonizzazione e riduzione dei consumi energetici nazionali. Il PNIEC stabilisce alcuni target per il settore industriale che, oltre ad includere le cinque dimensioni strategiche, aggiungono la possibilità di sviluppare comunità energetiche per la condivisione dell'energia autoprodotta da diversi impianti situati nella stessa cabina primaria e la richiesta di adottare sistemi digitali per il monitoraggio dei consumi in tempo reale e automatizzare i processi.



## **PUNTI CHIAVE - Efficienza energetica e fonti rinnovabili**

1. **Nuova definizione di Edificio a Energia Quasi Zero (NZEB)** – Rafforza gli obblighi per l'efficienza energetica degli edifici nuovi e ristrutturati.
2. **Strategia di riqualificazione del parco immobiliare** – Obiettivo di riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> entro il 2050.
3. **Requisiti minimi di prestazione energetica** – Introduzione di standard più stringenti per nuove costruzioni e ristrutturazioni con l'identificazione di requisiti minimi di prestazione energetica che riguardano diversi aspetti:
  - **Prestazione energetica globale**
    - Devono rispettare un consumo energetico massimo per riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria.
    - I valori limite variano in base alla **zona climatica** e alla **destinazione d'uso** dell'edificio.
  - **Involucro edilizio**
    - Requisiti minimi di **trasmissione termica (U)** per pareti, coperture, pavimenti e finestre.
    - Obbligo di riduzione dei ponti termici e miglioramento dell'isolamento dell'involucro.
  - **Fonti rinnovabili**
    - Per gli edifici nuovi o sottoposti a ristrutturazioni importanti, almeno il **60% del fabbisogno** di acqua calda sanitaria deve provenire da fonti rinnovabili.
    - Obbligo di installare impianti fotovoltaici in base alla superficie dell'edificio.
  - **Impianti tecnici**
    - Obbligo di impianti ad alta efficienza (pompe di calore, caldaie a condensazione, sistemi ibridi).
    - Monitoraggio e gestione dei consumi tramite sistemi di automazione e controllo (per edifici non residenziali con impianti superiori a 290 kW).
  - **Edifici ad Energia Quasi Zero (NZEB)**
    - Gli edifici di nuova costruzione devono avere una **prestazione energetica molto elevata** con un consumo quasi nullo coperto da fonti rinnovabili.
4. **Integrazione delle fonti rinnovabili** – Maggiore utilizzo di impianti fotovoltaici, pompe di calore e sistemi di accumulo.
5. **Digitalizzazione e automazione degli edifici** – Incentivi per l'uso di tecnologie smart per monitorare e ottimizzare i consumi.
6. **Attestato di Prestazione Energetica (APE) aggiornato** – Introduzione di nuovi criteri per la classificazione energetica.
7. **Obbligo di sistemi di automazione e controllo** – Per edifici non residenziali con impianti di climatizzazione oltre i 290 kW.

Con riferimento specifico agli **edifici industriali**:

1. **Zone non climatizzate**
  - Se un capannone industriale è **privo di riscaldamento e raffrescamento** non è soggetto ai requisiti di prestazione energetica.
  - Se il riscaldamento è solo **saltuario o limitato ad alcune zone** (es. postazioni di lavoro) le norme possono essere meno stringenti.
2. **Zone climatizzate (uffici, mense, spazi di servizio)**
  - Devono rispettare **gli stessi requisiti degli edifici non residenziali** in termini di isolamento termico, impianti e fonti rinnovabili.
  - Obbligo di impianti ad alta efficienza per il riscaldamento, raffrescamento e illuminazione.
3. **Automazione e controllo degli impianti**
  - Se l'impianto di climatizzazione supera **290 kW** è obbligatorio un **sistema di automazione e controllo** per monitorare e ottimizzare i consumi energetici.
4. **Esenzioni per edifici produttivi con esigenze specifiche.**

## **2. Certificazione e Valutazione Ambientale:**

- **Attestato di Prestazione Energetica (APE)**: documento definito obbligatorio dal D.Lgs. 192/2005 (che ha recepito l'EPBD I) per attestare la prestazione energetica degli edifici e fornire indicazioni su eventuali miglioramenti, ove oggetto di compravendita, locazione o ristrutturazione. Il successivo D.Lgs. 102/2014 introduce delle modifiche relative al miglioramento e uniformità delle metodologie di calcolo dell'efficienza energetica.
- **Protocollo ITACA (Istituto per la Tutela dell'Ambiente e la Certificazione Ambientale)**: strumento volontario sviluppato a livello italiano per la valutazione e certificazione della



sostenibilità degli edifici su base regionale, che analizza parametri come il consumo di energia, l'uso di materiali sostenibili e il comfort abitativo con uno schema a punteggio.

- **LEED e BREEAM** (vedi ALLEGATI): sistemi di certificazione volontaria riconosciuti a livello internazionale e adottati anche in Italia per valutare la sostenibilità degli edifici, applicabili anche al patrimonio industriale.

#### **PUNTI CHIAVE - Certificazione e Valutazione Ambientale**

##### **1. Efficienza energetica e riduzione delle emissioni**

- **Miglior isolamento termico** per ridurre il consumo di energia per il riscaldamento e il raffrescamento.
- **Sistemi di illuminazione ad alta efficienza** (LED, gestione automatizzata).
- **Utilizzo di energie rinnovabili** (fotovoltaico, solare termico, biomassa, pompe di calore).
- **Riduzione dell'impronta di carbonio** e delle emissioni di CO<sub>2</sub>.
- **Automazione e monitoraggio dei consumi energetici** tramite sistemi BMS (Building Management System).

##### **2. Materiali sostenibili e ciclo di vita**

- Utilizzo di **materiali riciclati o certificati** (es. FSC per il legno, EPD per materiali da costruzione).
- Progettazione secondo i principi del **Life Cycle Assessment (LCA)** per valutare l'impatto ambientale lungo tutto il ciclo di vita.
- Riduzione della produzione di **rifiuti da costruzione** e piani di smaltimento sostenibile.

##### **3. Gestione dell'acqua e riduzione degli sprechi**

- Sistemi di **raccolta e riutilizzo delle acque piovane** per usi non potabili.
- Installazione di **rubinetterie e impianti a basso consumo idrico**.
- Trattamento e riutilizzo delle **acque reflue industriali**.

##### **4. Comfort e qualità ambientale interna**

- **Ventilazione naturale e filtrazione dell'aria** per ridurre l'inquinamento indoor.
- Controllo di **VOC (composti organici volatili)** nei materiali da costruzione per migliorare la qualità dell'aria.
- **Illuminazione naturale** e progettazione ergonomica degli spazi per il benessere dei lavoratori.
- Controllo dell'**isolamento acustico** per ridurre il rumore negli ambienti di lavoro.

##### **5. Gestione del sito e mobilità sostenibile**

- **Riduzione del consumo di suolo** e miglior gestione del verde intorno agli edifici.
- **Pianificazione della logistica** per ridurre l'impatto del trasporto e delle emissioni da movimentazione merci.
- **Parcheggi per biciclette, colonnine di ricarica per veicoli elettrici** per incentivare la mobilità sostenibile.

##### **6. Automazione e gestione intelligente**

- Integrazione di **sistemi di automazione** per il monitoraggio dei consumi energetici e l'ottimizzazione degli impianti.
- Controllo **intelligente della climatizzazione e dell'illuminazione** basato su presenza e condizioni ambientali.

### **3. Economia Circolare e Uso dei Materiali**

- **ISO 14001 "Sistema di Gestione Ambientale" (SGA)**. Pubblicata nel 1996 con successive revisioni (l'ultima del 2015), tale norma fornisce un quadro di riferimento per la gestione ambientale all'interno di un'organizzazione con l'obiettivo di ridurre l'impatto ambientale delle attività, dei prodotti e dei servizi. Nel contesto degli edifici industriali, è una norma di riferimento per gestire i consumi energetici, i rifiuti e i materiali derivanti dalla produzione di scarti, per stabilire un processo di monitoraggio e controllo per la riduzione dell'inquinamento e delle emissioni e per promuovere la sostenibilità attraverso l'adozione di pratiche ecologiche come l'uso di materiali sostenibili.
- **ISO 15392 "Durabilità e Sostenibilità nell'Edilizia"**. Pubblicata nel 2008, fornisce le linee guida per la durabilità e la sostenibilità degli edifici, promuovendo la progettazione e costruzione di edifici resilienti nel tempo in grado di mantenere un buon livello di prestazioni ambientali, sociali ed economiche. In particolare fa riferimento all'utilizzo di materiali durevoli che richiedono minore manutenzione e all'ottimizzazione delle risorse naturali attraverso l'utilizzo di sistemi energetici ad alta efficienza nonché definisce strategie per ridurre il consumo di suolo o il riutilizzo di acqua. Inoltre, attraverso l'approccio del Ciclo di Vita (LCA



– Life Cycle Assessment), tale norma identifica l'adattabilità, la flessibilità e la resilienza come requisiti fondamentali per la progettazione di nuovi edifici.

- **ISO 21930 "Sostenibilità degli Edifici"**. Pubblicata nel 2017, con una revisione nel 2020, questa norma fornisce un quadro di riferimento per la valutazione della sostenibilità degli edifici e per la loro gestione considerando l'intero ciclo di vita (costruzione, uso, ristrutturazione e dismissione). Per la valutazione ambientale e prestazionale degli edifici fornisce un quadro utile per implementare principi di sostenibilità in qualsiasi tipo di edificio, inclusi quelli a uso industriale, misurando e valutando la sostenibilità con un approccio che considera l'intero ciclo di vita.
- **D.Lgs. 116/2020**: recepisce la direttiva europea sui rifiuti e impone l'uso di materiali riciclati nel settore edilizio. In particolare prevede che gli edifici industriali devono differenziare i rifiuti prodotti in rifiuti urbani non domestici e rifiuti speciali derivanti dai processi produttivi e devono definire dei piani per il recupero dei materiali e il loro riutilizzo.
- **CAM Edilizia (Criteri Ambientali Minimi)**: definiti dal D.M. 11 ottobre 2017 e aggiornati nel 2022, stabiliscono parametri di sostenibilità per gli appalti pubblici. I CAM stabiliscono criteri rigorosi per l'uso dei materiali sostenibili durante le fasi di costruzione e ristrutturazione degli edifici. I materiali devono essere scelti in base al loro impatto ambientale favorendo l'utilizzo di materiali riciclati o riciclabili. I CAM stabiliscono poi criteri per l'efficienza energetica (isolamento termico, sistemi energetici rinnovabili, efficienza nei sistemi di riscaldamento/raffrescamento), per la gestione dell'acqua (riutilizzo delle acque reflue ed efficienza dei sistemi idrici), per la gestione dei rifiuti (riduzione della produzione di rifiuti e recupero o riciclo) e per il monitoraggio degli impatti e delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

#### PUNTI CHIAVE - Economia Circolare e Uso dei Materiali

1. **Obbligo di gestione separata dei rifiuti industriali** con aree dedicate nei capannoni per lo stoccaggio temporaneo.
2. **Implementazione di sistemi di tracciabilità digitale** per monitorare i flussi di rifiuti.
3. **Incentivo all'uso di materiali più sostenibili** e riutilizzabili nelle attività industriali.
4. **Aumento dei controlli e delle sanzioni** per chi non rispetta le regole di smaltimento e riciclo.
5. **Efficienza energetica**: L'edificio deve essere progettato per **ridurre il consumo energetico** (es. con l'uso di **isolamento termico, sistemi di recupero di calore, o pannelli fotovoltaici**).
6. **Uso di materiali sostenibili**: L'uso di **materiali riciclabili** o a **basso impatto ambientale** è fondamentale per ridurre il consumo di risorse non rinnovabili.
7. **Gestione dell'acqua**: L'integrazione di **sistemi di raccolta e riutilizzo dell'acqua piovana**, insieme a **sistemi di trattamento delle acque reflue**, è altamente raccomandata.
8. **Resilienza ai cambiamenti climatici**: Gli edifici industriali devono essere progettati per resistere a fenomeni climatici estremi, come **ondate di calore, inondazioni o tempeste**, riducendo così il rischio di interruzioni nelle operazioni aziendali.
9. **Flessibilità e adattabilità**: Gli edifici devono essere progettati per essere facilmente adattabili alle future esigenze produttive o tecnologiche, rendendo il processo di ristrutturazione o modifica più semplice e meno costoso.



## Il capannone produttivo sostenibile

Il capannone produttivo oggi non può prescindere da un'attenzione specifica rivolta alle prestazioni energetiche, al di là di ciò che riguarda l'impianto produttivo ivi ospitato. Questo driver di sostenibilità può portare anche all'ottimizzazione dei processi produttivi e alla riduzione dei costi operativi.

In particolare gli edifici industriali possono determinare diversi impatti sull'ambiente ovviamente in relazione alla loro dimensione, localizzazione, tipo di attività produttiva ecc. Questi possono riguardare:

- **Emissioni di gas serra:** questo tipo di emissioni deriva dalla produzione di energia necessaria per le attività industriali, nonché dalla combustione di carburanti fossili per il riscaldamento o il raffrescamento degli spazi interni. Possono inoltre essere generati dalla produzione di materiali da costruzione come il cemento. I gas rilevanti coinvolti, nonché i principali responsabili del cambiamento climatico, sono: anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>).
- **Inquinanti atmosferici:** questo tipo di inquinanti riguarda l'emissione di particolato (PM10 e PM2.5), composti organici volatili, ossidi di zolfo (SO<sub>x</sub>) e monossido di carbonio (CO). Questi inquinanti atmosferici derivano dal rilascio di sostanze chimiche nell'aria anche durante le operazioni industriali e influenzano principalmente la qualità dell'aria.
- **Consumo intenso di risorse naturali:** questo aspetto deriva dalla quantità di energia, legno, acqua, minerali o materiali da costruzione specifici per il funzionamento degli impianti produttivi. Quando queste risorse vengono estratte o utilizzate intensamente, si può generare una riduzione della biodiversità o della disponibilità di risorse essenziali.
- **Deforestazione, esaurimento delle risorse idriche e inquinamento del suolo e dell'acqua:** la costruzione di nuovi edifici industriali e delle infrastrutture correlate, in relazione alle necessità di localizzazione in aree specifiche, può richiedere attività di deforestazione. Inquinamento del suolo e dell'acqua è un rischio che può derivare da uno smaltimento improprio dei rifiuti o dal rilascio di sostanze come olii o metalli.
- **Biodiversità ed ecosistema circostante:** diverse attività industriali comportano effetti sulla qualità dell'aria e sul consumo di risorse con rischi potenziali per la qualità della vita delle specie viventi insediate nell'intorno dello stabilimento, incluse piante, animali e persone.

Per prevenire e mitigare tali impatti, i principali elementi cui è necessario prestare attenzione nel progetto di un nuovo immobile o nella riqualificazione di un immobile esistente sono i seguenti:

- Utilizzo di **materiali locali, riciclati e/o riciclabili** di veloce installazione (in modo da ridurre anche l'impatto ambientale del cantiere edilizio) come acciaio, pannelli di calcestruzzo prefabbricati e legno;
- Involucro caratterizzato da **sistemi e materiali avanzati per l'isolamento termico** in modo da ridurre i consumi energetici per regolare la temperatura interna;
- Sistemi di **recupero e riutilizzo delle acque meteoriche**;
- **Sistemi centralizzati di controllo degli impianti (HVAC)** inclusa l'illuminazione, il riscaldamento, il raffrescamento e la ventilazione meccanica combinati a un'infrastruttura sensoristica in grado di rilevare i parametri ambientali di diversi ambienti e regolarli opportunamente interfacciandosi in automatico con gli impianti di gestione;
- **Corpi di fabbrica dalla forma semplice e lineare**, nella maggior parte dei casi rettangolare, in modo da facilitare la logistica interna e l'organizzazione del cantiere di costruzione;
- **Edifici multi-funzionali** che non ospitano solo gli impianti produttivi ma anche uffici amministrativi, aree dedicate alla ricerca e sviluppo e luoghi accessibili al pubblico (tra cui musei aziendali, spazi educativi, spazi conferenze, ecc.).



## Alcuni casi

Di seguito si descrivono alcuni casi esemplari di come la realizzazione e/o la costruzione da nuovo di capannoni industriali possa integrare i principi di sostenibilità sopra esposti.

### Ford Rouge Complex a Dearborn

#### Quick fact sheet

**Location:** Dearborn, Michigan

**Client/Owner:** Ford Motor Company

**Market:** Vehicle Manufacturing | **Submarket:** Assembly; Body Shop; Paint Shop

**Architects:** Albert Kahn; William McDonough; Harley Ellis; Arcadis Giffels

**Total Area:** 2.035.000 square feet (600 acri) – 2,4 km<sup>2</sup> | **Building Size:** 1,1 million square feet (100.000 m<sup>2</sup>)

**Building Types:** steel mills; industrial buildings; power houses; industrial complexes; factories (structures)

**Total Complex Cost:** \$2 Billion

**Employees in Factory:** 6.000

**Status:** Completed 2000

#### Timeline:

- 2017: Inizio del primo cantiere
- 1928: Fine della fase costruttiva con la realizzazione di 93 edifici
- 1997: Inizio del processo di riqualificazione
- 1999: Affidamento del progetto all'architetto William McDonough
- 2000: Affidamento dei lavori alla Walbridge

#### Fonti:

- <https://www.thehenryford.org/visit/ford-rouge-factory-tour/history-and-timeline/reinventing>

- <https://detroithistorical.org/learn/encyclopedia-of-detroit/ford-rouge-complex>

- <https://www.walbridge.com/project/ford-rouge-redevelopment-program-dearborn-mi/>

- <https://mcdonoughpartners.com/projects/ford-rouge-center-landscape-master-plan/>

- Kathryn Bishop Eckert (2012). Ford Rouge Center [Dearborn, Michigan], SAH Archipedia, eds. Gabrielle Esperdy and Karen Kingsley, Charlottesville: UVaP. <http://sah-archipedia.org/buildings/MI-01-WN134>.

Last accessed: March 23, 2025.

La visione di Henry Ford della “fabbrica perfetta” si realizzò con la costruzione del Rouge Assembly Plant, o Ford Rouge Complex, su un'area di 2.000 acri (8 chilometri quadrati) a Dearborn in Michigan. Il Rouge fu concepito come un complesso industriale “perfetto” in cui si potessero trasformare le materie prime, produrre i pezzi e assemblare i veicoli, il tutto nello stesso sito.

Ford assunse il noto architetto Albert Kahn per progettare gli edifici del Rouge. Il Glass Plant del Rouge, progettato da Kahn e ora non più esistente, è uno dei suoi progetti di architettura industriale più celebri.

I lavori iniziarono nel 1917. Al completamento del complesso nel 1928 il sito comprendeva 93 edifici e disponeva di un sistema ferroviario interno con più di 90 miglia (circa 150 chilometri) di binari per distribuire i pezzi all'interno del campus. All'epoca **era la più grande fabbrica integrata al mondo** in grado di trasformare materie prime in veicoli funzionanti in un unico complesso, un esempio emblematico di produzione ad integrazione verticale. La Glass Plant del Rouge progettata da Albert Kahn, considerata all'epoca un esempio di **fabbrica esemplare e umana**, offriva ampia luce naturale grazie alle finestre sul soffitto.

Fin dall'inizio l'impianto fu uno dei pochi a possedere una propria fonderia e forni a coke. Per ridurre al minimo gli sprechi i residui dei forni a cupola venivano utilizzati in una cementeria, mentre una cartiera nelle vicinanze produceva scatole di cartone dagli scarti del legno. L'ossessione di Henry Ford per l'efficienza si rifletteva anche in altri aspetti della gestione dell'impianto, inclusa la pulizia. Al culmine dell'occupazione, l'impianto impiegava più di 5.000 lavoratori solo per mantenere gli edifici e il terreno puliti, dipinti e in buone



condizioni. Tra il 1919 e il 1926 il numero totale di dipendenti raggiunse 75.000. Al 2018 l'impianto copriva 600 acri e contava circa 6.000 dipendenti.

Henry Ford situò strategicamente il complesso del Rouge in un luogo accessibile a corsi d'acqua e alla rete dei trasporti. Il sito paludoso fu trasformato in un complesso industriale attraverso l'installazione di centinaia di pali di legno nel terreno per sostenere gli edifici. Il Rouge fu trasformato da area paludosa nel più possente complesso industriale mai conosciuto. Questa trasformazione, tuttavia, ha avuto un impatto duraturo sia positivo, in particolare sull'economia del territorio, che sfidante, soprattutto sull'ambiente.

Nel 1997 la Ford Motor Company avviò un progetto da 2 miliardi di dollari per trasformare e modernizzare il complesso del Rouge. Nel 2000 il nipote di Henry Ford intraprese il progetto di riqualificazione multimiliardario dell'intero centro, incaricando la Walbridge di gestire un vasto programma articolato in tre livelli che prevedeva:

1. la costruzione di una nuova carrozzeria e di un nuovo edificio per l'assemblaggio finale;
2. aggiornamenti al sistema infrastrutturale che alimentava il complesso con energia elettrica, acqua, gas, aria compressa e acqua refrigerata;
3. un ampio programma di sostenibilità che includeva miglioramenti ambientali significativi e, in alcuni casi mai sperimentati prima, su tutti i fronti.

Ora chiamato Ford Rouge Center, l'impianto presenta processi di produzione snelli, sostenibili e flessibili, vantando uno dei "tetti viventi" più grandi al mondo.

Il complesso del Rouge oggi misura 1,5 miglia (2,4 km) di larghezza per 1 miglio (1,6 km) di lunghezza, includendo 93 edifici con quasi 16 milioni di piedi quadrati (1,5 km<sup>2</sup>) di spazio operativo, dotato di propri moli lungo il dragato Rouge River, 100 miglia (160 km) di binari ferroviari interni, una propria centrale elettrica e un'acciaieria integrata.

La compagnia di gestione Walbridge, grazie alla sua esperienza decennale in costruzioni industriali, ha diretto con successo un team di esperti nazionali riconosciuti nei campi dell'architettura, ingegneria, architettura del paesaggio, sostenibilità, certificazione LEED® e gestione delle acque meteoriche. Le tecniche innovative di gestione del progetto, insieme a una sofisticata strategia di pianificazione e controllo, hanno permesso al gruppo di ottenere risultati in linea con l'ambiziosa portata e le straordinarie ambizioni del progetto. Walbridge è stata anche responsabile della definizione del programma, della gestione ingegneristica, della gestione dei contratti, della sicurezza sul sito e di altre iniziative che hanno coinvolto cinque studi di ingegneria e architettura, un consulente di design sostenibile, funzionari municipali e di contea e rappresentanti della Ford.

La riqualificazione del complesso di 1.100 acri (circa 4,5 chilometri quadrati) ha comportato la demolizione e rimozione di edifici, la costruzione di oltre 2 milioni di piedi quadrati (185.000 metri quadrati) di nuove strutture e la sostituzione di una rete complessa di linee per la fornitura di energia. La costruzione della nuova carrozzeria e dell'edificio per l'assemblaggio finale doveva essere completata senza interrompere le operazioni di produzione esistenti in altre parti del Rouge. Nel 1999 l'architetto William McDonough ha stipulato un accordo con la Ford Motor Company per riprogettare la struttura del Rouge River, risalente a 85 anni prima.

Oggi la nuova fabbrica Dearborn Truck è famosa per il suo **tetto coperto di vegetazione** e il sistema di **raccolta dell'acqua piovana** grazie al progetto dall'architetto William McDonough. Questa struttura è ancora la più grande fabbrica della Ford a livello mondiale: un sito che può essere un modello di produzione industriale e riqualificazione ambientale.

Il Rouge di oggi vanta un Visitor Center certificato LEED Gold, tratta le acque meteoriche con un sistema completamente naturale che include uno dei più grandi "tetti viventi" al mondo, ha uno stabilimento di verniciatura che cattura i fumi per alimentare con il loro calore celle a combustibile, ha impianti che trattano il suolo inquinato da decenni di attività industriale pesante, è un "vicino" migliore per la città nella quale si insedia e un posto di lavoro piacevole ma anche una casa per la fauna selvatica.



Ford sta dimostrando che i processi di produzione ecocompatibili possono essere, in effetti, redditizi. L'approccio di Ford dimostra che il **design sostenibile è un design ad alte prestazioni** che può:

- Ridurre i costi energetici annuali
- Ridurre i costi di manutenzione a lungo termine
- Utilizzare materiali non tossici e facilmente riciclabili
- Creare ambienti di lavoro più salubri
- Migliorare la produttività dei dipendenti
- Attrarre e reclutare talenti
- Migliorare l'immagine dell'azienda sul mercato
- Contribuire alla protezione dell'ambiente.

Il complesso dimostra tutto questo grazie ad alcune caratteristiche chiave:

1. Il tetto dell'impianto di assemblaggio dei camion Dearborn è coperto da uno **strato vegetale a crescita bassa**. Il sedum trattiene e purifica l'acqua piovana e modera la temperatura interna dell'edificio, risparmiando energia e diventando una casa ospitale per uccelli, api e migliaia di alberi.
2. Il tetto fa parte di un **sistema di trattamento delle acque piovane** da 18 milioni di dollari progettato per raccogliere e purificare l'acqua piovana annualmente, evitando a Ford la costruzione di un impianto di trattamento meccanico da 50 milioni di dollari.
3. Nel Dearborn Truck Plant, **pannelli luminosi montati sul soffitto e lucernari** (che prendono il nome di "monitor") inondano di luce naturale il piano di produzione. Questo sistema innovativo di illuminazione diurna, insieme all'aria temperata, a spazi più ampi e all'ergonomia applicata a ogni compito, ha significativamente migliorato l'esperienza quotidiana dei lavoratori.

Nelle città di tutta l'America i sistemi di **gestione delle acque meteoriche** canalizzano la pioggia e la neve sciolta verso gli scarichi e le fognature. La rapida corsa dell'acqua trascina polvere e sporco dalle superfici asfaltate, inviando acqua contaminata nei fiumi e laghi vicini. Al contrario, la pioggia e la neve al Ford Rouge Center cadono su ettari di superfici permeabili come il Living Roof dove l'acqua meteorica viene catturata e purificata. E, per quanto grande, il tetto vivente è solo una parte di un sistema esteso e naturale di gestione delle acque meteoriche che circonda il Dearborn Truck Plant.

Il sistema cattura e pulisce il deflusso prima di restituirlo al bacino idrografico utilizzando processi naturali, non chimici. Aiuta anche a proteggere contro le inondazioni. Un sistema integrato che include il Living Roof, zone umide per il trattamento naturale, fossati vegetali chiamati swales, centinaia di alberi piantati e il più grande parcheggio a pavimentazione porosa del mondo, situato a nord-ovest del Dearborn Truck Plant.

La pioggia che cade sul Living Roof viene assorbita o filtrata dalle piante di sedum. L'acqua in eccesso defluisce dal tetto in bacini di stoccaggio di pietra situati sotto un innovativo e assorbente parcheggio poroso nelle vicinanze. L'acqua scorre poi verso gli swales e le zone umide di trattamento dove le piante agiscono come "filtri naturali" per aiutare a prevenire la migrazione di polvere e sporco nei fiumi e laghi.

Un sistema naturale come questo ha il potenziale di risparmiare milioni di dollari rispetto all'installazione e al funzionamento di un tradizionale impianto di trattamento delle acque meteoriche. Si calcola che la nuova infrastruttura di gestione delle acque meteoriche abbia fatto risparmiare all'azienda 35 milioni di dollari di capitale rispetto a un investimento in sistemi convenzionali con risultato equivalente. Affidandosi ad un'infrastruttura basata sul paesaggio che richiede un uso minimo di tubazioni, il nuovo sistema di gestione delle acque meteoriche ha avuto un costo inferiore a un terzo rispetto alle pratiche convenzionali e ha creato un modello altamente acclamato per il design sostenibile.

Oltre ai risparmi monetari, il sistema naturale delle acque meteoriche ha creato nuovi habitat nel sito per uccelli, farfalle, insetti e microrganismi, generando un **ecosistema biologico** molto ampio. Entro cinque giorni dall'installazione del tetto i killdeer locali avevano nidificato e deposto le loro uova nel sedum.

La Ford sta sperimentando anche un processo biologico di **fitodepurazione** per rimuovere i composti PAH dal suolo vicino ai vecchi forni a coke del Rouge. I composti PAH sono idrocarburi policiclici aromatici, un



sottoprodotto di decenni di produzione siderurgica. La fitodepurazione utilizza piante e i microrganismi attratti dalle loro radici per scomporre i contaminanti in composti organici innocui che vengono assorbiti nelle radici. Questo processo aiuta a liberare il suolo dai composti PAH. Filtra anche il deflusso delle acque meteoriche, rigenera l'habitat della fauna selvatica e abbellisce il paesaggio.

Il sito sperimentale di fitodepurazione implementato al Rouge rappresenta uno degli studi più ambiziosi al mondo su questo processo. Rispetto ai metodi di pulizia convenzionali, la fitodepurazione:

- È più vantaggiosa per l'ambiente rispetto alla rimozione del suolo contaminato e al suo trasporto in una discarica, che sposta semplicemente il problema da un sito a un altro.
- Può costare meno rispetto agli scavi e all'uso delle discariche.
- È alimentata dall'energia solare.
- Aggiunge bellezza al paesaggio grazie all'uso di piante autoctone, tra cui prairie dock, cardinal flower, New England aster e altre perenni che depurano il suolo.
- Ripristina gli habitat della fauna selvatica.

Altri processi naturali vengono utilizzati all'interno dell'edificio di assemblaggio finale per rendere il Ford Rouge Complex un luogo di lavoro più desiderabile. Il design dell'edificio tiene conto delle **esigenze delle persone**, oltre che dei macchinari, una tradizione tramandata da Henry Ford e dall'architetto Albert Kahn. Rispetto al vecchio impianto di assemblaggio, il cambiamento è significativo:

- Dieci grandi **lucernari**, chiamati monitor - ognuno di quasi 3.000 piedi quadrati - e 36 lucernari più piccoli inondano di luce naturale l'edificio. Il vetro a risparmio energetico riduce il riflesso e il calore del sole. Nei giorni di sole i lucernari consentono di spegnere fino alla metà delle luci dell'edificio, riducendo il consumo energetico per l'elettricità. Utilizzare la luce naturale migliora anche la percezione dei colori, riduce l'affaticamento visivo e migliora l'umore. Secondo i ricercatori le persone che lavorano alla luce naturale sono più produttive.
- E poiché gli edifici scarsamente ventilati possono causare affaticamento, lo stabilimento è riscaldato e raffreddato da un innovativo **sistema di ricambio dell'aria chiamato "big foot"** che sostituisce l'aria all'interno dell'edificio con aria fresca ogni 30 minuti. Questo sistema senza condotti mescola l'aria calda vicino al soffitto con l'aria fresca vicino al pavimento per creare una temperatura più gradevole al livello dove le persone lavorano. L'edificio stesso funge da grande condotto dell'aria, creando una leggera pressione positiva che impedisce l'ingresso di correnti d'aria quando le porte delle banchine di carico si aprono.
- Il sistema include un **serbatoio di stoccaggio termico** da 1,3 milioni di galloni. L'acqua all'interno del serbatoio viene raffreddata a un ritmo costante ed estratta secondo necessità. Durante l'estate l'acqua refrigerata nel serbatoio raffredda l'edificio in modo più efficiente ed economico rispetto all'uso di apparecchiature meccaniche tradizionali. È stata creata una soluzione in grado di utilizzare meno impianti meccanici, riducendo il consumo di energia e favorendo un risultato positivo con una spesa in conto capitale inferiore. I dipendenti percepiscono e apprezzano un ambiente di lavoro più confortevole.
- Il tetto dell'edificio, con una superficie di 1,1 milioni di piedi quadrati (100.000 m<sup>2</sup>), è stato coperto con oltre 4,0 ettari (40.000 m<sup>2</sup>) di sedum ed è un **tetto vivente**. Progettato per ridurre il deflusso delle acque meteoriche, il tetto offre anche ombreggiatura solare della superficie e ha creato un habitat naturale per uccelli e altra fauna selvatica. Presenta una base di 4 pollici di terreno con piante di erba e sedum. Sono stati testati diversi materiali utilizzati negli strati sottostanti prima di scegliere quelli finali. Il sistema di tetto installato rappresenta solo il 25 per cento del peso originale e ha avuto un costo inferiore alle aspettative.
- Il Programma di Sostenibilità ha incluso anche la **piantumazione di oltre 10.000 piante**, alberi e arbusti, l'uso di fotovoltaico, celle a combustibile e pozzi termici profondi 400 piedi (120 m).

Il progetto di riqualificazione del Rouge ha fornito più di 2 milioni di piedi quadrati di strutture produttive flessibili e all'avanguardia. Ha testato i limiti delle idee sostenibili e ha stabilito uno standard per il loro utilizzo in un importante sito di produzione automobilistica.



*Figura 2. Vista del nuovo Ford Rouge Complex dopo la riqualificazione degli anni 2000.*



*Figura 3. La piantumazione verde sulla superficie permeabile intorno agli edifici del Ford Rouge Complex.*

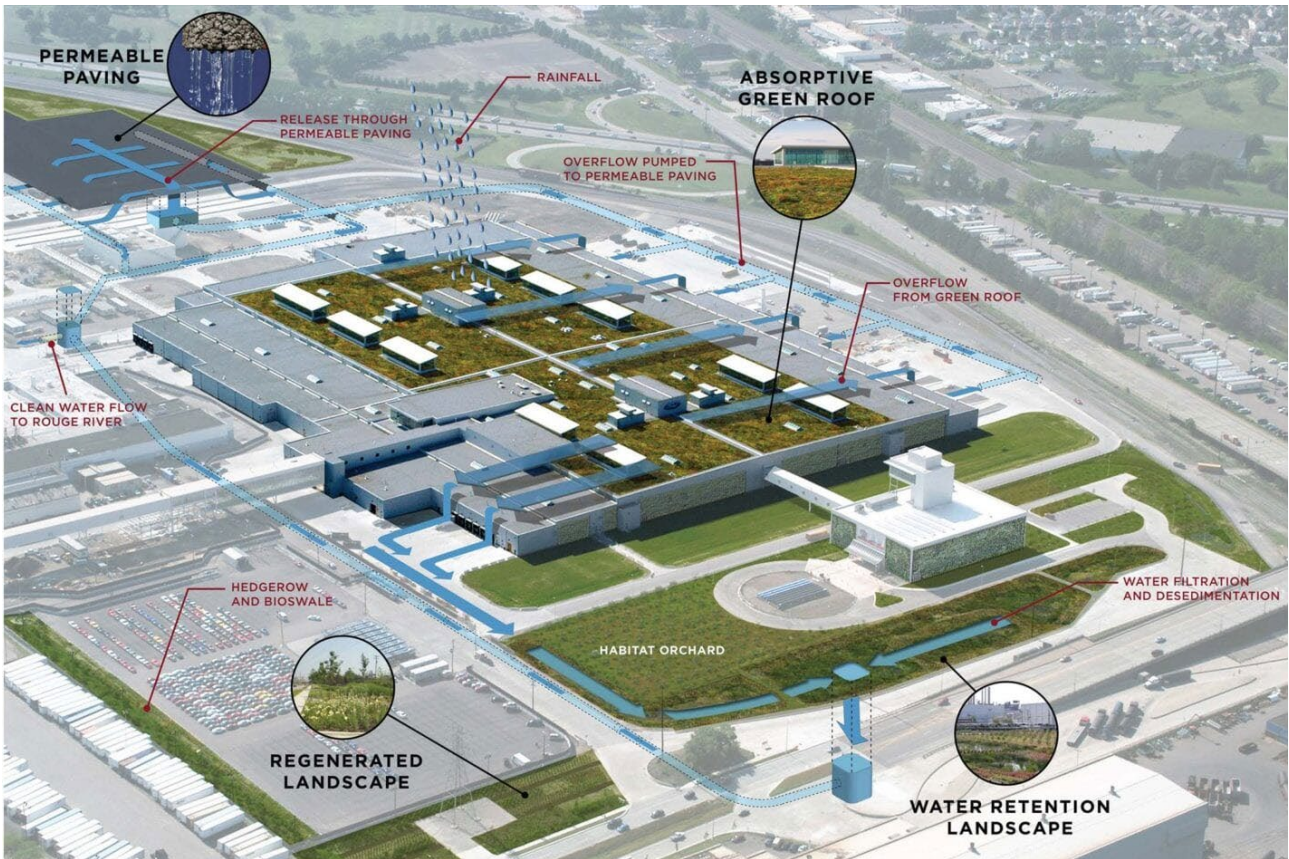


Figura 4. Il sistema di circolazione delle acque all'interno del sito del Ford Rouge Complex.



Figura 5. Il sistema di collegamento idrico tra il Ford Rouge Complex e il Rouge river.



## BMW Group plant a Leipzig

### Quick fact sheet

**Location:** Leipzig, Germany

**Client/Owner:** BMW AG

**Market:** Vehicle Manufacturing

**Architect:** Zaha Hadid

**Total Area:** 270.000 square feet (25.000 m<sup>2</sup>) | **Building Footprint:** 250.000 square feet (23.000 m<sup>2</sup>)

**Building Types:** Productive sheds; Offices; Quality control; Visitor center

**Total Complex Cost:** \$1.55 Billion | **Building Cost:** \$60 million

**Employees in Factory:** 5.500

**Program:** Control Functions, Offices/Admin., Meeting rooms, Cafeteria, Public Relations; Parking 4.100 spaces

**Status:** Completed 2005

#### Timeline:

- November 2001: Competition Phase #1
- November 2002: Competition Phase #2
- March 2002: Jury Decision
- August 2002: Design Development Completed
- 2002/2003: Construction Documents Completed/Bidding and Negotiations
- March 2003: Groundbreaking/Construction Commenced
- January 2004: Steel Construction Completed
- March 2004: Building Enclosed
- June 2004: Car Park Completed
- September 2004: Central Building Completed
- May 2005: Landscaping Completed/Central Building Opened

#### Fonti:

- [https://www.bmwgroup-werke.com/content/dam/grpw/websites/bmwgroup-werke.com/leipzig/verantwortung/2023\\_Umwelterklaerung\\_BMW\\_Group\\_Werk\\_Leipzig.pdf](https://www.bmwgroup-werke.com/content/dam/grpw/websites/bmwgroup-werke.com/leipzig/verantwortung/2023_Umwelterklaerung_BMW_Group_Werk_Leipzig.pdf)
- [https://web.archive.org/web/20081026104410/http://www.architecture-page.com/go/projects/bmw-central-building-plant-leipzig\\_4](https://web.archive.org/web/20081026104410/http://www.architecture-page.com/go/projects/bmw-central-building-plant-leipzig_4)
- Spencer, D. (2016). Replicant urbanism: the architecture of Hadid's Central Building at BMW, Leipzig. *The Journal of Architecture*, 21(5), 747–773. <https://doi.org/10.1080/13602365.2016.1207429>  
Last accessed: March 23, 2025.

Lo stabilimento di BMW Group a Lipsia è una delle fabbriche di automobili più moderne al mondo. La produzione in serie è iniziata a marzo 2005. Oggi circa 1.300 veicoli escono ogni giorno dalla linea di produzione. BMW Group ha già investito un totale di oltre quattro miliardi di euro nella sede di Lipsia. La forza lavoro principale attualmente comprende circa 6.800 dipendenti. Uno degli stabilimenti automobilistici più sostenibili al mondo stabilisce nuovi standard nell'uso parsimonioso delle risorse .

Il principio della sostenibilità è al centro non solo del modo in cui funziona lo stabilimento BMW di Lipsia ma anche dell'intero BMW Group. Lo stabilimento di Lipsia rappresenta un punto di riferimento nella **gestione di acqua, energia e materie prime**. Il complesso da 1,55 miliardi di dollari di BMW è stato costruito nel 2005 per produrre la BMW Serie 3 (60 milioni di dollari sono stati spesi solo per l'edificio centrale).

Le principali caratteristiche dell'impianto si riassumono nelle seguenti soluzioni:

- L'energia verde per la produzione di auto elettriche è fornita da quattro **turbine eoliche** realizzate appositamente sul sito. L'elettricità generata dalle quattro turbine copre circa un quinto della domanda totale di elettricità.
- L'intero sito produttivo copre 491.000 m<sup>2</sup> di spazio, occupato da **verde ricco di biodiversità**. L'edificio centrale BMW è una struttura di 270.000 piedi quadrati (25.000 m<sup>2</sup>) che occupa solo 250.000 piedi quadrati (23.000 m<sup>2</sup>) del campus di 540 acri (2,2 km<sup>2</sup>).



- Tutte le pareti portanti, i pavimenti e i livelli degli uffici sono realizzati in calcestruzzo gettato in opera, mentre la struttura del tetto è composta da travi in acciaio strutturale e da una costruzione a traliccio spaziale. La facciata è rivestita con **materiali semplici** come metallo ondulato, vetro canalizzato e vetrate continue.
- La **struttura flessibile** dello stabilimento è importante per il suo sviluppo futuro. Espansioni dello stabilimento e adeguamenti strutturali possono essere effettuati in qualsiasi momento con uno sforzo ragionevole. Le strutture di produzione sostenibili e flessibili dello stabilimento BMW di Lipsia rappresentano un grande vantaggio poiché facilitano l'adattamento alle sfide future. La struttura di base dello stabilimento può essere facilmente modificata ed estesa. Gli edifici di produzione sono disposti in cerchio attorno all'edificio centrale. Le distanze sono brevi e ci sono molte opzioni per future espansioni o per l'integrazione di nuove tecnologie di produzione.

L'area dedicata all'assemblaggio, in particolare, è stata strutturata come un pettine o le dita di una mano. Estensioni progettate appositamente per gli edifici facilitano la consegna dei materiali con camion a tutte le aree di assemblaggio. L'integrazione di nuove aree di assemblaggio è possibile aggiungendo un nuovo "dito", rendendo l'assemblaggio pronto per l'espansione quando necessario. Il centro di approvvigionamento è situato proprio accanto all'assemblaggio. I fornitori e i partner si occupano del pre-assemblaggio dei componenti. Questi componenti vengono consegnati alle linee di assemblaggio in sequenza.

È possibile che un certo tipo di architettura possa influenzare positivamente il lavoro di squadra e la produttività all'interno dello stabilimento? Il **Central Building** dello stabilimento BMW di Lipsia, progettato dalla famosa architetta Zaha Hadid, è il centro di comunicazione e connette tre capannoni produttivi già esistenti. Qui si trovano l'amministrazione e il centro qualità e offre spazio sia per i collaboratori sia per i visitatori.

Sin dall'inizio il Central Building è stato concepito come un edificio speciale, non solo funzionale ma anche esteticamente convincente. Per questo motivo è stato indetto un concorso internazionale per selezionare il design dello stabilimento, inclusi i dintorni paesaggistici. Più di 200 studi di architettura da tutto il mondo hanno presentato la candidatura per partecipare al concorso nel settembre 2001. Ventiquattro architetti sono stati infine selezionati per partecipare e nove hanno avuto l'opportunità di accedere alla seconda fase del concorso. Il 22 marzo 2002 la giuria di valutatori professionisti ed esperti immobiliari ha votato all'unanimità per il progetto del team di Zaha Hadid e Patrik Schumacher (Londra) e Gross.Max (architetti paesaggisti, Edimburgo).

L'edificio è il centro dello stabilimento e di tutti i processi:

- L'obiettivo principale del concorso era (citando il bando) "*sviluppare un concetto di architettura del paesaggio, design e organizzazione straordinario e caratteristico che rappresenti al contempo la cultura e il carattere del marchio BMW. Soprattutto il carattere dell'edificio industriale deve essere tradotto in modo intelligente e appropriato in un design estetico che rispetti in egual misura i requisiti rappresentativi e funzionali.*"
- L'edificio accoglie gran parte delle funzioni amministrative e di qualità e connette anche le aree di produzione. Forma e funzione si combinano qui. Le carrozzerie sono visibili dalla hall d'ingresso mentre vengono trasportate da un'area produttiva all'altra. Le carrozzerie passano accanto alle scrivanie di manager, designer e specialisti, alte sopra le teste dei visitatori.
- Tutto è aperto e in costante movimento. L'area uffici è facilmente accessibile favorendo lo scambio di idee. Queste strutture trasparenti facilitano risposte rapide e un coordinamento efficiente - un vantaggio decisivo per la qualità BMW e i processi efficienti.

L'incarico specifico era da un lato creare una soluzione architettonica per il Central Building che stabilisse nuovi standard ma, dall'altro, combinare armoniosamente le tre aree produttive principali di carrozzeria, verniciatura e assemblaggio. Allo stesso tempo il design doveva **riflettere il principio di sostenibilità** in tutte le sue molteplici e variegata sfaccettature.

Il concetto e il design del Central Building hanno ricevuto molti riconoscimenti. L'edificio ha ottenuto numerosi premi di architettura, tra cui un RIBA European Award nel 2006 e il "Deutsche Architekturpreis 2005", ed è stato inserito nella shortlist per lo Stirling Prize.



Figura 6. Lo stabilimento del Gruppo BMW a Leipzig con le quattro pale eoliche.

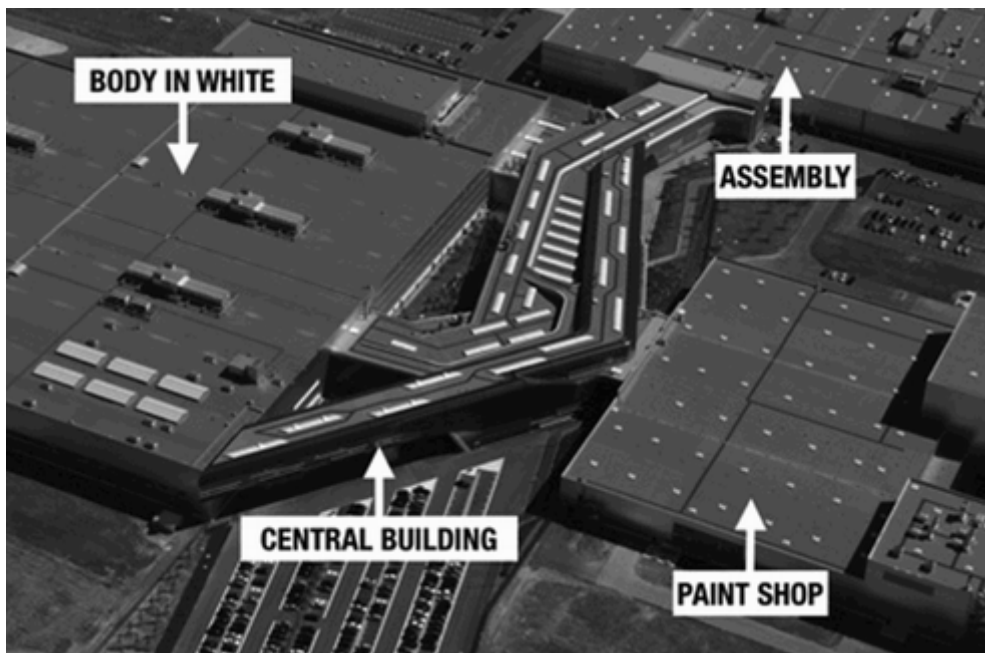


Figura 7. La collocazione del Central Building a cerniera tra gli edifici produttivi.

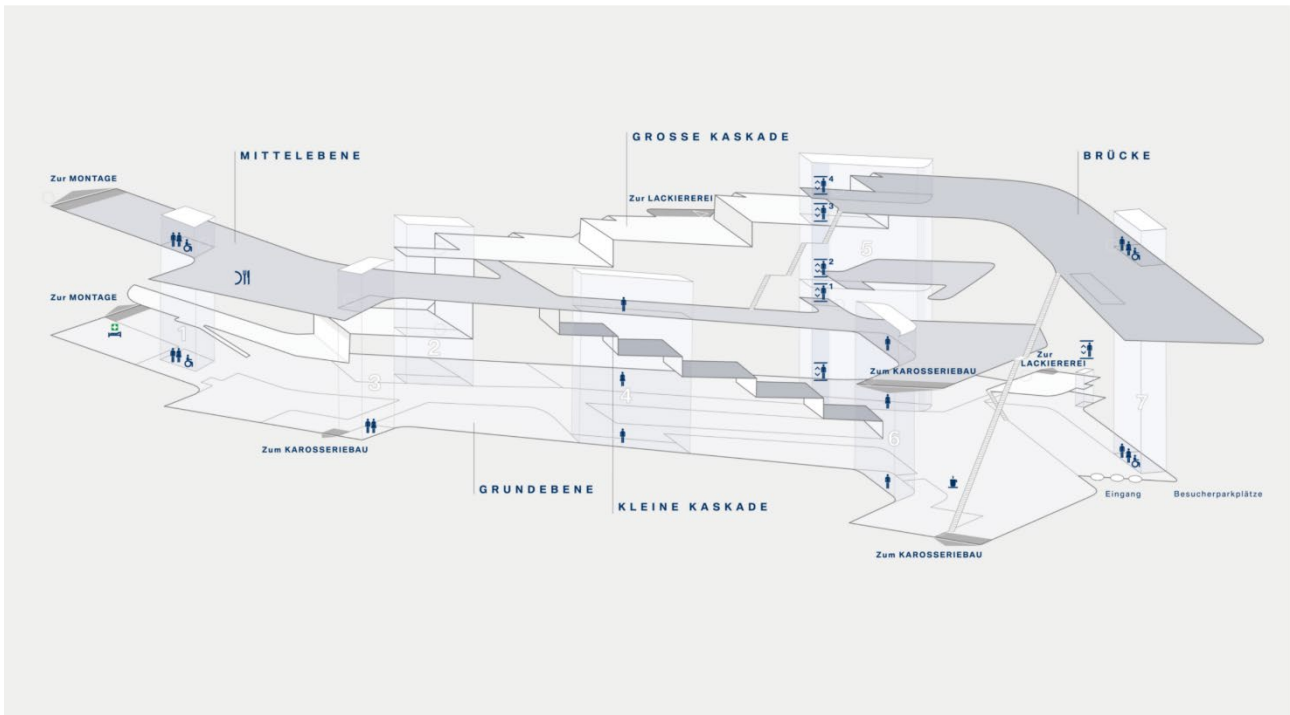


Figura 8. Schema funzionale del Central Building.

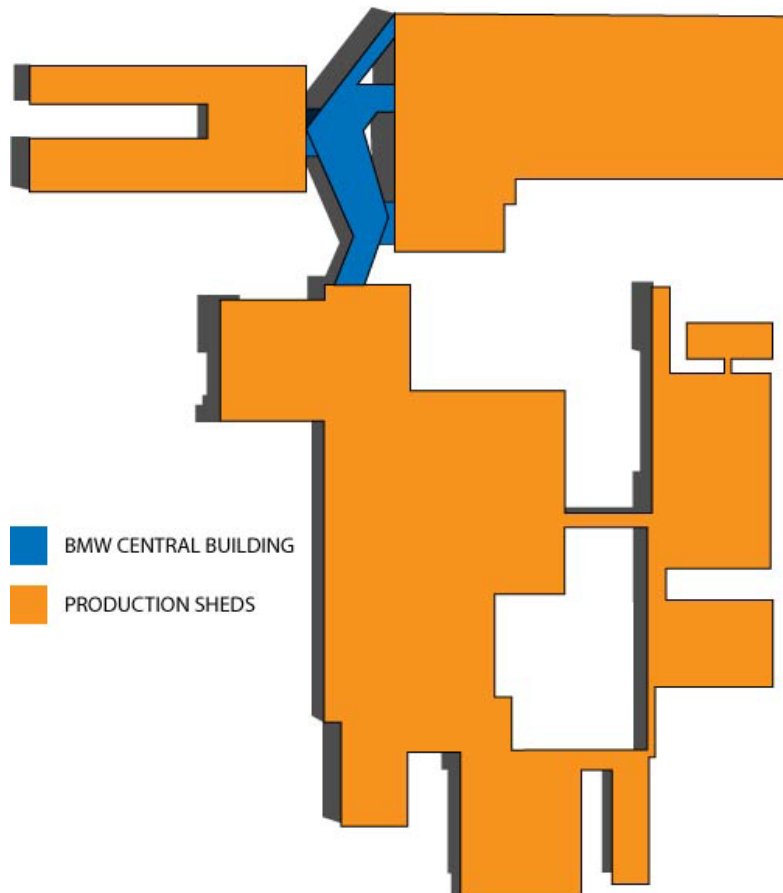


Figura 9. Schema funzionale dello stabilimento nel suo complesso.



*Figura 10. Facciata del Central Building.*



## Ferrari E-Building a Maranello

### Quick fact sheet

**Location:** Maranello (MO), Italy

**Client/Owner:** Ferrari S.p.A.

**Market:** Vehicle Manufacturing

**Architect:** Mario Cucinella Architects

**Total Area:** 130.000 m<sup>2</sup> | **Building Footprint:** 42.500 m<sup>2</sup>

**Building Types:** Spazio produttivo e direzionale

**Total Complex Cost:** € 200 Milion

**Employees in Factory:** 300

**Program:** Impianto produttivo; Uffici amministrativi

**Status:** Completed 2024

### Fonti:

- <https://www.mcarchitects.it/progetti/e-building-di-ferrari>
- <https://www.ilfattoquotidiano.it/2024/06/21/ferrari-mattarella-inaugura-le-building-di-maranello-la-fabbrica-delle-nuove-tecnologie/7596683/>
- <https://www.ferrari.com/it-IT/magazine/articles/e-building-inizia-il-futuro-maranello>

Il nuovo edificio di Ferrari a Maranello (MO) è interamente pensato e progettato attorno al focus della “**flessibilità**” e permetterà di raggiungere l’obiettivo per Ferrari di essere carbon neutral entro il 2030.

Questo edificio all'avanguardia è stato inaugurato il 21 giugno 2024, coprendo un'area di 42.500 metri quadrati distribuiti su quattro livelli (due piani principali e due ammezzati). L'area del campus si estende per una superficie complessiva di circa 100.000 metri quadrati per accogliere anche un **centro formativo e aree ricreative a uso dei dipendenti**. È interessante notare che **il 30% dello spazio resterà libero per sviluppi futuri**.

L'e-building non è solo una fabbrica ma un centro di innovazione industriale, che riflette l'approccio di Ferrari alla transizione energetica e alla digitalizzazione. Destinato alla produzione dell'intera gamma di Ferrari con ogni tipo di motorizzazione, rappresenta un passo significativo verso una produzione sostenibile e l'integrazione dei veicoli elettrici nella gamma. La struttura è dedicata, in particolare, allo sviluppo e alla produzione dei primi veicoli completamente elettrici di Ferrari, affiancati da modelli ibridi e a combustione interna.



Figura 11. La facciata continua e luminosa costituita da vetrate opaline.

L'e-building di Ferrari è un esempio di Industria 5.0, realizzato grazie a un investimento di 200 milioni di euro. Il personale specializzato ha seguito due anni di formazione per adattarsi ai nuovi ruoli altamente supportati dalle tecnologie digitali di ultimissima generazione e le linee di produzione includono robot collaborativi, aree di relax, spazi verdi e illuminazione naturale.

L'intero progetto si inserisce all'interno di una strategia di riposizionamento dell'azienda, che punta verso un approccio multi-energetico. Ferrari oggi si vede come un'azienda di identità ibrida, in parte casa automobilistica e in parte azienda tecnologica. L'e-building è visto quindi da Ferrari come l'occasione giusta per materializzare il connubio tra un elevato livello di artigianalità e un approccio pioneristico in campo tecnologico, che caratterizzano, nella loro integrazione, il processo produttivo della fabbrica.

Il nome stesso dell'e-building mira a rappresentare un'idea ben precisa:

- E come "Evoluzione", in riferimento all'obiettivo di completa elettrificazione delle autovetture;
- E come "Ecosostenibilità", in relazione alla missione di ridurre il più possibile l'impatto sull'ambiente del processo produttivo e dell'intero edificio;
- E come "Energia", intesa come risorsa non solo tecnica ma soprattutto umana.

Questo concept ha visto la luce già nel 2019 e la progettazione dell'edificio è stata affidata allo studio bolognese Mario Cucinella Architects, scelto per il suo impegno verso la sostenibilità.

L'e-building presta quindi grande attenzione all'efficienza energetica e sostenibilità ambientale ed è progettato per raggiungere prestazioni da edificio a energia quasi zero (NZEB). Nello specifico diverse scelte in tal senso hanno riguardato sia l'ambito urbano, sia l'involucro edilizio e il cantiere, sia gli spazi interni.



*Figura 12. L'effetto dei vetri trasparenti e opalini negli interni dell'edificio.*

Per quanto riguarda l'ambito urbano:



- L'azienda ha acquistato 39 edifici e ha recuperato terreni industriali non edificati per agevolare quest'ultima espansione in modo tale che l'e-building fosse realizzato grazie a un ampliamento della superficie precedentemente già edificata, **recuperando e riqualificando completamente** un'area di circa 50.000 metri quadrati.
- La rete stradale intorno al sito è stata migliorata, sono stati costruiti **1,5 chilometri di piste ciclabili** e saranno **creati circa 1.400 nuovi posti auto, con numerosi stalli dotati di colonnine per la ricarica elettrica**. In totale sono stati riqualificati oltre 110.000 metri quadrati dando nuova vita a un'area che in passato era rimasta trascurata.
- La progettazione della viabilità vede la **circoscrizione del traffico pesante** a un'area specifica del Plant riducendo così le interferenze con i percorsi pedonali.

Per quanto concerne l'edificio e il suo involucro:

- Le proprietà isolanti e termiche sono state studiate attentamente in modo da assorbire le radiazioni solari in estate e **consentire alla luce naturale di illuminare il più possibile l'edificio** attraverso pozzi di luce progettati ad hoc.
- Tutto l'edificio è progettato per raggiungere un **livello di prestazione NZEB di classe A2**, con materiali riciclabili e certificati dai principali enti in modo da assicurare la riduzione delle emissioni nell'ambiente.
- Nessuno dei sistemi di energia ricorre ai combustibili fossili, mentre l'impianto di condizionamento utilizza una **pompa di calore completamente elettrica alimentata da fonti rinnovabili**. Sul tetto sono stati installati **più di 3.000 pannelli fotovoltaici** con una potenza di picco pari a 1,3 MW.
- **L'acqua piovana viene immagazzinata in una vasca di accumulo e riutilizzata** per irrigare le numerose aree verdi dell'edificio.
- **La facciata esterna è ricoperta da pannelli vetrati** alternati opalini e trasparenti. Il vetro trasparente consente di percepire l'operatività interna, mentre il vetro opalino filtra i raggi solari in modo da ottenere **valori ottimali di luce naturale all'interno** distribuendola in maniera diffusa. Questi materiali di facciata creano poi l'accattivante effetto "lanterna" che ravviva la struttura di notte.
- Le componenti di facciata sono state progettate e prodotte **secondo le logiche di Design for Manufacturing and Assembly (DfMA)** in modo da facilitarne l'assemblaggio in sito. Ciò ha permesso di ridurre gli impatti ambientali legati ai materiali utilizzati e ai processi, favorendo anche l'efficientamento nelle fasi successive alla costruzione e/o assemblaggio.
- Lo spazio esterno all'edificio prevede la **piantumazione di circa 200 nuove alberature** atte a mitigare l'isola di calore estiva.

Più simile a un ecosistema che a un tipico impianto produttivo, l'e-building è dotato di un'estetica e di caratteristiche di flessibilità all'avanguardia anche per quanto riguarda gli spazi interni di lavoro:

- Alcuni **robot antropomorfi** sono in grado di attraversare gli spazi muovendosi con agilità. Robot di questo tipo saranno presto utilizzati per superare i limiti di produzione e per consentire una rapida riattrezzatura ove necessario.
- Le **postazioni di lavoro sono riconfigurabili, altamente ergonomiche** e utilizzano ganci sollevatori con diverse possibilità di regolazione.
- La configurazione interna prevede la disposizione delle **linee di produzione su due livelli per ottimizzare ulteriormente il consumo di suolo**.
- La presenza di **numerose aree relax** concepite attraverso l'utilizzo di materiali e cromie pensati per favorire il benessere visivo.
- L'integrazione di varie **aree verdi, sia interne sia esterne all'edificio**, come l'ampio giardino pensile sul quale si affacciano le attività produttive.
- Il nuovo edificio è dotato di **tecnologia a banda ultra larga (UWB)**, che sarà integrata nell'intera infrastruttura, partendo dalla rete e dal cablaggio anche per supportare le future implementazioni dell'intelligenza artificiale in diversi ambiti.

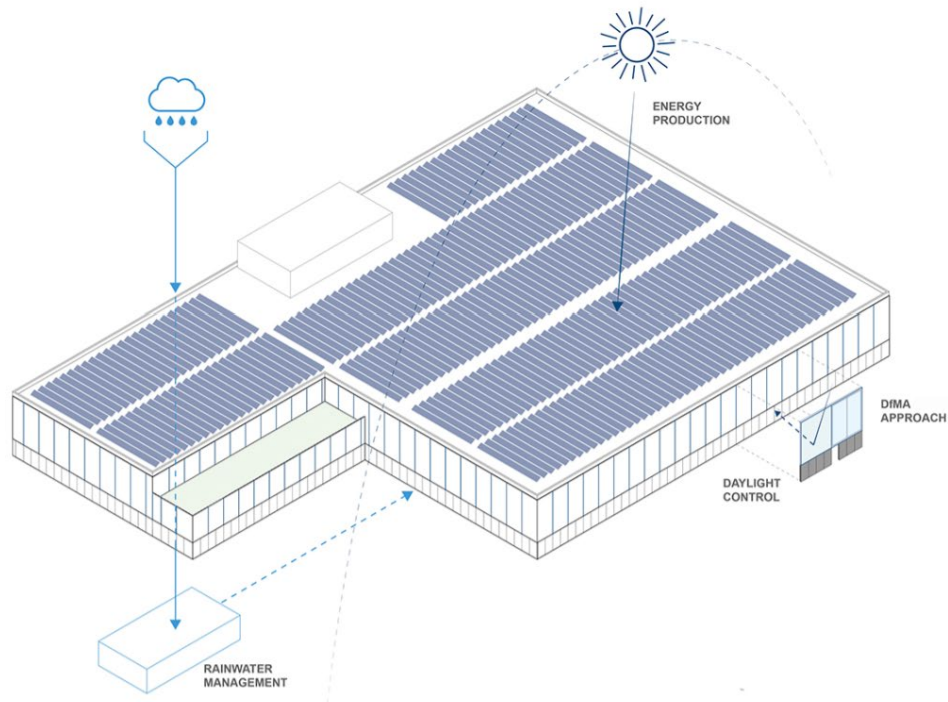


Figura 13. Schema dell'approccio sostenibile che caratterizza l'involucro edilizio.

## Schneider Electric a Stezzano. Un caso di riqualificazione energetica e digitale

### Quick fact sheet

**Location:** Stezzano (BG), Italia

**Client/Owner:** Schneider Electric

**Market:** Energia e automazione

**Architect:** Pietro Vallicenti con il team di Schneider Electric Real Estate Italia

**Total Area:** 80.000 m<sup>2</sup> | **Building Footprint:** 800 m<sup>2</sup>

**Building Types:** Uffici; Servizi

**Employees in Factory:** 540

**Program:** 4 palazzine per uffici amministrativi e marketing, 3 capannoni produttivi, Innovation Hub, 1 mensa, 1 edificio adibito ad asilo e guardiana e 3 parcheggi esterni di cui uno pubblico

**Status:** Completed 2025

### Timeline:

- Anni '90: Ampliamento del sito di Stezzano con nuovi capannoni e strutture per uffici
- Aprile 2025: Conclusione dei lavori di riqualificazione energetica e digitalizzazione

### Fonti:

- <https://www.se.com/it/it/about-us/newsroom/news/press-releases/schneider-electric-riqualificazione-energetica-e-digitale-per-la-sede-principale-di-stezzano-685a6f87612bcbf28002724b>
- <https://settimanadellasostenibilita.it/wp-content/uploads/2024/04/Schneider.pdf#page=34.00>
- <https://www.rinnovabili.it/mercato/esg/performance-di-sostenibilita-schneider-electric-migliore-al-mondo-2024/>
- <https://www.pianuranetwork.com/schneider-electric-edifici-green-con-la-gestione-digitalizzata-dellenergia/>

Schneider Electric è un'azienda da sempre fortemente impegnata in tema di sostenibilità. Già nel 2005 è stata una delle prime a monitorare il proprio impatto sul pianeta attraverso un barometro di sostenibilità

all'avanguardia nel settore. Nei successivi 15 anni l'azienda ha aiutato i propri clienti a risparmiare 120 milioni di tonnellate di emissioni di CO<sub>2</sub> e ha fornito accesso all'energia a circa 30 milioni di persone. Schneider ha grande interesse a riflettere il proprio orientamento verso la sostenibilità ambientale anche attraverso le proprie strategie immobiliari.

Le origini di Schneider Electric risalgono al 1836, quando i fratelli Adolphe e Joseph-Eugène Schneider acquisirono una fonderia a Le Creusot in Francia. Inizialmente l'azienda operava nel settore siderurgico e dell'industria pesante, per poi specializzarsi nei settori ferroviario e delle costruzioni. Nel corso del XX secolo Schneider Electric ha ampliato le proprie competenze, diventando un **leader globale nella gestione dell'energia e dell'automazione**. Oggi l'azienda offre **soluzioni digitali integrate per migliorare l'efficienza e la sostenibilità** in diversi settori, tra cui edilizia, data center, infrastrutture e industriale.

Schneider Electric si mantiene da anni nelle prime posizioni nella classifica di Guidehouse Insights<sup>1</sup> dedicata alle Energy Service Company (ESCO), a conferma del suo impegno di **leadership nell'innovazione e nella soddisfazione del cliente** nell'ambito della quale si sviluppano anche le strategie aziendali a livello immobiliare.

Per accelerare ulteriormente gli sforzi in materia di sostenibilità Schneider ha lanciato un nuovo programma: **Schneider Sustainability Impact (SSI) 2021-2025**. Dedicato alla creazione di un futuro migliore per tutti, il programma SSI contribuisce a ciascuno degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite. In questo contesto il programma ha definito diversi obiettivi da raggiungere entro la fine del 2025 tra cui (Schneider, 2021):

- Portare i ricavi "green" dell'azienda all'80%;
- Consentire ai clienti di risparmiare ed evitare l'emissione di 800 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub>;
- Ridurre del 50% le emissioni di CO<sub>2</sub> derivanti dalle attività dei 1.000 principali fornitori;
- Aumentare al 50% il contenuto di materiali sostenibili nei prodotti;
- Garantire che il 100% degli imballaggi primari e secondari sia privo di plastica monouso e realizzato con cartone riciclato.

A tre anni dall'avvio del programma **Schneider Sustainability Impact (SSI)**, le soluzioni di Schneider Electric per l'elettrificazione, la digitalizzazione e l'automazione continuano a ridurre le emissioni di carbonio dei clienti con **112 milioni di tonnellate risparmiate o evitate nel solo 2023**. Sono stati compiuti anche importanti progressi nella trasformazione della catena di fornitura dell'azienda: le emissioni di carbonio dei **1.000 principali fornitori** di Schneider Electric sono diminuite del **27%**, un miglioramento significativo rispetto alla riduzione del 10% registrata nel 2022. L'obiettivo per il 2025 è che i loro primi 1.000 fornitori dovranno seguire normative e modalità per dimostrare che stanno risparmiando almeno il 50% di CO<sub>2</sub>. Inoltre il **21% dei partner strategici della supply chain** ha soddisfatto gli standard dell'azienda in materia di lavoro dignitoso. Gli sforzi compiuti a livello aziendale per un uso responsabile delle risorse hanno portato al risultato che il **63% degli imballaggi dei prodotti Schneider Electric è ora privo di plastica monouso e realizzato con cartone riciclato**.

Schneider Electric si è posta l'obiettivo di raggiungere la **neutralità climatica (Net-Zero) lungo tutta la sua catena del valore entro il 2050**. A partire dal 2025 l'azienda inizierà a investire nella rimozione del carbonio dalla geosfera per compensare le emissioni residue entro il 2030. Il piano prevede l'uso di **soluzioni naturali e ingegnerizzate**, con una crescente enfasi su queste ultime man mano che il mercato si sviluppa. Entro il 2030 Schneider punta a essere **Net-Zero Ready** per le proprie operazioni, bilanciando le emissioni residue con rimozioni equivalenti. I crediti legati alla riduzione o rimozione delle emissioni al di fuori della propria catena di valore saranno considerati come **contributi aggiuntivi**. All'interno di questa strategia rientrano anche gli investimenti sul patrimonio immobiliare per i quali l'azienda sta ricevendo numerosi riconoscimenti. Tra questi, ad esempio, lo stabilimento produttivo Schneider di Wuxi in Cina è diventato il

---

<sup>1</sup> Guidehouse Insights è una società globale di analisi di mercato che utilizza una metodologia proprietaria per fornire una valutazione oggettiva del mercato ESCO.

quarto stabilimento “[Sustainability Lighthouse](#)” del World Economic Forum grazie alla significativa riduzione delle emissioni raggiunta promuovendo, allo stesso tempo, l’economia circolare.

Nel 2022 Schneider Electric ha annunciato l’avvio della produzione presso lo stabilimento di **Stezzano** per l’Italia e per i principali Paesi dell’Europa meridionale, come Spagna e Portogallo, della **SM AirSeT**, un quadro elettrico di media tensione unico nel settore. Questa soluzione sostituisce l’uso del gas **SF6** - uno dei gas serra più potenti esistenti - con **aria** come mezzo isolante. SM AirSeT rappresenta un esempio concreto della visione di Schneider Electric per un futuro più sostenibile, in linea con l’obiettivo delle **emissioni nette zero**, grazie a tecnologie sostenibili già disponibili. L’efficacia di questa soluzione è ulteriormente potenziata dagli strumenti digitali che consentono una gestione sempre più efficiente dell’energia elettrica. Lo stabilimento di Stezzano si configura così come **punto di riferimento strategico** per Schneider Electric nel percorso verso un’industria sempre più **sostenibile e digitalizzata**.



Figure 1. 2023 Schneider sustainability impact.

L’**Innovation Hub di Schneider Electric a Stezzano** era stato inaugurato già nell’**ottobre 2018** e si è ben prestato ad accogliere l’avvio della nuova produzione SM AirSeT. Si tratta di uno spazio di **200 metri quadrati**, ospitato all’interno dello stabilimento produttivo di Stezzano (BG), che nel suo complesso copre un’area di 80.000 m<sup>2</sup> e ospita **uffici amministrativi, uffici marketing, e due impianti produttivi, oltre all’Innovation Hub**, luogo in cui l’azienda presenta ai clienti le proprie soluzioni digitali. Al suo interno i clienti hanno l’opportunità di sperimentare in prima persona come **diversi sistemi e ambiti** possano essere gestiti attraverso un’unica piattaforma abilitata all’**IoT, EcoStruxure**.

Nel 2025, dopo un anno e mezzo di lavori, si è concluso il progetto di **profonda riqualificazione** che ha interessato la sede principale di Schneider Electric a Stezzano (BG), che ha rispettato i seguenti driver:

- Un progetto basato sugli **SDG 7 “Energia pulita e accessibile”, 9 “Industria, innovazione e infrastrutture” e 11 “Città e comunità sostenibili”**;
- Interessate le due palazzine per uffici e servizi (compresa mensa), utilizzate quotidianamente da circa 540 persone;
- Si prevede un risparmio di consumi elettrici del 6% all’anno e una riduzione delle emissioni del 16%, pari a 53 tonnellate di CO<sub>2</sub> annue;



- Interventi sull'involucro esterno e digitalizzazione della gestione dell'edificio per ottenere il massimo risultato e creare un ambiente di lavoro più sostenibile ed attrattivo.



Figure 2: Vista esterna dell'edificio di Stezzano (BG).

La riqualificazione di Stezzano si inserisce in un più ampio **programma di efficientamento e decarbonizzazione delle sedi commerciali e industriali** di Schneider Electric nel nostro Paese e contribuisce al raggiungimento degli ambiziosi obiettivi globali dell'azienda, che si è impegnata a eliminare le emissioni di CO<sub>2</sub> scope 1 e 2 (ovvero le emissioni legate direttamente alla sua attività operativa e all'energia impiegata per alimentarla) entro il 2030.

Innanzitutto il programma ha seguito una roadmap ben definita:

- Dapprima è stato creato un **team di giovani ingegneri neoassunti in grado di guidare percorsi di decarbonizzazione** entrando all'interno dell'azienda e verificando tutte le attività, i vettori energetici e l'approvvigionamento di energia per fornire una fotografia quanto più dettagliata dell'impronta di carbonio del sito stesso;
- Sulla base delle evidenze e dei dati raccolti sono stati definiti i successivi passi andando a definire la **tipologia di intervento più appropriata**;
- Sono stati valutati i **costi**;
- È stato previsto come analizzare il **ritorno sull'investimento**;
- Si è impostato un target e un metodo di calcolo del risparmio in termini di tonnellate di CO<sub>2</sub> (questo soprattutto in vista dal fatto che si prevede che **entro il 2025 circa 5.000 aziende italiane avranno l'obbligo di fare il bilancio di sostenibilità**, all'interno del quale è prevista la disclosure sulle attività programmate per la decarbonizzazione).

Le 3 fasi del progetto si strutturano come segue:

1. Efficientamento energetico degli edifici (in linea con le necessità di comfort);
2. Eliminazione delle energie da fonti fossili e riconversione dell'alimentazione energetica da fonti rinnovabili;
3. Autoproduzione di energia.



Figura 14. La vecchia e la nuova facciata del sito di Schneider Electric a Stezzano.

Il sito di Stezzano era stato ampliato alla fine degli anni '90 con nuovi capannoni produttivi e strutture per uffici, realizzate con un'estetica di tipo industriale. Da allora ad oggi il *core business* dell'azienda si è trasformato perseguendo, in particolare, **obiettivi di sostenibilità e di innovazione tecnologica**. Oggi Schneider è una **Impact Company**, cioè vuole avere un impatto positivo sul pianeta e sulla società con le proprie scelte, e supporta i clienti nel loro percorso di transizione digitale e sostenibile.

Nelle parole dell'Amministratore Delegato di Schneider Electric Italia, Davide Zardo: *“Gli edifici, in particolare, sono un elemento chiave nel percorso della decarbonizzazione: secondo l'IEA sono responsabili del 26% delle emissioni globali legate all'energia. [...] La riqualificazione della nostra sede di Stezzano si inserisce nel progetto generale, intrapreso da diversi anni, per l'efficientamento energetico e la riduzione delle emissioni delle nostre sedi commerciali ed industriali. Corona un percorso che è una scelta di valore per l'ambiente ma anche per le persone: la sostenibilità di un edificio è anche legata alla sua **vivibilità**, alla possibilità di creare le migliori condizioni di **comfort e benessere** e di lavorare in ambienti che favoriscono la **produttività**. Anche questo fa parte della nostra **visione di sostenibilità che è globale: economica, sociale ed ambientale**”.*



Il progetto della riqualificazione di Stezzano, disegnato dall'architetto Pietro Vallicenti e realizzato con il team Schneider Electric Real Estate Italia, rispecchia questa trasformazione e rende la sede aziendale un luogo non solo **più efficiente** ma anche **più attrattivo** per i lavoratori e i nuovi talenti.

I rinnovati spazi dimostrano nella pratica come sia possibile riqualificare in modo profondo edifici di vecchia data, evidenzia le possibilità della digitalizzazione, dell'efficienza e della sostenibilità e come Schneider Electric possa supportare i clienti che vogliono affrontare lo stesso percorso. Le strutture interessate sono due palazzine utilizzate quotidianamente da circa 540 persone.

Il tutto è stato realizzato con un grande lavoro di squadra con gli esperti della divisione Digital Energy di Schneider Electric, dedicata al mondo del building, e alcuni partner locali. Nel dettaglio per quanto riguarda la massimizzazione dell'efficienza energetica sono state implementate le seguenti soluzioni:

- L'**isolamento dell'involucro esterno** è stato studiato in collaborazione con Saint-Gobain Italia che ha fornito le soluzioni per sostituire gli infissi con grandi finestre orizzontali continue, – dotate sulla facciata principale di strutture ombreggianti e realizzate con il "**solar control glass**", un sistema di ultima generazione con un contenuto di carbonio incorporato molto basso pensato per minimizzare l'impatto ambientale e limitare le emissioni di gas serra in tutto il ciclo di vita;
- Un sistema di **ultra-isolamento termico** è stato installato per proteggere efficacemente l'edificio dagli agenti atmosferici isolando anche il tetto;
- L'installazione di un **sistema di monitoraggio delle utilities energetiche** che riguarda sia la fabbrica (reparti produttivi e logistica), sia gli edifici per uffici, mensa, centro informatico e l'illuminazione esterna.

Oltre all'efficientamento della struttura esterna si è portata avanti la **digitalizzazione dei singoli piani uffici** che prevede:

- Il controllo in **automazione delle luci e dell'impianto di climatizzazione** estivo e invernale;
- Gestione del ricircolo aria, misurazione della **qualità dell'aria** interna agli uffici con soluzioni realizzate interamente con le piattaforme e tecnologie dell'offerta Schneider Electric EcoStruxure per la Building Automation;
- Per la **sicurezza** sono stati rinnovati i sistemi di illuminazione di emergenza e di rilevamento dei fumi;
- L'ambiente di lavoro è stato riprogettato per **favorire la collaborazione, in ambienti immersivi** più piacevoli e sostenibili, seguendo le linee guida che Schneider adotta in tutto il mondo.

A seguito di questi interventi Schneider Electric stima di poter **ottenere importanti risparmi energetici** con la riduzione del consumo di energia ed anche una **riduzione delle emissioni**. La previsione è di risparmiare **310.000 Kwh all'anno (-6%** rispetto ai consumi precedenti alla riqualificazione), di ridurre le emissioni del **16%**, pari a **53 tonnellate di CO<sub>2</sub>** annue.

Nello specifico, il progetto di eliminazione delle emissioni di **CO<sub>2</sub>** prevede:

- L'installazione di diffusori con pompe di calore per la fabbrica (vedi 1-2 nella figura sotto);
- Sistemi di riscaldamento autonomi per le palazzine uffici con autoproduzione e autoconsumo (vedi 3-4-5 nella figura sotto);
- Lo studio di sistemi alternativi di autoproduzione con l'installazione di un impianto fotovoltaico nell'area parcheggio attraverso il quale si stima di produrre circa 435 MWh all'anno (corrispondenti a un autoconsumo al 99,2%), valutano in seconda battuta di estendere l'autoproduzione anche ai tetti delle palazzine uffici e l'adesione a comunità energetiche.

Questo ambizioso progetto si completa con iniziative a impatto sociale. Infatti ad approfondire il rapporto con le comunità locali ha contribuito un nuovo progetto lanciato nel 2024 con la **Fondazione CNOS – FAP**, che raggruppa i centri di formazione dei Salesiani Don Bosco in Italia. L'obiettivo è quello di raggiungere **5.000**

**studenti e giovani NEET (che non studiano e non lavorano) e a rischio dispersione scolastica nell'arco di 5 anni. Con attività di formazione professionalizzante e supporto all'orientamento scolastico.**



Figura 15. I misuratori e la ripartizione dei consumi per il controllo energetico del sito di Stezzano.

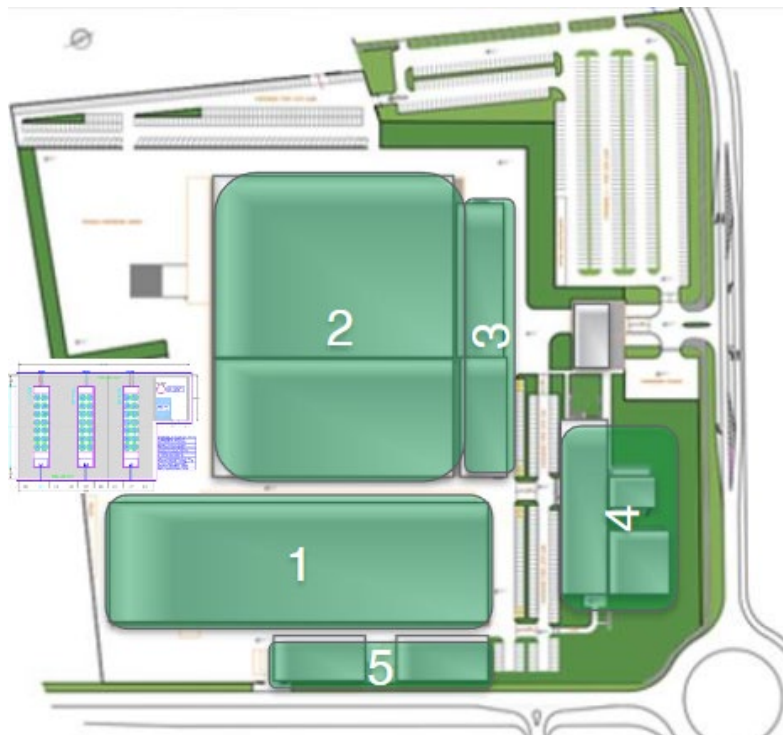


Figura 16. Il progetto di eliminazione delle emissioni di CO2 per il sito di Stezzano.

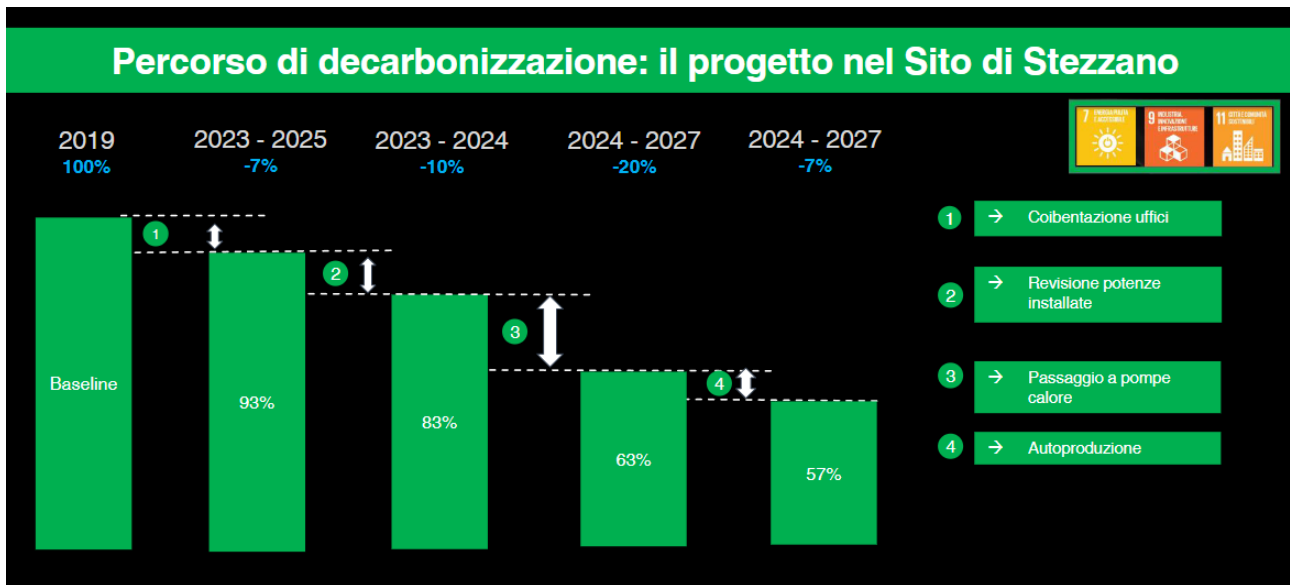


Figura 17. Le previsioni di ottimizzazione delle emissioni di CO2 sulla base delle diverse fasi di progetto.

“L’obiettivo è avvicinarli alle professioni tecniche, in particolare le ragazze. Oggi sono ancora poco presenti nel settore tecnico,” spiega la delegata di Fondazione Schneider Electric, il soggetto promotore dell’iniziativa. “Al momento stiamo formando i docenti, che si occuperanno della formazione degli studenti dal prossimo anno scolastico”. Verranno configurate delle “valigette didattiche”, ossia dei kit di sperimentazione che racchiudono le tecnologie più avanzate per la gestione dell’energia e l’automazione industriale. Strumenti progettati per essere utilizzati in modo modulare, adattandosi a studenti di ogni età e livello di preparazione per permettere loro di esplorare il mondo delle tecnologie sostenibili in modo coinvolgente e interattivo. Contestualmente per circa 1.500 studenti delle scuole medie sono stati creati plastici 3D che offrono un primo approccio alle tecnologie innovative per la domotica e l’automazione di edifici e industrie. Questi modelli, che riproducono ambienti come sale di automazione industriale o edifici domotizzati, possono essere esplorati attraverso un’esperienza digitale coinvolgente che utilizza la realtà aumentata.

Schneider Electric, in qualità di azienda globale con sedi e società in tutto il mondo, di recente ha annunciato con Boston University i risultati di uno studio, in cui si afferma che l’adozione di tecnologie alimentate con energia pulita negli edifici di nuova costruzione e nella riqualificazione di quelli esistenti può creare oltre 2 milioni di posti di lavoro tra Usa ed Europa di cui ben 252.000, sostanzialmente un decimo, in Italia. I dati vengono dalla ricerca condotta in **collaborazione tra Boston University Institute for Global Sustainability (Igs) e Schneider Electric Sustainability Research Institute (Sri)**. Con un approccio su micro-scala lo studio analizza modelli (archetipi) di edifici di vario genere - strutture residenziali, ospedali, hotel, uffici, spazi commerciali, edifici che ospitano attività educative - in varie aree del Nord America, dell’Europa e dell’Asia; è il primo studio in assoluto a stimare a un livello così dettagliato il potenziale di creazione di nuovi posti di lavoro che viene dall’evoluzione verso edifici a basse emissioni. I dati riguardano in specifico il potenziale di impiego legato **all’adozione di impianti fotovoltaici sui tetti, all’installazione di pompe di calore e di batterie per l’accumulo energetico** pensate per conservare l’energia rinnovabile auto prodotta che può essere rivenduta sul mercato in ottica «prosumer».

Queste tecnologie a basse emissioni - tutte già pronte e disponibili oggi - supportano l’elettrificazione e la digitalizzazione del settore edilizio (che è critica) per arrivare a ridurre le emissioni di gas serra su scala globale. I nuovi posti di lavoro che lo studio prevede si concretizzeranno appieno in un arco temporale in linea con gli obiettivi mondiali net-zero del 2050: un lasso di tempo che risulta essere ragionevole anche per arrivare alla riqualificazione in tal senso del 100% degli edifici che ne abbiano bisogno.



## Z-Life di Zambon a Bresso

### Quick fact sheet

**Location:** Bresso, Italia

**Client/Owner:** Zambon (+34 imprese ospitate)

**Market:** Farmaceutico, biotecnologie e scienze della vita

**Architect:** AMDL Circle - Michele De Lucchi architetti (architettoneo); CRA - Carlo Ratti Associati (interni)

**Total Area:** 37.000 m<sup>2</sup> | **Building Footprint:** Uffici 16.500 m<sup>2</sup> (di cui 3.700 per l'HQ di Zambon); Laboratori 10.500 (di cui 1.600 *Good Manufacturing Practices*)

**Building Types:** Uffici; Laboratori; Spazi eventi

**Total Complex Cost:** € 69 million

**Employees in Factory:** 1.100

**Program:** Uffici amministrativi, Meeting room, Laboratori scientifici, Auditorium, Ristorante aziendale, Palestra, Museo aziendale; Spazi didattici per l'*edutainment*

**Status:** Completato nel 2019

**Timeline:**

- Novembre 2019: Apertura del campus
- 2022: Completamento del piano di espansione

**Fonti:**

- <https://www.openzone.it/>
- <https://www.arcadis.com/en/projects/europe/italy/openzone#the-impact>
- <https://amdlcircle.com/projects/torri-di-openzone/>
- <https://www.elledecor.com/it/architettura/a32726879/michele-de-lucchi-nuova-zambon-bresso/>
- <https://www.theplan.it/award-2021-Office-Business/z-life-zambon-headquarters-develops-and-promotes-new-ways-of-living-the-office-amdl-circle>

OpenZone è concepito come un **campus scientifico** dedicato alla condivisione delle idee e allo scambio dei saperi. L'obiettivo è quello di diventare l'espressione concreta di un luogo di **scambio di conoscenze su ricerca e imprenditorialità**. Un campus a capitale interamente privato dedicato alla salute fondato su un approccio orientato all'innovazione aperta basato sulla **condivisione senza barriere**.

Oggi conta 34 aziende al suo interno tra le quali imprese biotech, farmaceutiche e di terapie geniche avanzate riconosciute a livello internazionale. Zcube trova spazio all'interno di OpenZone come research venture del Gruppo Zambon, che ha dato vita a Open Accelerator, percorso di accelerazione dedicato alle Life Science per giovani imprenditori che approfondiscono le conoscenze di tecnologie e di business necessarie per la nascita e lo sviluppo di start-up innovative di successo. Zambon ha insediato il suo nuovo headquarter Z-Life proprio all'interno del campus.

Il campus, inaugurato alla fine del 2019 a Bresso alle porte di Milano, si compone di due torri di nuova costruzione che ospitano i laboratori scientifici e altri corpi di fabbrica più bassi alcuni dei quali, come l'headquarter di Zambon, recuperati dalle ex funzioni industriali che precedentemente occupavano l'area.

Le nuove architetture sono edificate a partire da una piattaforma comune di 4 piani interrati che contiene parcheggi, magazzini e locali per gli impianti. A quota 5 metri la base diventa una piastra su cui poggiano il foyer di accesso alle due torri e a un padiglione circolare. Sette piani per un'altezza di 45m la prima, cinque piani per 33m la seconda: le torri ospitano laboratori di ricerca tecnologicamente avanzati e spazi dedicati a iniziative imprenditoriali per le startup e soluzioni innovative nel campo della salute. Il progetto nel suo complesso ambisce a **target tecnologici e di sostenibilità elevati e persegue obiettivi di efficienza energetica**.

Se il campus ricopre oggi una superficie di 37.000 metri quadrati, la realizzazione dell'headquarter Z-Life di Zambon costituisce un'importante tappa del piano di sviluppo del campus scientifico con tre obiettivi:

- Creare spazi per **far star bene le persone** in modo che possano esprimere il meglio di sé;
- Sviluppare una **relazione positiva con l'ambiente e la natura** rispettandone l'equilibrio;



- Valorizzare un modo di lavorare **all'insegna dell'innovazione aperta e della condivisione** senza barriere.

In nome di questi principi il nome stesso di Z-Life è stato scelto direttamente dai collaboratori Zambon, coinvolti in un **percorso di co-design** degli interni denominato "spazio al futuro". L'HQ è stato realizzato in collaborazione dai progettisti Michele De Lucchi e Carlo Ratti, che si sono occupati rispettivamente della progettazione architettonica e della realizzazione degli interni. Z-Life si basa sulla **filosofia di "Earth Stations"**, su cui si concentra la ricerca di Michele De Lucchi, con l'intenzione di *"identificare tutti quei luoghi dove si va indipendentemente dalla funzione per la quale sono stati costruiti."* In sintesi il progetto ha voluto valorizzare gli edifici come strumenti che impiegano il potenziale umanistico e tecnologico per realizzare condizioni ambientali ottimali e favorire le relazioni umane.

Z-Life è stato ricavato all'interno dell'edificio in calcestruzzo armato che precedentemente ospitava una fabbrica di profilati in ferro con una serie di caratteristiche che rispettano questa filosofia:

- Il nuovo oggetto architettonico si armonizza alla struttura industriale, salvaguardando la **memoria del contesto industriale** che risulta valorizzato dall'intervento. Il vetro esalta le parti in cemento rivelatrici della storia dell'edificio e il contrasto materico rende la struttura unica e ben **riconoscibile** all'interno del Campus OpenZone;
- All'interno non ci sono pareti e tutti gli spazi sono connessi. L'ambiente aperto permette una **continua adattabilità** alle mutevoli esigenze di un ufficio contemporaneo.
- Le pareti a perimetro in vetro lasciano entrare la **luce naturale** esaltando lo spazio e favorendo una relazione positiva con l'esterno;
- Il volume originario è stato in parte demolito per ospitare una **corte interna** su cui si affacciano gli uffici;
- La copertura, visibile dagli edifici adiacenti, è pensata come la "quinta facciata" dell'edificio e ospita un **giardino pensile** con essenze mutevoli al cambiare delle stagioni;
- Gli **impianti sono stati frazionati** in otto piccoli vani interni;
- Gli impianti vengono gestiti con soluzioni tecnologicamente avanzate grazie al **BMS (Building Management System)**, un sistema che permette di monitorare e gestire tramite sensori la climatizzazione, le luci e la sicurezza dello spazio;
- Partendo dal **recupero del precedente edificio industriale** Z-Life ha richiesto, secondo quanto riportato dai vertici aziendali, *"426 giorni di lavoro, 3.000 metri quadrati di vetro, 250 mila chili di acciaio, 70 km di cavi elettrici"*.

Il principio della **biofilia** ha guidato lo studio degli interni con l'implementazione di:

- Postazioni di lavoro su tavoli spaziosi sempre in contatto visivo con l'esterno;
- Coltivazioni idroponiche all'interno tra le scrivanie;
- Un sistema di illuminazione LED Sun-Like che permette di riprodurre fedelmente lo spettro della luce naturale.

Per quanto riguarda le due torri per i laboratori a livello architettonico si tratta di volumi semplici e lineari, rivestiti da un involucro di scandole in vetro opacizzato che impreziosisce i profili. Questa doppia pelle ha valenza tecnica di ombreggiamento e conferisce carattere al corpo di fabbrica.

Arcadis ha collaborato nella fase realizzativa ingegneristica del Campus contribuendo all'utilizzo della **tecnologia BIM**, creando quindi un database di informazioni digitali che ha supportato la fase di studio di fattibilità iniziale, la progettazione, la demolizione dell'esistente, la costruzione e che oggi consente la gestione della struttura nella sua fase d'uso e facilita tutte le attività di facility management.

I **valori di sostenibilità ambientale** del progetto sono supportati da una strategia complessiva che include sia determinate scelte nell'organizzazione funzionale degli spazi, sia sistemi passivi e tecnologie attive che garantiscono le massime prestazioni in termini di criteri stabiliti nel sistema di **rating LEED** (es. *Sustainable sites, Water Efficiency, Material and Resources, Indoor Environmental Quality*). L'efficienza energetica è garantita dal **sistema di sensori DALI** che permette di diminuire il fabbisogno energetico e assicurare una



minor usura degli apparati. Il campus ospita anche una nuova centrale tecnologica, un investimento “green” da 8 milioni di euro per regolare i fabbisogni energetici di OpenZone. Nel 2022 sono stati attivati un sistema di mobilità sostenibile e nuove soluzioni a kilometro zero per il food & beverage.

Il campus OpenZone nel suo complesso dispone di 16.500 mq. dedicati ad uffici oltre a 10.500 mq di laboratori (di cui 1.600 *Good Manufacturing Practices*) e può ospitare fino a 1.200 persone. Nell’ecosistema l’HQ Zambon occupa 3.700 mq. Gli spazi che costituiscono il campus OpenZone sono concepiti per creare ponti tra competenze, linguaggi e mondi diversi e con la missione di creare valore nelle scienze della vita **puntando sull’open innovation** e favorendo l’accesso a competenze e capitale.

Tra i servizi aggiuntivi che contribuiscono a favorire un adeguato scambio di conoscenze tra i dipendenti e i visitatori, nonché a garantire un bilancio positivo tra vita privata e lavoro, citiamo:

- **Open Circle:** è l’auditorium dove prende spazio il dialogo aperto. Situato all’interno di un’architettura industriale conservata nel tempo, ospita eventi sia interni che esterni fino a 250 posti a sedere. La sala è dotata di cabina di regia, impianto di amplificazione e 5 schermi per la video proiezione.
- **Polo della Salute:** è una struttura costituita da 12 sale riunioni di diverse dimensioni in grado di contenere dalle 4 alle 20 persone, fino a un massimo di 99 nella “Sala Ascolto” chiamata anche “Open Lamp”. Tutte le sale sono dotate delle tecnologie più moderne come videoproiettori, lavagne a fili mobili, flipchart digitali e call conference.
- **KoÀ Kitchen Open Air:** l’integrazione con il parco in cui è situato, la leggerezza, la trasparenza, la luminosità e la convivialità hanno guidato il progetto per la realizzazione del ristorante aziendale KoÀ che si sviluppa su una superficie di 750 mq, con 220 posti a sedere e la possibilità di servire fino a 600 pasti al giorno. Più che un luogo destinato alla pausa pranzo, KoÀ ricorda uno spazio espositivo: vetro, legno e acciaio caratterizzano la struttura oltre all’utilizzo della luce naturale.
- **Palestra:** –parte del progetto Benvivere del campus OpenZone, la palestra interna è un’area completamente attrezzata che tutte le persone possono utilizzare per la propria sessione di allenamento quando staccano dal lavoro e lo possono fare senza lasciare il campus. All’interno della stessa zona sono presenti anche spogliatoi e docce.
- **Museo Zambon:** l’idea del Museo Zambon nasce nel 2006 in occasione dei festeggiamenti per il centenario aziendale. In un ex capannone industriale sono stati raccolti oggetti fisici e immateriali che rappresentano il patrimonio storico dell’azienda. Si tratta di un museo vivo e in continua evoluzione in cui il visitatore viene guidato lungo un percorso di storie e valori, scandito da 6 container rappresentati dalle 6 lettere di Zambon.
- **Oxy.gen:** è una struttura avveniristica a forma di bolla d’aria che sembra galleggiare su un laghetto artificiale che ospita un percorso didattico/formativo. È possibile esplorarlo nei suoi aspetti legati alla salute e nelle implicazioni che la qualità dell’ambiente ha sulle persone. In questa struttura studenti, ricercatori, cittadini e famiglie possono sperimentare un percorso didattico fondato sull’*edutainment*, realizzato grazie alla collaborazione con Fondazione Zoé – Zambon Open Education - e Parco Nord Milano. Si tratta di un volume vetrato avvolto da una pelle di cavi metallici che integra grandi vasche per favorire la crescita di piante rampicanti, che andranno a ricoprire tutta la struttura.

Come si evince si tratta in gran parte di servizi e spazi ancillari al lavoro che tuttavia si configurano come centrali nella *mission* Zambon. Questi spazi e questi servizi possono fare alternativamente riferimento all’HQ Zambon o al campus Open-Zone in generale in relazione al grado di apertura e condivisione che questi spazi offrono.



*Figura 18. Il Campus scientifico OpenZone, con le due torri per i laboratori e il padiglione circolare per le startup.*



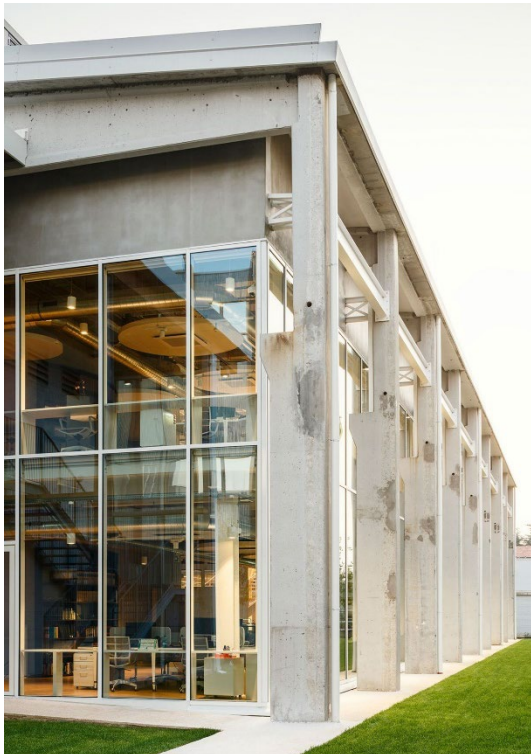
*Figura 19. I collegamenti tra i vari spazi di OpenZone.*



*Figura 20. L'Open Lamp al centro della corte interna di Z-Life, dove avvengono riunioni ed eventi per una capienza massima di 99 persone.*



*Figura 21. L'open Lamp, vista interna con i tre monitor di ultima generazione da 98 pollici.*



*Figura 22. Z-Life vista dall'esterno.*



*Figura 23. Il giardino pensile sulla copertura di Z-Life.*



## Roadmap e raccomandazioni

Sulla base delle evidenze raccolte grazie allo studio delle esperienze di aziende italiane e internazionali, è possibile riassumere alcune raccomandazioni che possono aiutare i decision-makers responsabili della gestione degli edifici industriali a seguire una roadmap per indirizzarli verso un futuro più “intelligente e sostenibile”.

1. Identificare i Sustainable Development Goals più rilevanti per il proprio business;
2. Stabilire degli obiettivi aziendali, coerenti con la missione e la visione organizzative, che siano definiti entro un orizzonte temporale ragionevole;
3. Valutare l'opportunità di ristrutturazione, di rilocalizzazione o di demolizione e ricostruzione;
4. Elencare alcuni Key Performance Indicators che possono aiutare a valutare l'efficacia dell'implementazione di una serie di soluzioni sia nella direzione della sostenibilità ambientale, sia della digitalizzazione, sia dell'impatto sociale;
5. Relazionarsi con realtà del settore simili per creare un sistema di benchmark condiviso e raggiungibile;
6. Guardare alla supply chain e all'impatto ambientale generato non solo all'interno dell'edificio industriale di interesse ma anche all'esterno, nell'immediato intorno territoriale e alla scala comunale e regionale.

## Stato dell'arte sull'Industria 4.0 e oltre

L'Industria 4.0 (definita anche come la quarta rivoluzione industriale) è stata descritta come uno "spostamento" nella logica manifatturiera verso un approccio sempre più decentralizzato e autoregolante della creazione di valore, abilitato da concetti e tecnologie come CPS (Cyber-Physical Systems), IoT (Internet of Things), IoS (Internet of Services), cloud computing o produzione additiva e fabbriche intelligenti, così da aiutare le aziende a soddisfare i futuri requisiti di produzione" (Hofmann & Rüsçh, 2017, p. 33). Le basi che hanno portato all'implementazione dell'Industria 4.0 trovano origine nello sviluppo dei diversi cicli innovativi, rappresentati in Figura 1. In particolare, l'innovazione portata dall'Industria 4.0 è di tipo tecnologico e si pone l'obiettivo principale di migliorare i processi attraverso l'integrazione di sistemi automatizzati.

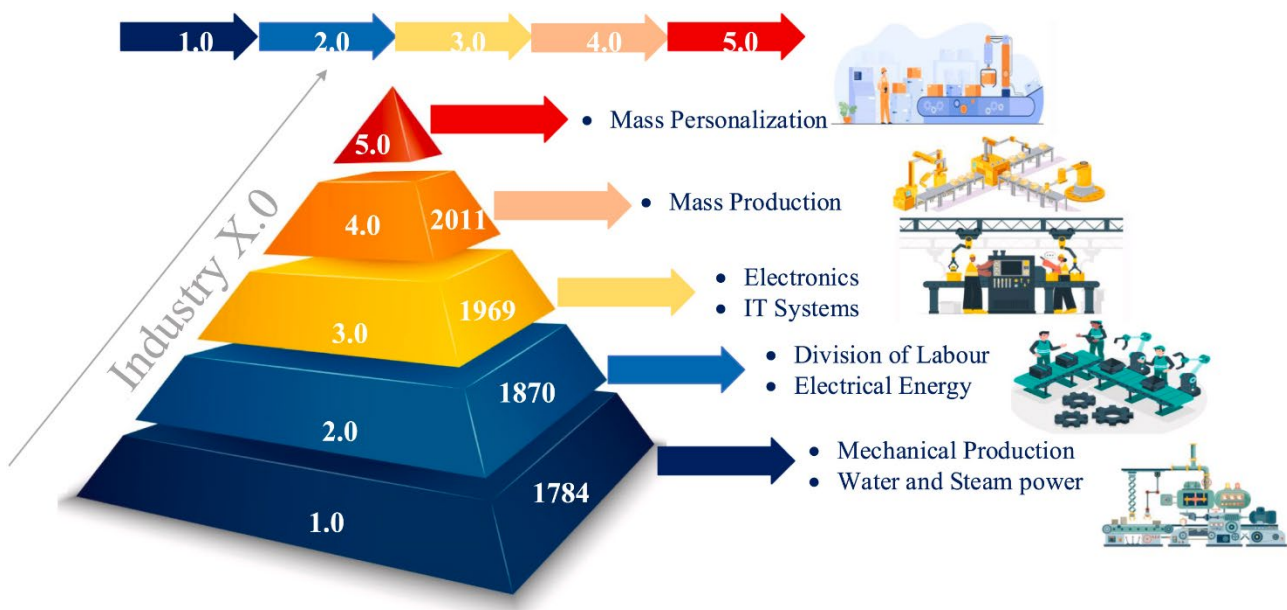


Figura 24. Illustrazione dell'evoluzione industriale. Fonte: Maddikunta et al., 2022

Nel 1800 l'**Industria 1.0** è stata avviata con l'uso di infrastrutture meccaniche di produzione, introducendo macchine alimentate ad acqua e vapore. Successivamente nel 1870 l'**Industria 2.0** si è evoluta attraverso l'integrazione dell'energia elettrica, mentre nel 1969 l'**Industria 3.0** si è sviluppata con l'uso di elettronica, automazione parziale e tecnologie informatiche.

Infine l'**Industria 4.0** è iniziata nel 2011 integrando il concetto di "produzione intelligente" con l'obiettivo principale di impiegare tecnologie emergenti per massimizzare la produttività nella produzione di massa (Maddikunta et al., 2022). L'anima dell'Industria 4.0 si basa sui concetti fondamentali di integrazione del ciclo di vita del prodotto (dalla concezione del prodotto ai servizi post-vendita), architettura di sistema (la transizione dalla concezione dei processi alla produzione unica di beni manifatturieri nella stessa posizione fisica) e gerarchia di automazione del prodotto (integrazione dei sistemi di controllo dei processi industriali).<sup>2</sup>

La definizione di Industria 4.0 è associata a quella di Industria come Cyber-Physical Production Systems (CPPS), un sistema in cui macchine intelligenti e sistemi di archiviazione (artefatti e dati) interagiscono per scambiare informazioni, attivare azioni e controllarsi a vicenda (Kagermann et al., 2013). Rendendo l'industria manifatturiera "intelligente", Industria 4.0 interconnette macchine e dispositivi che possono

<sup>2</sup> IEC PAS 63088:2017

controllarsi a vicenda durante tutto il loro ciclo di vita. Ciò ha ridotto drasticamente l'intervento degli esseri umani nel processo di produzione (Maddikunta et al., 2022).

Tuttavia nel lungo periodo l'Industria 4.0 ha completamente bypassato le risorse umane integrando efficacemente i processi di produzione con i CPPS. Ecco perché i pionieri nel settore industriale si stanno oggi occupando di un ulteriore step nell'avanzamento tecnologico, al fine di riportare l'intelligenza umana all'interno dei cicli produttivi (Maddikunta et al., 2022).

Un secondo ordine di problemi insiti nell'implementazione su larga scala dell'Industria 4.0 è legato all'inquinamento ambientale, che non è stato opportunamente preso in considerazione in questa fase del progresso industriale. Pertanto oggi c'è bisogno di soluzioni tecnologiche che forniscano processi privi di inquinamento (Xu, 2018). Il passo successivo, quindi, prende il nome di **Industria 5.0**. In questo contesto uno studio condotto dal M.I.T. (Ruggiero, 2021) ha sviluppato un algoritmo per misurare i tassi di progresso tecnologico confrontando le diverse tecnologie in modo sistematico e valutando le applicazioni che spaziano dalla pianificazione di investimenti in ricerca e sviluppo, alla definizione di politiche industriali sostenibili, fino all'allineamento con gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibili (SDG). Questo sistema ambisce a supportare una governance tecnologica più consapevole che sappia aiutare a gestire gli effetti delle transizioni industriale e digitale, inclusi quegli aspetti a cui fa riferimento l'Industria 5.0 relativi all'occupazione e all'equità sociale. Oggi questa evoluzione dall'Industria 4.0 all'Industria 5.0 mira a garantire la riduzione della produzione di rifiuti e un utilizzo più sostenibile delle risorse, facilitando al contempo la cooperazione tra esseri umani e macchine attraverso processi intelligenti e creativi (Maddikunta et al., 2022).

Siccome esistono diverse lacune nell'integrazione delle tecnologie nel settore dell'architettura, dell'ingegneria, delle costruzioni e della manutenzione (AECO), il passaggio da una logica puramente tecnologica, tipica dell'Industria 4.0, deve passare all'adozione di un paradigma più umano-centrico e resiliente, in linea proprio con i principi proposti dall'Industria 5.0. Quindi il cambiamento non può essere esclusivamente di natura tecnica ma deve essere anche culturale per abilitare la trasformazione sostenibile e orientata al valore sociale (Ikudayisi et al., 2023).

Alcuni di questi importanti cambiamenti hanno conseguenze significative non solo sui processi produttivi ma anche sulla morfologia edilizia dei manufatti che ospitano le attività industriali e sulla conformazione dei siti che ospitano le attività produttive.

## L'Edilizia 4.0

Con il termine Edilizia 4.0 si fa riferimento all'applicazione dell'innovazione dell'Industria 4.0 nel settore delle costruzioni e si definisce come un sistema integrato di tecnologie digitali e processi automatizzati che mirano a migliorare l'efficienza, la qualità, la sostenibilità e la sicurezza dell'intero ciclo di vita degli edifici. Le tecnologie principali di questa innovazione, che non si trovano solo in uno stato maturo ma vengono anche integrate per ottimizzare i processi, sono il Building Information Modelling (BIM), l'Internet of Things (IoT), l'Intelligenza Artificiale (AI), la robotica evolutiva, la stampa 3D e le soluzioni immersive di realtà aumentata (AR) e virtuale (VR) (Forcael et al., 2020). L'adozione di tali tecnologie permette di efficientare i processi operativi e ottimizzare la sostenibilità e la sicurezza, tuttavia la diffusione è ancora lenta a causa di barriere quali i costi elevati, la mancanza di competenze digitali e la standardizzazione tecnologica.

Sotto l'etichetta di **Edilizia 4.0**, anche i processi di fabbricazione degli edifici hanno iniziato ad adottare strumenti tecnologici e, in questo modo, a rendere possibile un'integrazione di alto livello tra le parti interessate lungo l'intero ciclo di vita (Ikudayisi et al., 2023).

Un effetto indotto dal trasferimento dell'Industria 4.0 nel settore riguarda l'**organizzazione del cantiere e dei processi correlati**. In una fabbrica la funzionalità interna ha sempre dovuto rispettare precise regole di efficienza, normative, raccomandazioni di sicurezza e protocolli di manutenzione dei macchinari (Moran, 2016); questi fattori influenzano le scelte progettuali e di localizzazione degli impianti produttivi. Le stesse logiche di ottimizzazione delle funzionalità interne della fabbrica vengono adottate nel cantiere edile che a tutti gli effetti opera come una fabbrica temporanea. Oggi grazie all'uso delle tecnologie il cantiere può



essere organizzato in maniera sistematica, controllando i flussi di persone e materiali, la puntualità nello svolgimento delle operazioni programmate, gli scostamenti tra il progetto e la sua esecuzione, l'allineamento tra i costi stimati e i materiali o le attività effettivamente impiegati. Inoltre, una volta studiati i movimenti di merci e persone all'interno dell'area, possono essere suggerite diverse configurazioni spaziali interne per ottimizzare gli spostamenti e ridurre i rischi connessi alla movimentazione delle risorse.

Legata all'effetto sul cantiere, l'Edilizia 4.0 riguarda anche **nuove conformazioni dell'edificio-fabbrica**, proprio a partire da una nuova e diversa organizzazione delle attività che avvengono al suo interno. Il Facility Layout Problem (FLP) nei sistemi manifatturieri è l'insieme di studi necessari per comprendere la corretta allocazione delle funzioni all'interno della fabbrica (includendo postazioni di lavoro, macchinari, uffici o aree funzionali). Nella definizione degli spazi all'interno di uno stabilimento industriale la letteratura ha affrontato il tema del Facility Layout attraverso diversi modelli matematici. Il prodotto di questi studi a livello preliminare è il Block Layout, uno schema di base che indica il posizionamento delle funzioni principali. Il Block Layout si lega alla progettazione e pianificazione modulare e industrializzata del cantiere e delle costruzioni attraverso la disposizione logica e spaziale di moduli, componenti o zone funzionali all'interno di un edificio, di un cantiere o di un impianto produttivo edile con l'obiettivo di ottimizzare i flussi, i tempi e le risorse attraverso principi di efficienza, prefabbricazione e automazione ed è propedeutico al Detailed Layout, che includerà anche i meccanismi di distribuzione tra blocchi e aree interne. Solitamente la configurazione degli stabilimenti produttivi avviene per conformazioni monoplanari. Oggi, tuttavia, gli studi indagano anche le possibilità di sfruttamento dell'occupazione di suolo attraverso configurazioni multipiano con evidenti impatti positivi sull'impronta ecologica del manufatto edilizio.

Tuttavia in letteratura sono ancora pochissimi gli studi relativi a Block Layout multipiano per l'Industria 4.0 ed è necessario riflettere su come un Block Layout classico potrebbe essere organizzato in un impianto su diversi livelli, tenendo conto dei seguenti presupposti:

- i server possono essere collocati in spazi diversi (fisici e non), anche completamente esterni al perimetro dello stabilimento produttivo;
- il controllo della produzione può essere effettuato da remoto, eliminando l'intervento umano in loco. Questo aspetto consente una riduzione degli spazi e degli ingombri richiesti;
- i sistemi di stoccaggio possono essere organizzati in modo differente, anche questi sfruttando l'elevazione anziché un'estensione solo orizzontale;
- i posti auto possono essere ridotti grazie a un'analisi predittiva fornita dalle nuove tecnologie informatiche, che possono anche consentire l'ottimizzazione del trasporto pubblico.

L'Edilizia 4.0 abilita un sistema connesso costituito da reti di computer e sensori, che rende possibile la **comunicazione tra ambienti** (le macchine dello stabilimento produttivo) all'interno dello stesso edificio (lo stabilimento) come anche l'interazione con altri edifici potenzialmente in numero illimitato e dislocati ovunque nel mondo. Ciò consente di gestire in maniera integrata una serie di operazioni legate alla manutenzione e all'operatività dell'edificio, permettendo economie di scala e una migliore gestione delle risorse, sia materiali che umane.

Le potenzialità di una **distribuzione allargata delle risorse** si riverbera anche sulla fase di progettazione del prodotto edilizio. La fabbrica del futuro abilita nuovi modelli di business, prevedendo un'imprenditorialità diffusa che coinvolge diverse professionalità di estrazione eterogenea dislocate ovunque nel mondo. Questo è possibile grazie agli strumenti tecnologici che consentono sopralluoghi virtuali, l'elaborazione di modelli digitali condivisibili con un numero molto vasto di professionalità e collaborazioni progettuali che possono avvenire in una rete che non richiede la presenza fisica degli stakeholder.

Questa possibilità stimola un cambiamento anche nella 'produzione di idee'. Un esempio è il **crowdsourcing**, termine che fonde i termini *crowd* e *outsourcing*, basato su un'idea di comunità ed esternalizzazione delle attività che consente di ottimizzare le risorse umane interne e di interagire con i talenti presenti all'esterno dell'azienda (spesso in università e centri di ricerca), nonché di coinvolgere i potenziali clienti nella concettualizzazione del prodotto. In questo contesto, l'imprenditorialità del movimento *maker*, basata sulla collaborazione e sulla condivisione delle risorse, contribuisce anche a determinare

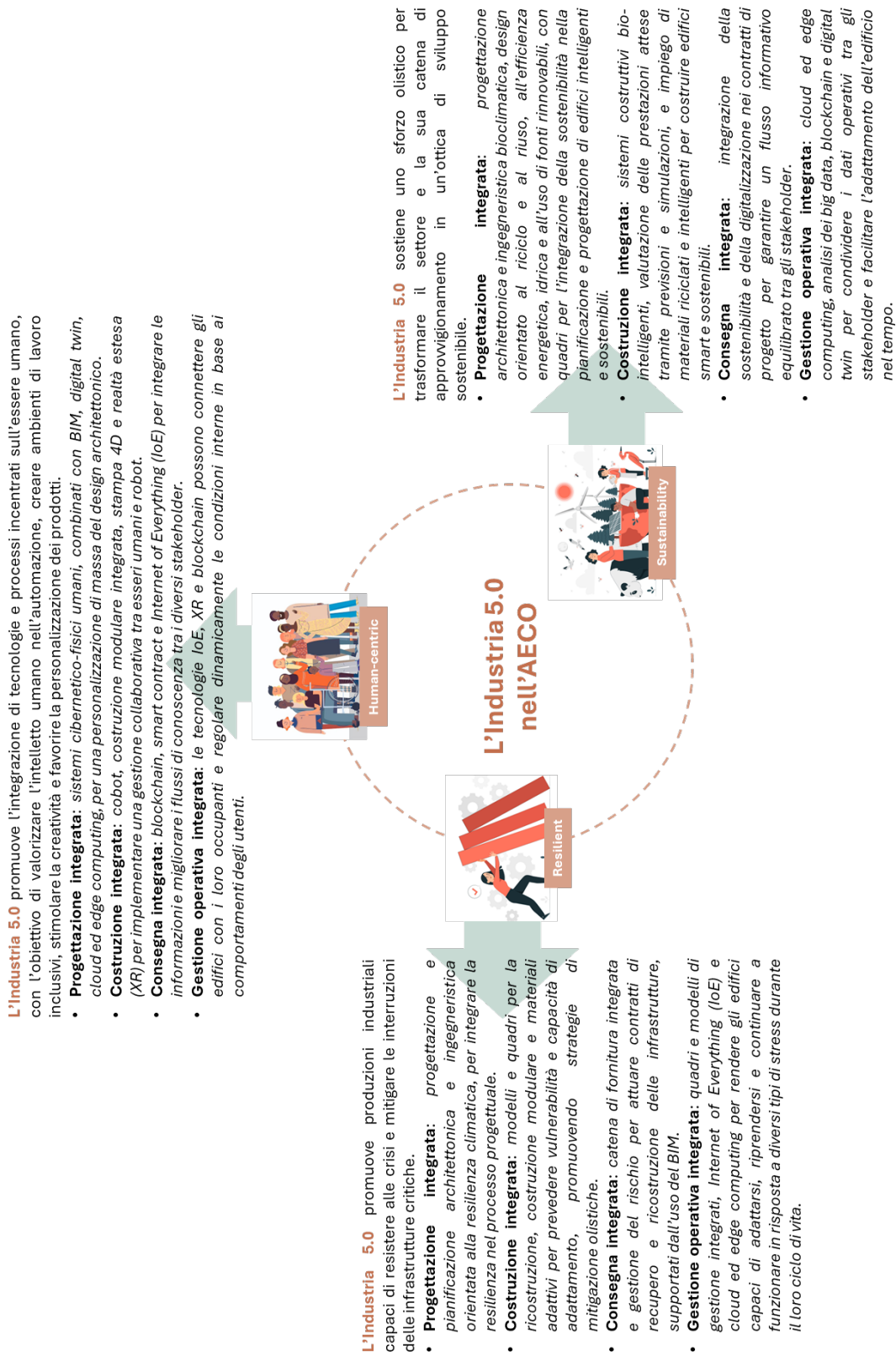


Figura 25. Effetti prospettici dell'Industria 5.0 nel settore AECO. Fonte: elaborazione degli autori su Tagliaro et al., 2025 e Ikudayisi et al., 2023

nuove modalità di produzione e modelli di business innovativi, nella logica della cosiddetta *open innovation*. Questi approcci alla produzione di idee, all'implementazione e alla condivisione dei risultati rappresentano la frontiera per ridurre i tempi necessari affinché progetti e prodotti innovativi siano disponibili sul mercato (Abrahamson et al., 2013).

Infine, proprio come il fenomeno del coworking e degli uffici condivisi è la dimostrazione fisica di una tendenza verso collaborazioni potenziate, il settore produttivo si è progressivamente aperto a soluzioni in cui lo spazio funge da **incubatore per attività complementari**. Questa strategia incoraggia la generazione di idee e prodotti originali rivoluzionando il concetto di fabbrica tradizionale verso un concetto di campus allargato.

## Lo smart building per il settore produttivo

*“Un edificio intelligente è una struttura che integra diversi sistemi per gestire in modo efficiente e coordinato risorse, servizi e le loro interrelazioni. L'obiettivo è soddisfare al meglio le esigenze in evoluzione degli utenti, massimizzare il risparmio sui costi di investimento e costi operativi, e garantire la massima flessibilità operativa nel rispetto costante dell'ambiente”* - European Intelligent Building Group and Intelligent Building Institute, 1997.

In generale gli Edifici Intelligenti (o Smart Buildings) sono costruzioni che utilizzano tecnologie avanzate come sistemi di automazione (BACS), dispositivi IoT e algoritmi di AI per ottimizzare l'efficienza energetica, il comfort e la sicurezza degli occupanti, contribuendo a una gestione più sostenibile delle risorse energetiche. Introdotti dalla EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) come motore per il futuro edilizio, questi edifici si adattano dinamicamente alle esigenze degli utenti e alle condizioni ambientali, regolando in tempo reale sistemi come HVAC e illuminazione (Buckman et al., 2014).

Come è rappresentato in Figura 26, l'edificio “Smart” si contrappone a quello tradizionale (lo standard building) perché è caratterizzato dall'integrazione di una qualche forma di innovazione tecnologica, che può riguardare gli impianti, l'involucro edilizio, oppure l'integrazione di sensori per il monitoraggio in tempo reale dello stato dell'edificio (Fringhi, 2023).

TIPO DI EDIFICIO	Primitivo	Semplice	Automatizzato		Intelligente
CONTROLLO	Senza controllo	Controllo manuale	Feedback locale	Feedback centralizzato	Interattivo
COMFORT E EFFICIENZA DI INPUT	Nessuno	Variabili di comfort controllabili (es. temperatura)	Termostato, umidostato, ecc.	BMS	Integrazione sistemi e dati
INTERAZIONE UTENTI E EFFICIENZA	Nessuno	Controllo completo, bassa efficienza	Basso controllo, più alta efficienza	Basso controllo, più alta efficienza	Maggiore controllo, maggiore efficienza
MATERIALI E COSTRUZIONE	Base	Fornitura elettrica e materiale di base	Materiali più avanzati, sensori, display	Feedback automatizzati i sistemi loop	Backbone IP, utilizzato per integrare i sistemi di servizi edilizi. Struttura edilizia adattabile con caratteristiche reattive
INTERAZIONE OPERATORI UTENTI	Nessuno	Input manuale	Tempi di occupazione definiti	Dati di occupazione di zona	Integrazione e ottimizzazione in tempo reale dei sistemi edilizi con l'uso dell'edificio

Figura 26 L'evoluzione del concetto di Edifici Intelligenti – elaborazione degli autori da Buckman et al., 2014



### PUNTI CHIAVE – Gli edifici intelligenti

Rappresentano un'evoluzione essenziale verso un'edilizia più sostenibile ed efficiente dal punto di vista energetico e di adattabilità rispetto al cambiamento dei comportamenti degli occupanti. Attraverso l'integrazione di tecnologie IoT, AI e sistemi di gestione avanzati, questi edifici riescono ad ottimizzare i consumi energetici, a ridurre l'impatto ambientale e a migliorare il benessere degli occupanti. Gli impatti positivi in termini energetici derivanti da questi edifici non riguardano solo la riduzione dei consumi e dei costi ma anche il contributo alla stabilità della rete elettrica e alla transizione verso fonti di energia rinnovabile. In un contesto di crescente attenzione alla sostenibilità, gli edifici intelligenti si configurano come un elemento centrale nella trasformazione delle città in ambienti più verdi, vivibili e resilienti. Gli elementi principali quando si parla di edifici intelligenti si possono riassumere in:

- **Automazione:** capacità di integrare dispositivi automatici o di svolgere funzioni in modo autonomo;
- **Multifunzionalità:** capacità di consentire l'esecuzione di più funzioni all'interno dell'edificio;
- **Adattabilità:** capacità di apprendere, prevedere e soddisfare le esigenze degli utenti e di rispondere agli stress provenienti dall'ambiente esterno;
- **Interattività:** capacità di favorire l'interazione tra gli utenti;
- **Efficienza:** capacità di garantire efficienza energetica e di ottimizzare tempi e costi.

### Verso gli Smart Readiness Indicators

Gli Smart Readiness Indicators (SRI) sono uno strumento, introdotto dall'Unione Europea, per favorire la diffusione degli edifici intelligenti. Il sistema di valutazione identifica nove indicatori per valutare quanto un edificio è pronto a interagire con gli occupanti e con la rete energetica tramite sistemi intelligenti e digitali. Per definire il livello di "intelligenza" (smart) di un edificio e, quindi, per valutare il grado dell'edificio di adattarsi alle esigenze degli utenti, interagire con la rete energetica e migliorare le prestazioni ambientali ed energetiche attraverso l'uso di tecnologie, il sistema di valutazione SRI identifica una griglia su tre livelli fatta da nove ambiti funzionali, 57 servizi tecnici intelligenti e 3 impatti principali. Ogni edificio, quindi, deve essere valutato per la sua "intelligenza" rispetto ai seguenti ambiti:

1. Riscaldamento: si valuta l'integrazione di tecnologie come i termostati intelligenti o le caldaie con controllo digitale;
2. Raffrescamento: si valuta l'integrazione di tecnologie come sistemi automatizzati HVAC;
3. Ventilazione: si valuta l'integrazione di tecnologie come la ventilazione meccanica e i sensori di controllo della qualità dell'aria;
4. Acqua calda sanitaria: si valuta l'integrazione di tecnologie come i sistemi per il controllo della produzione e del consumo di acqua calda sanitaria;
5. Illuminazione: si valuta l'integrazione di tecnologie come luci LED con sensori di presenza e/o luminosità;
6. Domotica e gestione: si valuta l'integrazione di tecnologie come dashboard di controllo e analisi dati anche attraverso sistemi BMS e di intelligenza artificiale;
7. Produzione di energia rinnovabile: si valuta l'integrazione di tecnologie come l'installazione di sistemi fotovoltaici con inverter intelligenti e batterie di accumulo;
8. Ricarica veicoli elettrici: si valuta l'integrazione di tecnologie come colonnine smart;
9. Risposta alla rete: si valuta l'integrazione di tecnologie come le interfacce per la gestione della domanda e della produzione di energia.

Il secondo livello di analisi riguarda la valutazione della presenza e della qualità di funzionalità smart, che sono classificate in quattro livelli: 0 – nessuna automazione, 1 – funzione base (manuale o programmata), 2 – automazione con risposta a sensori o condizioni, 3 – automazione avanzata e ottimizzazione dinamica (ad esempio con utilizzo di AI, sistemi predittivi e comunicazione con rete e/o utenti). Infine ogni funzione viene valutata in base al suo impatto su tre macro-aree con un punteggio su tre livelli: 1 – Efficienza energetica e funzionamento dell'edificio, 2 – Adattabilità ai bisogni degli occupanti, 3 – Flessibilità energetica e interazioni

con la rete. Il punteggio finale viene espresso in forma numerica aggregata in un indice da 0% a 100% e con un grafico radar che mostra le prestazioni nei vari ambiti e impatti.

Questi indicatori sono stati introdotti dalla **Direttiva Europea 2018/844/UE** come parte del pacchetto normativo per l'efficienza energetica negli edifici (EPBD - Energy Performance of Buildings Directive). Dopo la prima fase di sviluppo della metodologia in cui la Commissione Europea ha lavorato in modo partecipativo coinvolgendo diversi stakeholder di settore, al momento l'applicazione degli SRI è facoltativa perché siamo nella fase di sperimentazione in cui gli Stati Membri europei stanno procedendo a provare l'applicabilità del sistema di valutazione (Figura 27).

In Italia l'introduzione è ancora in fase di sperimentazione anche se gli SRI vengono ritenuti strategici per raggiungere gli obiettivi espressi dal Piano Nazionale Integrato Energia e Clima (PNIEC) che definisce gli obiettivi, le politiche e le misure da adottare entro il 2030 e il 2050 per contribuire alla transizione energetica e climatica e recepire le richieste presentate dal Green Deal europeo. La versione preliminare del PNIEC prevede la riduzione delle emissioni di gas serra del 43,7% rispetto al 2005 per i settori relativi ai trasporti, all'ambiente costruito, all'agricoltura e alla produzione di rifiuti con l'aumento della quota di energia prodotta da fonti rinnovabili, prevedendo di raggiungere la quota del 40,7% sul totale complessivo (produzione elettrica, consumi termici e trasporti). Questi target vengono confermati dall'aggiornamento del giugno 2024, in cui viene dichiarato che l'Italia si pone l'obiettivo di coprire circa il 40% dei propri consumi con energia proveniente da fonti rinnovabili entro il 2030. j

Con l'obiettivo di fornire trasparenza agli utenti e investitori, di supportare le decisioni di interventi di riqualificazione, nonché di incentivare l'integrazione delle tecnologie digitali nel settore e di favorire la transizione energetica e digitale, questo framework di indicatori mira a quantificare la capacità di un edificio di ottimizzare il proprio funzionamento energetico, di adattarsi alle esigenze degli occupanti e facilitare l'integrazione con la smart grid.

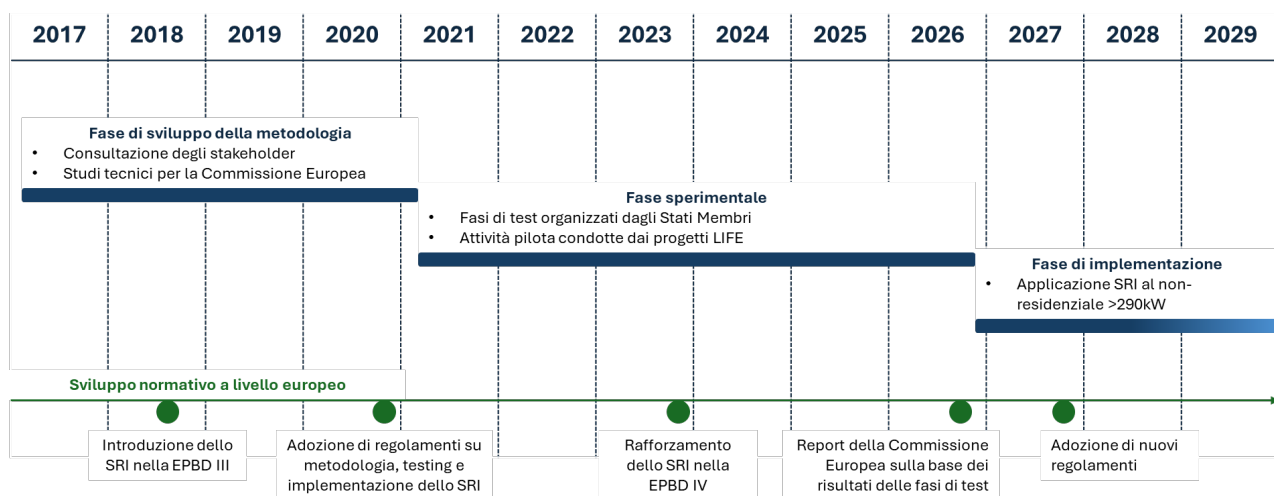


Figura 27 Percorso di sviluppo e implementazione del sistema di valutazione degli Smart Readiness Indicators – elaborazione degli autori.

### PUNTI CHIAVE – Gli Smart Readiness Indicators

Valutando la capacità degli edifici di integrare tecnologie digitali attraverso nove ambiti (riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, acqua calda sanitaria, illuminazione, domotica e gestione degli edifici, produzione di energia rinnovabile, ricarica di veicoli elettrici e risposta attiva alla rete), gli SRI hanno tre obiettivi fondamentali:

- **Migliorare l'efficienza energetica** attraverso l'automazione e il controllo degli impianti;
- **Ottimizzare il comfort, la salute e il benessere** attraverso l'integrazione di tecnologie digitali che considerano le preferenze degli occupanti;
- **Favorire l'interazione con la rete energetica** attraverso sistemi di gestione dei carichi e degli accumuli all'interno di reti di smart grid per promuovere la flessibilità e l'autoconsumo.



## Il capannone produttivo intelligente

*“Una fabbrica intelligente è un impianto di produzione altamente digitalizzato e connesso che sfrutta tecnologie di produzione intelligenti per migliorare i processi di produzione. Gli aspetti chiave sono: integrazione delle tecnologie 4.0, sistemi proattivi, ottimizzazione e automazione” (Sandiku et al., 2021).*

L'analisi degli edifici industriali, nel mercato del real estate e delle costruzioni, è complessa a causa dell'elevata eterogeneità di questa tipologia di edifici, che possono essere poli produttivi, sistemi per la logistica o per la distribuzione o ancora spazi per la ricerca e lo sviluppo (Mourouzi-Sivitanidou, 2020). Lo sviluppo sempre crescente dell'e-commerce ha incrementato l'interesse verso questa tipologia di edifici in quanto vi è un crescente bisogno di spazi industriali e logistici per lo stoccaggio e successiva distribuzione dei prodotti (Statista, 2024).

Un edificio industriale (o fabbrica) viene definito come uno spazio in cui avviene la produzione e lo stoccaggio di beni, progettato per supportare le persone nel processo di realizzazione di prodotti (San-José et al., 2010). Il concetto di Fabbrica Intelligente (*Smart Factory* - SF), parte integrante dell'Industria 4.0, rappresenta un cambiamento trasformativo nella manifattura. La SF sfrutta tecnologie avanzate per migliorare l'efficienza, la produttività e la qualità del processo produttivo.

L'avanzamento tecnologico, risultato della quarta rivoluzione industriale, richiede spazi intelligenti (o *smart*) e flessibili, che sappiano adattarsi alle nuove esigenze non solo produttive ma anche di stoccaggio e di ricerca e sviluppo di nuovi prodotti. Diverse aziende hanno, quindi, iniziato a richiedere edifici modulari che possano essere facilmente riconfigurati con la capacità di ospitare macchine autonome, robot e sistemi di gestione automatizzati (Coykendall et al., 2025).

Le fabbriche intelligenti utilizzano strumenti quali sensori IoT, robotica e analisi dei dati per creare sistemi interconnessi che ottimizzano la gestione delle risorse non solo nei processi produttivi ma anche nell'utilizzo stesso dell'edificio. Oltre ad efficientare i programmi di produzione e ridurre gli sprechi attraverso l'automazione e l'analisi dei dati in “tempo reale”, l'integrazione di approcci provenienti dall'Industria 4.0 permette alle SF di migliorare la performance di sostenibilità dell'edificio industriale.

Infine partendo dalla raccolta di dati in tempo reale, una SF consente interventi immediati e la riduzione dei costi dovuti ad una gestione più efficace ed efficiente delle risorse abilitando anche la manutenzione predittiva delle strutture (Talarico, 2024).

Le SF devono pertanto essere resilienti riducendo l'impatto ambientale e adattandosi ai cambiamenti richiesti. Al tempo stesso esse promuovono l'interconnessione tra dispositivi e sistemi favorendo il monitoraggio continuo, l'analisi in tempo reale dei dati raccolti e un processo decisionale ottimizzato, basato su simulazioni per modellare scenari e prevedere i possibili effetti causati da diverse strategie (Chen et al., 2022).

In questo contesto una tecnologia fondamentale è il Digital Twin (DT), che sta supportando la trasformazione digitale e “smart” dei capannoni produttivi creando repliche virtuali dei sistemi fisici che permettono il monitoraggio in tempo reale e l'ottimizzazione dei processi di produzione. Noto come la replica digitale di un sistema reale che ne riflette non solo la geometria ma anche le prestazioni il DT di una SF consiste nella replica digitale sia dell'interna fabbrica, o delle macchine all'interno della stessa, sia dell'intero processo produttivo al fine di fornire specifiche simulazioni in tempo reale (Kritzinger et al., 2018). Grazie all'applicazione di sensori IoT, il DT permette di raccogliere dati relativi alla performance della SF, incluse le macchine e i processi legati alla supply chain<sup>3</sup>. Un DT può variare dalla visualizzazione dei dati delle apparecchiature su una dashboard fino a un modello di simulazione di un'intera linea di produzione. Di conseguenza è possibile ipotizzare scenari e testarli in modo tale da ottenere un miglioramento dei processi senza interrompere la produzione<sup>4</sup>. Il monitoraggio reso possibile dall'installazione di sensori consente il

<sup>3</sup> Digital twin, SIEMENS, <https://www.sw.siemens.com/it-IT/technology/digital-twin/>

<sup>4</sup> dataPARC, [https://www.dataparc.com/blog/digital-twin-manufacturing/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.dataparc.com/blog/digital-twin-manufacturing/?utm_source=chatgpt.com)



rilevamento immediato delle anomalie contribuendo talvolta ad anticipare i guasti, programmare la manutenzione predittiva e ridurre i tempi di inattività non pianificati sia a livello di produzione ma anche relativamente al sistema edificio (Tao et al., 2019). Infine nel DT convergono tutti i diversi tipi di dati prodotti in modo da assicurare uno stoccaggio, un'analisi e una generazione di informazioni integrata che permette il monitoraggio continuo del capannone produttivo, degli impianti di produzione e delle risorse umane (Kritzinger et al., 2018).

La combinazione del DT a tecnologie di realtà virtuale (VR) e aumentata (AR) genera un'evoluzione interessante nel metaverso che permetterebbe di efficientare ulteriormente la progettazione e la gestione dei capannoni produttivi intelligenti. L' "Industrial Metaverse" (Metaverso Industriale) integra diverse tecnologie per generare un'esperienza immersiva basata sulla realtà aumentata che sappia creare una connessione tra mondo virtuale e mondo reale (Werner et al., 2022). Definito come una estensione del DT, il metaverso industriale combina componenti hardware (come sensori e visori VR) a sistemi di conversione dei dati tramite analisi o apprendimento automatico e interfacce di connessione operatore-macchina (Khalaj et al., 2022). Quindi, anticipando quanto identificato dall'Industria 5.0, il metaverso industriale offre il potenziale di ricreare in modo completo il sistema industriale all'interno di ambienti di VR offrendo una rappresentazione esaustiva e sistemica delle strutture industriali complesse. La soluzione integrata proposta permette a progettisti e tecnici di collaborare all'interno di un DT (Ren et al., 2024) oppure di ottimizzare la relazione tra domanda e offerta per migliorare l'assemblaggio del prodotto finale con celle e linee di assemblaggio (Zuehlke, 2018). Inoltre nell'ambito della progettazione e gestione dei capannoni produttivi intelligenti questi modelli immersivi permettono di simulare e validare non solo i processi ma anche i layout e i flussi logistici prima della realizzazione fisica degli spazi (Bashir, 2024). Questo permette di ridurre in modo significativo i tempi e i costi di sviluppo, favorendo anche la collaborazione da remoto e la comunicazione tra i diversi stakeholder. Tali approcci facilitano il "virtual commissioning", permettono la manutenzione predittiva degli impianti e degli edifici, agevolano la gestione dinamica degli spazi ottimizzando l'efficienza energetica, la sicurezza e la sostenibilità delle SF (Bashir, 2024).

## Componenti principali delle fabbriche intelligenti

Nonostante l'introduzione di processi produttivi innovativi e sistemi tecnologicamente avanzati, gli edifici industriali spesso faticano a tenere il passo con l'evoluzione del settore. È imprescindibile, tuttavia, che progressivamente questi vengano progettati e costruiti in modo nuovo o, quando già esistenti, che vengano opportunamente rinnovati in modo da garantire la piena funzionalità non solo dell'involucro edilizio ma anche del suo contenuto.

In primo luogo è importante considerare le nuove caratteristiche che questi edifici devono possedere già nelle fasi di pianificazione e progettazione. L'Industria 4.0, ad esempio, ha accentuato la necessità di progettare **spazi flessibili**, capaci di adattarsi rapidamente alle frequenti riconfigurazioni ed espansioni dei sistemi produttivi. Ciò ha determinato nuove **esigenze strutturali**, necessarie per soddisfare criteri di stabilità, adattabilità e sostenibilità, al fine di supportare al meglio le attività produttive e la continuità del ciclo produttivo anche nella fasi di adeguamento del contenitore edilizio (Reisinger et al., 2021).

In secondo luogo, le SF cambiano radicalmente anche il modo di gestire e mantenere l'edificio in essere. Tali edifici migliorano la **comunicazione** tra impianti, sistemi produttivi ed operatori garantendo maggiore efficienza. Stabiliti i requisiti funzionali, la fabbrica intelligente si configura come un sistema ingegneristico basato su tre elementi fondamentali: **interconnessione, collaborazione ed esecuzione**. Combinando tecnologie fisiche e digitali, essa mira a rendere i processi produttivi più precisi ed efficienti migliorando qualità, gestione, controllo e trasparenza, integrando anche tali processi alla gestione dell'edificio in sé attraverso la simulazione e ottimizzazione degli spazi. Il potenziale vantaggio che si ottiene dalla riconfigurazione dei capannoni produttivi in edifici intelligenti non genera solo l'effetto positivo sugli impatti

ambientali legati all'utilizzo dell'edificio ma rende le attività più reattive alle richieste del mercato ottimizzando costi e risorse (Reisinger et al., 2021).

Quindi, una SF rappresenta un'infrastruttura ad alte prestazioni che integra sistemi cyber-fisici, automazione avanzata, gestione energetica digitale e sensoristica per supportare processi produttivi adattivi, sostenibili e interconnessi. Dal punto di vista architettonico e impiantistico essa si configura come un "edificio attivo", cioè capace di supportare la raccolta e l'elaborazione dei dati in tempo reale, contribuendo all'ottimizzazione del ciclo produttivo e al miglioramento delle condizioni di lavoro grazie anche a sistemi di monitoraggio della qualità dell'aria, dell'efficienza energetica e della sicurezza (Li et al., 2020; Delsante et al., 2021). Il potenziale di questi edifici intelligenti è anche la capacità di interazione con la rete elettrica attraverso logiche di "demand response" diventando sistemi strategici nelle reti energetiche intelligenti. Inoltre il concetto di DT dell'edificio consente simulazioni e previsioni basate su dati per la manutenzione predittiva e la gestione dei flussi produttivi (Negri et al., 2017). La progettazione di fabbriche intelligenti si basa sui principi di Industria 4.0 e Smart Manufacturing, secondo un approccio sistemico che coinvolge sinergicamente componenti edilizi, impiantistici e informatici (Mourtzis, 2020).

#### **PUNTI CHIAVE – Le componenti delle fabbriche intelligenti**

La trasformazione di un capannone industriale in una SF richiede l'integrazione di soluzioni digitali avanzate in grado di abilitare l'automazione, l'interconnessione e l'ottimizzazione dei processi produttivi, delle risorse umane coinvolte e della operatività degli spazi. Infatti la trasformazione in SF coinvolge anche l'infrastruttura edilizia che diventa un elemento attivo e intelligente del sistema produttivo (Ghobakhloo, 2018).

Le principali tecnologie abilitanti includono:

- **Dispositivi IoT**, impiegati per il monitoraggio continuo e la manutenzione predittiva, con vantaggi in termini di affidabilità e riduzione dei tempi di inattività sia per la gestione dell'edificio e di tutte le componenti impiantistiche sia per l'ottimizzazione dei processi. I network di IoT sono in grado di monitorare anche i parametri ambientali come la qualità dell'aria, la temperatura, l'umidità e il rumore all'interno degli impianti produttivi consentendo di creare ambienti adattivi e rispondenti alle diverse esigenze degli operatori per ottimizzare il benessere degli stessi.
- **Building Management System (BMS)**, sistemi per il controllo automatizzato di climatizzazione, illuminazione, ventilazione e sicurezza con lo scopo di minimizzare i consumi energetici e massimizzare le condizioni di lavoro degli occupanti.
- **Digital Twin**, una tecnologia che consente di creare modelli virtuali degli asset fisici supportando decisioni strategiche e ottimizzando le operazioni. Tali tecnologie vengono adottate anche per garantire la comunicazione real-time tra sistemi distributivi (come impianti fotovoltaici, sistemi di recupero energetico e materiali intelligenti).

## **Soluzioni digitali**

Con la parola "PropTech", Property Technology, si fa riferimento a tutte quelle soluzioni che adottano diverse tecnologie digitali per ottimizzare i processi e le operazioni in tutta la filiera del settore delle costruzioni e del real estate.

*"PropTech, acronimo di Property + Technology, comprende start-up e aziende in fase di crescita, così come imprese immobiliari e altre realtà consolidate, che sviluppano servizi e soluzioni innovative basati sui dati applicati su diverse scale dell'ambiente costruito. Questo ambito sfrutta tecnologie digitali avanzate che operano all'interno dei diversi segmenti della filiera del valore immobiliare e delle costruzioni"* (Italian PropTech Network).

Nel panorama italiano esistono diverse soluzioni che propongono l'integrazione di una combinazione di tecnologie digitali per trasformare gli edifici in edifici intelligenti. Le soluzioni digitali presentate di seguito sono una rassegna delle principali soluzioni che possono essere integrate in un capannone industriale con l'obiettivo di trasformarlo in una SF. Questa rassegna viene condotta analizzando le soluzioni mappate

dall'Italian PropTech Network<sup>5</sup> del Politecnico di Milano, che monitora lo sviluppo dell'ecosistema PropTech nel mercato italiano.

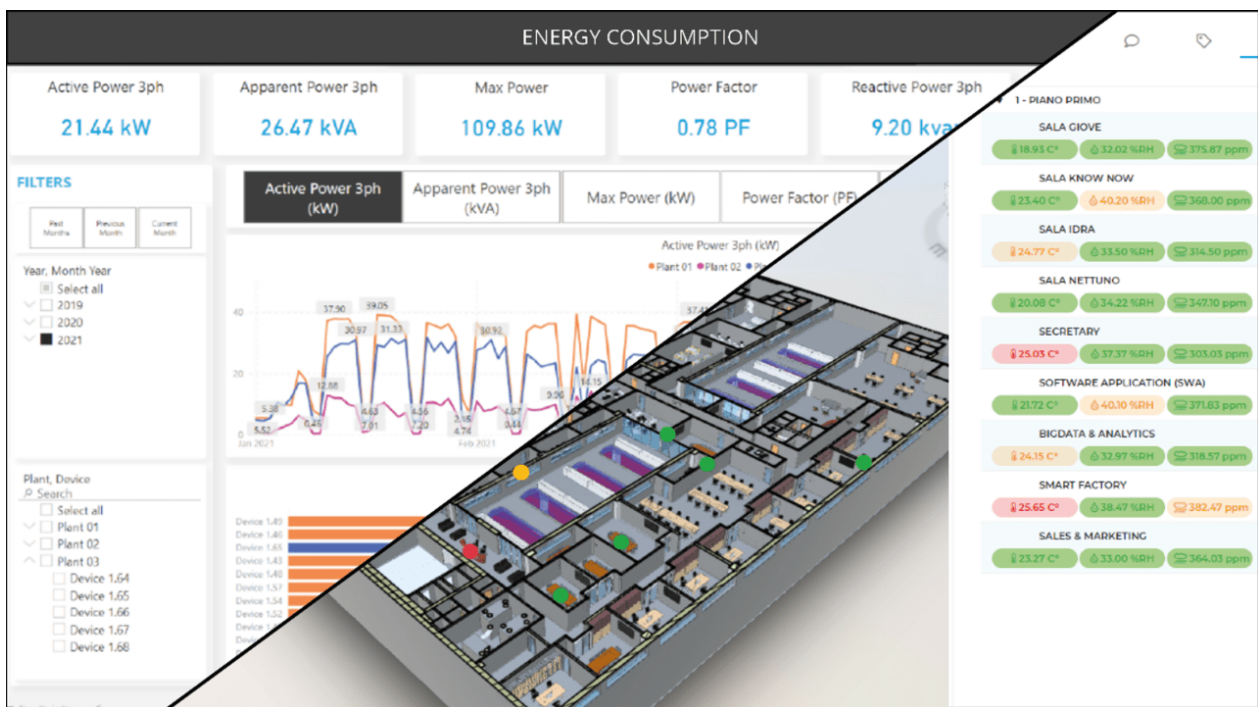
## SOLUZIONI DIGITALI PER LA QUALITA' E L'IMPATTO AMBIENTALE

*EKORE. Il gemello digitale per la gestione predittiva degli edifici.*

Soluzione di Integrated Management & Operations, EKORE<sup>6</sup> sviluppa la tecnologia del DT per ottimizzare la gestione degli edifici durante la fase di uso. La piattaforma viene offerta tramite un'infrastruttura SaaS totalmente web based, dotata di un sistema informativo sviluppato per garantire un approccio data-driven, utilizzando un processo decisionale basato sull'analisi e l'interpretazione dei dati raccolti sul campo. I dati raccolti in diversi formati (includendo, file Excel, CAD e documenti cartacei) vengono elaborati da algoritmi di Intelligenza Artificiale al fine di scaturire azioni migliorative all'interno dell'asset per ottimizzare la regolazione degli impianti, le modalità di manutenzione e per ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>.

La piattaforma fornisce una sorta di "cervello digitale" agli edifici integrando dati e modelli BIM 3D in una soluzione unica concepita per una gestione intelligente e centralizzata degli asset. L'approccio data-driven semplifica notevolmente l'attività consentendo ai gestori di prendere decisioni basate su dati reali e analisi approfondite.

In particolare il DT implementato da EKORE crea una stretta interconnessione tra asset reale e copia digitale dei dati geometrici, funzionali e comportamentali realizzando una soluzione in grado di elaborare modelli predittivi che, tramite algoritmi di machine learning, prevede i consumi, individua anomalie e, in automatico, regola gli impianti (ad esempio consente a un fan-coil di aprire un ticket di manutenzione in maniera autonoma).



<sup>5</sup> L'Italian PropTech Network (IPN) nasce dalla collaborazione tra il Real Estate Center del Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito (DABC) del Politecnico di Milano e Fondazione Politecnico di Milano dello stesso ateneo. IPN è un laboratorio spontaneo orientato allo studio del fenomeno PropTech che aggrega diverse soluzioni operanti nel mercato italiano e monitora l'andamento dell'ecosistema attraverso un approccio scientifico mirato allo studio sistemico del fenomeno stesso. IPN produce annualmente un report, l'Italian PropTech Monitor, che commenta l'evoluzione dell'ecosistema e rappresenta la mappatura delle soluzioni PropTech operanti in Italia.

<sup>6</sup> EKORE: <https://www.ekore.it/>



#### **OPPORTUNITA' PER LA SMART FACTORY**

L'introduzione di soluzioni basate sul DT, integrate con algoritmi di intelligenza artificiale, abilita azioni predittive e correttive finalizzate alla riduzione degli impatti ambientali dell'edificio e al miglioramento delle prestazioni operative attraverso l'analisi e la previsione dei consumi, il rilevamento delle anomalie e l'attivazione automatica di alcuni interventi che aprono la strada alle attività di manutenzione predittiva. L'interconnessione tra asset fisico e digitale consente una governance operativa fondata su analisi in tempo reale e automazione decisionale.

*iCOMFORT. Processo decisionale basato sull'integrazione di diversi dati.*

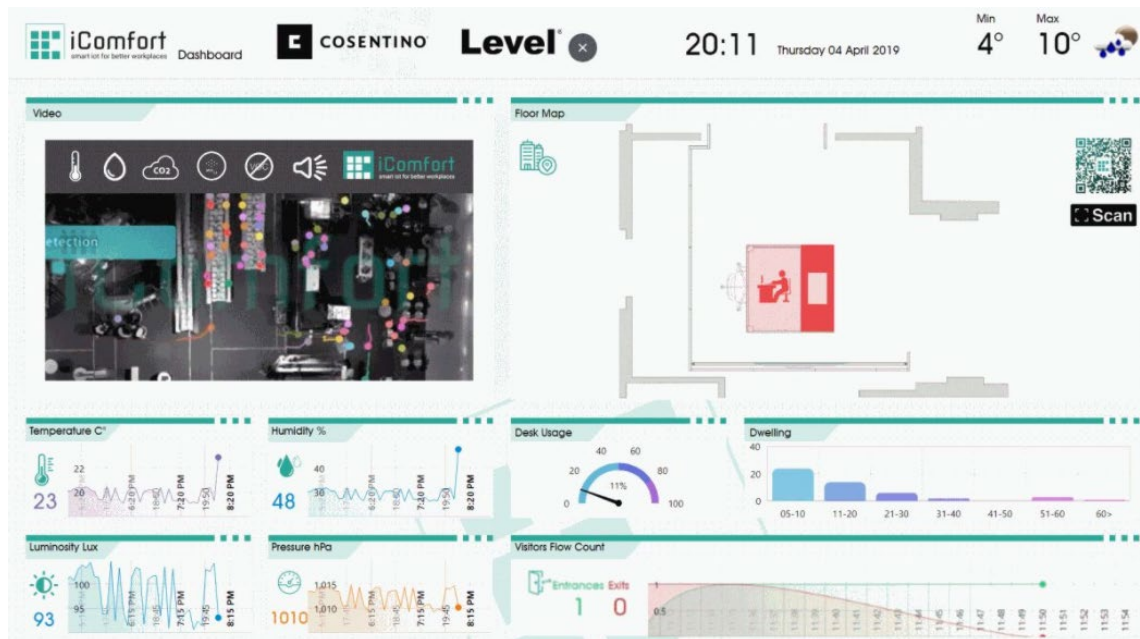
Soluzione di Integrated Management & Operations, iCOMFORT<sup>7</sup> permette una gestione efficiente dell'edificio in termini di facility management attraverso il controllo delle condizioni ambientali interne e l'occupazione degli spazi. Integrando nell'edificio diverse tipologie di sensori questa soluzione riesce a creare un network di IoT che raccoglie una numerosa quantità di dati estremamente diversificati. I dati vengono aggregati e utilizzati per elaborare con l'utilizzo del machine learning analisi storiche e previsionali che aiutano le aziende a prendere decisioni gestionali strategiche.

Agendo come "sensor agnostic" il sistema favorisce l'integrazione di diversi dati che possono essere raccolti da diversi sistemi e/o generati attraverso BMS già presenti negli edifici. Le informazioni generate attraverso l'analisi dei dati possono essere riportate non solo al gestore dell'edificio ma anche all'utente finale, in real time, via digital signage, web app o altri oggetti connessi alla piattaforma di analisi. Questo approccio permette di massimizzare la user experience degli occupanti dell'edificio da un lato generando sempre più informazioni rispetto al benessere degli occupanti ed alimentando l'accuratezza dell'analisi della piattaforma, dall'altro favorendo la consapevolezza degli stessi utenti in merito ai proprio impatti.

La suite di raccolta dei dati in real time punta al concetto di "smart, hybrid & healthy space" favorendo il miglioramento del benessere e della sicurezza delle persone e, in generale, della sostenibilità degli spazi interni. Questa suite si compone di diversi moduli che possono monitorare diversi parametri tra cui Composti Organici Volatili, Ammoniaca, Monossido di carbonio, Biossido di azoto, Ozono, Anidride carbonica, PM 10 – PM 2.5, Intensità dell'illuminazione, Esposizione al rumore (decibel), Temperatura, Umidità, Pressione atmosferica, Altitudine e UV index sensor. Queste informazioni vengono utilizzate per produrre report periodici e possono essere condivise automaticamente e periodicamente con i diversi enti di certificazione, tra cui WELL e LEED, per la valutazione delle performance di sostenibilità dell'edificio. Infine la soluzione consente di definire soglie di allarme personalizzate e di ricevere notifiche istantanee quando si verificano superamenti.

---

<sup>7</sup> iComfort: <https://www.icomfort.it/>



#### OPPORTUNITA' PER LA SMART FACTORY

L'introduzione di soluzioni che raccolgono e analizzano diverse moli di dati è una opportunità strategica per le SF poiché possono implementare un modello evoluto di facility management intelligente, basato sul benessere, sulla sostenibilità e sulla sicurezza degli ambienti interni. Inoltre l'architettura modulare e configurabile di questo tipo di soluzioni permette di definire soglie personalizzate che attivano notifiche automatiche garantendo una gestione proattiva e adattiva degli ambienti. Questo è un aspetto di notevole rilevanza proprio per degli ambienti complessi come i capannoni produttivi.

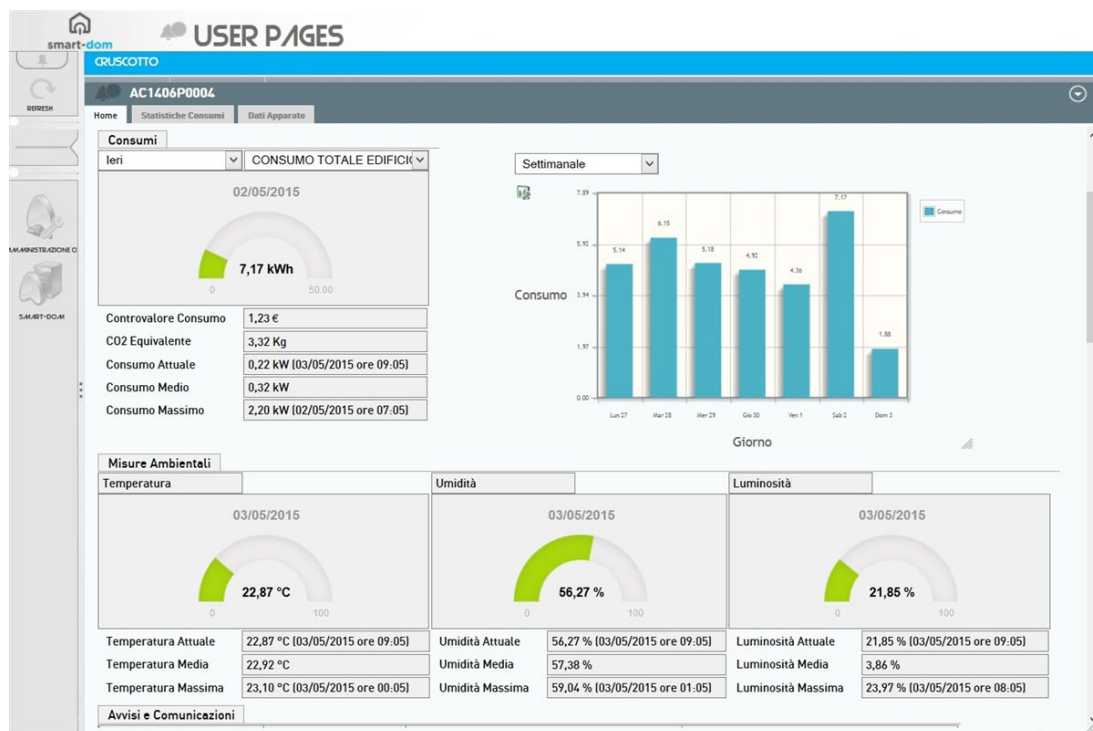
*SMART DOMOTICS. Il controllo delle performance energetiche per la creazione di comunità.*

Soluzione di Smart & Sustainable building, SMART DOMOTICS<sup>8</sup> ha l'obiettivo di combinare il comfort dell'ambiente interno con la massimizzazione delle performance energetiche. Attraverso l'integrazione nell'ambiente interno di apparecchi elettronici, il software propone modelli di ottimizzazione all'utente finale analizzando i consumi e monitorando il comportamento degli occupanti.

In particolare le dashboard che il sistema produce riportano dati che rappresentano i consumi reali e simulazioni di risparmio in merito a elettricità, riscaldamento, illuminazione e fonti rinnovabili, umidità, temperatura e luminosità. I dati dei consumi vengono archiviati e possono essere analizzati in modo molto intuitivo per comprendere facilmente dove risparmiare e quali interventi apportare per incrementare l'efficienza energetica.

SMART DOMOTICS offre quattro diversi prodotti: smart-dom; smart-dom Pro; smart-dom Pro Medium; smart-dom Pro XL. L'ultimo prodotto, il più recente, è scalabile per edifici o patrimoni immobiliari e prevede installazioni plug&play in grado di scambiare energia tra dispositivi (ad esempio tra sottoquadri elettrici nel caso di blackout). Questa applicazione sta progressivamente collaborando a progetti finalizzati all'attuazione su ampia scala delle 'Comunità Energetiche Rinnovabili'.

<sup>8</sup> SMART DOMOTICS: <https://www.smartdomotics.it/>



## OPPORTUNITA' PER LA SMART FACTORY

I sistemi che integrano un approccio data-driven adattivo basato sull'installazione di dispositivi elettronici intelligenti e dashboard di analisi permetterebbe alle SF di monitorare in tempo reale diversi parametri di ottimizzazione delle performance energetiche dell'edificio. In particolare soluzioni di questo tipo aprirebbero la possibilità per le SF di integrarsi in Comunità Energetiche Rinnovabili e, quindi, di evolvere verso un modello intelligente, resiliente e sostenibile in linea con le direttive europee in materia di decarbonizzazione.

### *GreenPass. La valutazione dei rischi ambientali.*

Soluzione di Design & Consulting, GREENPASS<sup>9</sup> permette di cogliere sia aspetti di progettazione alla scala urbana, sia questioni che attengono all'impatto e ai riverberi sul progetto di componenti esogene o di contesto fisico, per esempio più legate alla localizzazione del sito e all'ambiente.

GREENPASS è uno strumento che aiuta ad analizzare la resilienza degli edifici ai cambiamenti climatici simulando il progetto e l'implementazione di principi di Nature-Based Solutions (NBS) e intercettando criticità come l'effetto isola di calore, l'inquinamento atmosferico e le alluvioni. Supporta, quindi, il processo di pianificazione urbana tenendo conto di queste problematiche, del loro impatto sull'uomo, sugli edifici e sull'intero ambiente urbano per città clima-resilienti.

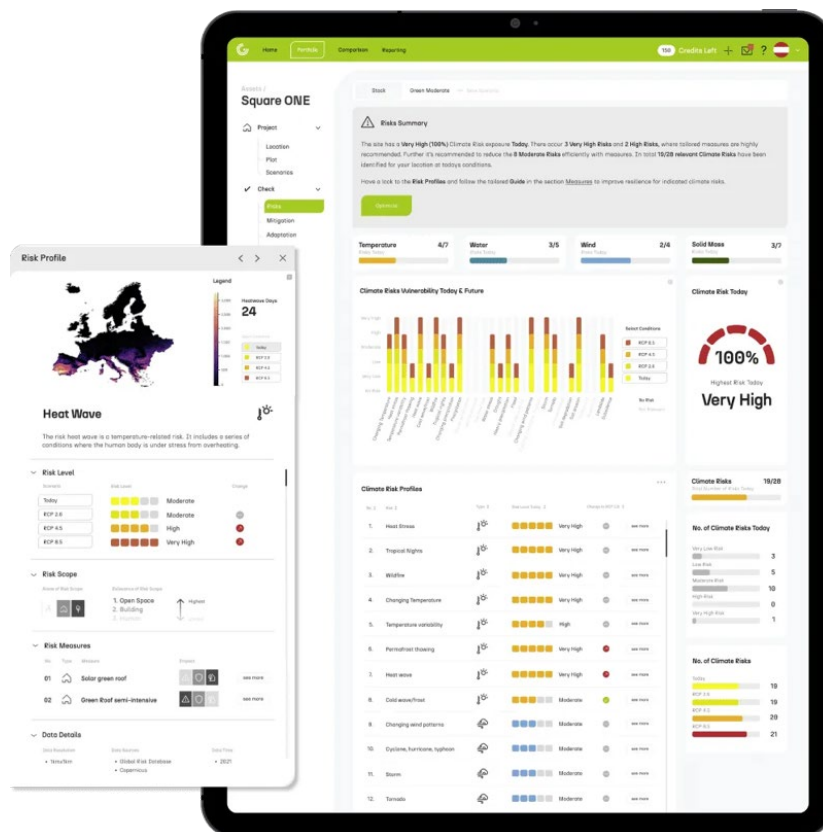
GREENPASS usa come motore di calcolo uno tra i software più conosciuti nel campo delle simulazioni microclimatiche (ENVI-met) e permette di lavorare da desktop senza la necessità di dovere installare applicativi o software. Questo software supporta l'importazione di file formato CAD e GIS e permette diverse tipologie di analisi:

- Rischi Climatici: analizza le condizioni attuali e future, secondo la tassonomia UE, considerando 28 parametri (Rischi Climatici Fisici);
- Mitigazione Climatica: fornisce indicazioni puntuali per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> e dei dispendi energetici abbinando i relativi costi;

<sup>9</sup> GreenPass: <https://www.r2msolution.com/it/services/prodotti-innovativi/greenpass-2/>

- **Adattamento Climatico:** fornisce indicazioni puntuali in merito al grado di resilienza degli immobili (progetto) riferite a quattro sfide urbane quali clima, acqua, aria e biodiversità;
- **Costi e Raccomandazioni:** fornisce, al termine dell'analisi, alcune proposte di intervento personalizzate per mitigare i rischi identificati e massimizzare il valore degli immobili (progetto).

GREENPASS può essere applicato a diverse fasi del processo progettuale, dalla fase preliminare di pianificazione a quella di valutazione, ottimizzazione e certificazione del progetto. Attraverso l'utilizzo degli strumenti analitici la soluzione fornisce anche risultati quantitativi misurabili per la rendicontazione ESG.



## OPPORTUNITA' PER LA SMART FACTORY

L'introduzione di soluzioni di analisi dei rischi climatici e valutazione di resilienza rappresentano l'opportunità strategica di coniugare innovazione industriale e resilienza climatica per le SF. Ampliando la visione progettuale oltre al perimetro dell'edificio queste soluzioni permettono di ragionare a livello sistemico incorporando l'interazione con l'ambiente esterno e urbano. Quindi, applicata a una SF, una soluzione di questo tipo consente di analizzare l'impatto fisico dell'insediamento produttivo in relazione a criticità ambientali come effetto isola di calore, alluvioni, qualità dell'aria e rischi climatici.

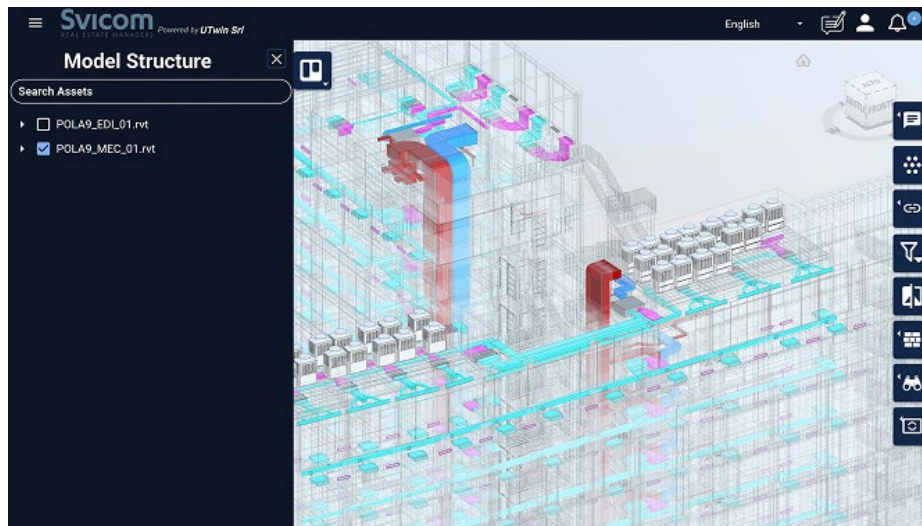
*UTwin. Il real time come supporto decisionale nella fase di gestione.*

Soluzione di Integrated Management & Operations, UTwin<sup>10</sup> sviluppa e gestisce i DT per infrastrutture complesse come gli edifici e i capannoni industriali. La soluzione si costruisce su un'architettura cloud-native interoperabile, che integra modelli 3D, dati real-time da sensori IoT, sistemi informativi preesistenti come i BMS e fonti esterne, come i dati climatici o la mobilità urbana, per abilitare una rappresentazione dinamica e coerente dell'ambiente costruito fisico in gestione.

<sup>10</sup> UTwin: <https://www.utwin.it/it/home>

UTwin consente di monitorare, simulare e ottimizzare in tempo reale le prestazioni dell'ambiente costruito offrendo funzionalità avanzate di analisi predittiva, manutenzione intelligente e supporto decisionale data-driven. L'interfaccia utente, accessibile via web, permette la fruizione intuitiva di modelli digitali, dashboard analitiche e scenari simulativi anche in modalità collaborativa.

Il DT sviluppato e continuamente aggiornato può supportare tutte le fasi del ciclo di vita dell'asset: dalla progettazione, alla gestione, fino alla dismissione favorendo l'efficienza energetica, la resilienza climatica e la tracciabilità delle performance ESG.



#### OPPORTUNITA' PER LA SMART FACTORY

L'introduzione di soluzioni di DT offrono l'opportunità di ottimizzare l'efficienza operativa e la sostenibilità ambientale di tutto il ciclo di vita del capannone produttivo. In particolare, tali soluzioni tecnologiche digitali permettono di sviluppare processi di manutenzione predittiva che riducono il fermo impianti e rilevano anomalie o prevedono guasti prima che si verifichino. L'aggregazione e l'analisi integrata di dati derivanti da più fonti e integrati all'interno di un DT permette di prendere decisioni informate, basate su KPI aggiornati e su simulazioni previsionali del comportamento della SF. Questo favorisce la gestione integrata del ciclo di vita del capannone industriale che, attraverso l'aggiornamento continuo del modello digitale, permette la centralizzazione in un'unica piattaforma di tutte le informazioni dell'asset fisico che si generano nel tempo.

## SOLUZIONI DIGITALI PER LA PROGETTAZIONE DELLA FABBRICA DEL FUTURO

### *HUBIQUE. Ambienti virtuali per simulare le prestazioni degli edifici*

Soluzione di Immersive Visualization & Experience, HUBIQUE<sup>11</sup> è specializzata nella realizzazione di un'esperienza digitale avanzata che adotta diverse tecnologie digitali, tra cui l'Intelligenza Artificiale e soluzioni di realtà aumentata per creare spazi virtuali. Questa soluzione viene utilizzata da diversi operatori che spaziano dalle agenzie immobiliari, che vogliono creare percorsi virtuali degli immobili che hanno in vendita per attirare nuovi clienti, a sviluppatori, progettisti e altri operatori del real estate con l'obiettivo di rappresentare in modalità virtuale spazi reali da progettare o riqualificare.

Tramite un software dotato di intelligenza artificiale le foto degli interni (VR 360°) diventano ambienti virtuali realistici e "aumentati" che possono rilasciare informazioni puntuali di natura tecnica (ad esempio l'applicazione è in grado di valutare se nell'abitazione sono stati eseguiti lavori di muratura con l'eliminazione di pareti divisorie). Queste esperienze permettono di meglio interagire con tutti gli stakeholder interessati che

<sup>11</sup> HUBIQUE: <https://www.hubique.it/>



possano navigare virtualmente all'interno degli ambienti e apportare modifiche per comprenderne gli effetti, incluso l'ottimizzazione della riconfigurazione degli spazi.



#### **OPPORTUNITA' PER LA SMART FACTORY**

L'introduzione di soluzioni di realtà aumentata e virtuale permetterebbe di ottimizzare la fase di pianificazione e progettazione e/o riqualificazione delle SF permettendo ai diversi operatori di collaborare in un ambiente virtuale per la realizzazione e il confronto di diverse simulazioni. Queste tecnologie, infatti, permettono di visualizzare in tempo reale dati e istruzioni direttamente nell'ambiente fisico o di simulare scenari operativi complessi in ambienti immersivi riducendo errori, tempi e costi legati alle modifiche. Inoltre possono supportare la progettazione e la gestione dell'edificio favorendo una manutenzione più efficace e una maggiore sicurezza.

*CODERBLOCK. Sviluppo di un metaverso industriale di supply chain e ambiente costruito.*

Soluzione di Virtual Built Environment, CODERBLOCK<sup>12</sup> è una soluzione che crea un'esperienza immersiva su misura, dando vita a una realtà virtuale personalizzabile, e utilizza i principi della gamification per perseguire gli obiettivi del cliente con notevole flessibilità.

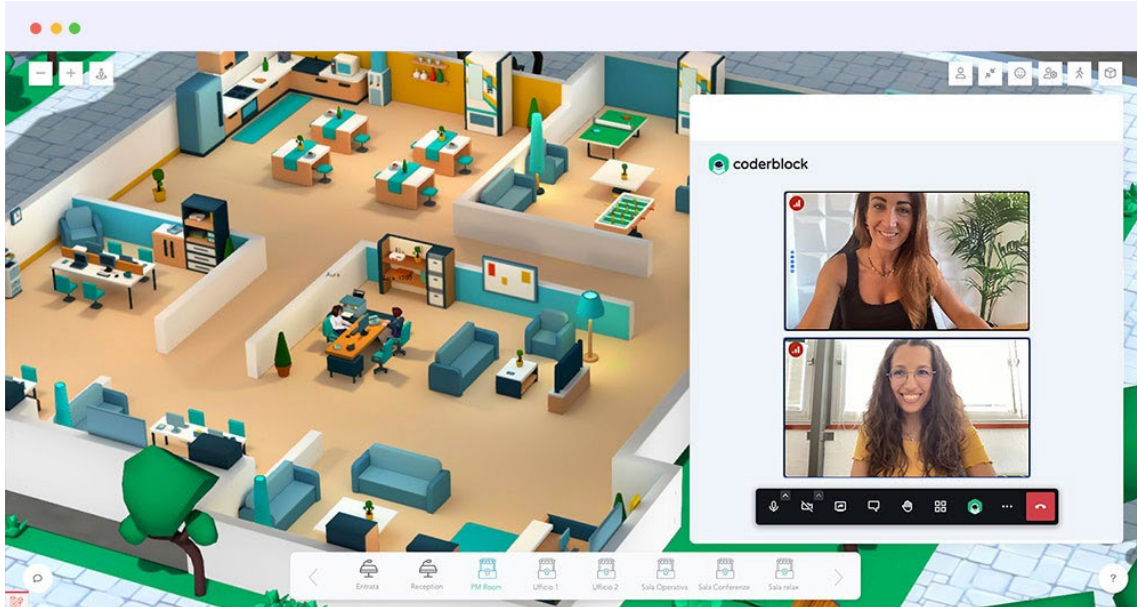
Tramite CODERBLOCK è possibile creare delle esperienze virtuali in ambienti realmente esistenti attraverso un DT altamente realistico che permette al fruitore di esplorare e interagire con la dimensione virtuale in maniera fluida e coinvolgente, ad esempio interrogando gli elementi e oggetti presenti nello spazio, spostandoli e alterando alcune condizioni ambientali (es. illuminazione, colore, allestimento e altro).

Inoltre è possibile realizzare da zero un ambiente virtuale e totalmente indipendente dall'esistenza di uno spazio fisico dove possono avvenire attività, eventi e altri tipi di interazioni tra utenti. In questo caso CODERBLOCK può essere utilizzato per creare DT degli ambienti produttivi consentendo simulazioni in tempo reale di processi industriali, layout di stabilimento, flussi logistici e scenari di manutenzione predittiva.

<sup>12</sup> CODERBLOCK: <https://www.coderblock.com/>



Questo favorisce la sperimentazione virtuale di soluzioni prima della loro implementazione nel mondo fisico riducendo tempi e costi di implementazione e ottimizzando la scelta della soluzione che meglio supporta le esigenze degli occupanti.



#### **OPPORTUNITA' PER LA SMART FACTORY**

Le soluzioni che sviluppano ambienti virtuali nel metaverso rappresentano una frontiera innovativa per le SF. Infatti queste tecnologie digitali possono accelerare la trasformazione delle SF in ecosistemi digitali immersivi che ottimizzano la collaborazione tra i diversi utenti, la sicurezza, l'efficienza nella gestione degli ambienti e nella progettazione e/o riprogettazione degli spazi e la sostenibilità del capannone produttivo. Inoltre l'integrazione dei dati operativi e sensoriali in ambienti virtuali nel metaverso permetterebbe la navigazione immersiva dei KPI che migliorerebbe la comprensione delle informazioni critiche e il processo decisionale di gestione delle SF.

## Conclusioni

L'evoluzione dei capannoni produttivi riflette una ricerca continua di efficienza, funzionalità, sostenibilità e adattabilità per rispondere ai bisogni in continuo cambiamento dell'industria e della società.

I nuovi edifici industriali sono dei veri consumatori di energia. Da una parte gli impianti utilizzati per produrre oppure per stoccare i beni comportano un elevato dispendio energetico, dall'altra le dimensioni dell'edificio, gli impianti di riscaldamento e raffrescamento, i sistemi tecnologici utilizzati in fase di costruzione, se opportunamente progettati, modificano le prestazioni energetiche e possono rendere l'edificio meno energivoro. Il consumo di energia non è l'unico impatto da considerare quando si vogliono incorporare i principi di sostenibilità nei capannoni produttivi. Infatti tali edifici sono responsabili di emissioni di gas serra per via non solo dei processi produttivi condotti al loro interno ma anche per il riscaldamento e il raffrescamento degli spazi e per il funzionamento del contenitore edilizio nel suo complesso.

Con queste considerazioni, quindi, i capannoni produttivi per abbracciare i principi di sostenibilità si devono trasformare non solo immaginando di integrare soluzioni innovative e di architettura verde nella fase di costruzione o riqualificazione ma attraverso il continuo monitoraggio della qualità dell'ambiente interno che deve sapersi allineare sempre alle esigenze degli occupanti. Un capannone produttivo sostenibile è un ecosistema che integra infrastrutture, strumentazioni, macchinari produttivi e persone garantendo la salubrità dell'edificio e l'efficienza nell'utilizzo delle risorse. Ecco perché è fondamentale fare uso della tecnologia digitale per garantire il continuo monitoraggio delle prestazioni di sostenibilità (ambientale, sociale, economica e di governance) per tutto il ciclo di vita dei capannoni produttivi trasformandoli in vere e proprie Fabbriche Intelligenti.

Il presente report evidenzia come il tema della sostenibilità del patrimonio edilizio industriale non possa più essere considerato un'opzione, bensì una leva strategica imprescindibile per garantire la competitività, la resilienza e la conformità normativa degli stabilimenti produttivi. Ciò implica la necessità di superare una gestione meramente manutentiva degli asset edilizi per abbracciare una visione proattiva e integrata, in cui il fabbricato non è solo un contenitore funzionale ma un **driver di efficientamento energetico, risparmio operativo e innovazione tecnologica**. In particolare dalla ricerca emergono alcuni messaggi chiave per l'attività professionale:

- La **progressiva evoluzione normativa**, sia europea (EPBD IV, Green Deal, Fit for 55) sia nazionale (PNIEC, CAM, D.Lgs. 48/2020), comporta **obblighi crescenti di prestazione energetica** per gli edifici non residenziali: pianificare fin da ora interventi di riqualificazione consente di evitare adeguamenti emergenziali e cogliere incentivi ancora disponibili.
- Le **soluzioni smart** per l'automazione, il monitoraggio in tempo reale dei consumi e la gestione predittiva degli impianti offrono non solo benefici ambientali ma **riduzioni significative dei costi operativi** e una migliore governance del ciclo di vita dell'edificio.
- Gli **interventi su involucro e impiantistica** - anche in capannoni non climatizzati - rappresentano opportunità concrete per migliorare il comfort interno, ridurre i consumi e aumentare il valore patrimoniale degli immobili.
- La sostenibilità edilizia deve essere integrata nei **piani strategici di gestione degli asset**, anche con il supporto di **certificazioni ambientali** e strumenti di valutazione come il Life Cycle Assessment (LCA), utili per comunicare il valore dell'investimento a stakeholder interni ed esterni.
- I **casi studio analizzati** (Ford, BMW, Ferrari, Schneider e Zambon) dimostrano che la sostenibilità applicata agli stabilimenti industriali è già una realtà concreta, tecnicamente fattibile e anche economicamente vantaggiosa, se guidata da una strategia integrata.

In prospettiva sarà fondamentale un **coordinamento strategico della transizione green e digitale degli edifici industriali** dotandosi di strumenti di analisi, competenze trasversali e modelli operativi capaci di coniugare performance economiche, compliance normativa e impatti ambientali positivi.



## BIBLIOGRAFIA

- Abrahamson, E., Bendersky, C., & Clark, S. D. (2013). Perspectives on innovation processes. In P. M. Podsakoff, N. P. Podsakoff, & D. C. Bachrach (Eds.), *The Oxford Handbook of Innovation Management* (pp. 17–47). Oxford University Press.
- Aste, N., Del Pero, C., & Leonforte, F. (2024). Direttiva case green: Chi paga? O meglio, come si fa? *Ingenio Web*. <https://www.ingenio-web.it/articoli/direttiva-case-green-chi-paga-o-meglio-come-si-fa/>
- Azhar, S., Carlton, W. A., Olsen, D., & Ahmad, I. (2011). Building information modeling for sustainable design and LEED® rating analysis. *Automation in Construction*, 20, 217–224.
- Bashir, S. (2024, 11 luglio). Industrial metaverse: A step towards smart factory. *Industry Insider*. <https://industryinsiderbd.com/industrial-metaverse-a-step-towards-smart-factory/>
- Boonbrahm, S., Boonbrahm, P., & Kaewrat, C. (2020). The use of marker-based augmented reality in space measurement. *International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing (ISM 2019)*, 42, 337–343.
- Buckman, M., Mayfield, & Beck, S. B. (2014). What is a smart building? *Smart and Sustainable Built Environment*, 3(2), 92–109.
- Chen, Y., Huang, D., Lu, Z., Osmani, M., & Demian, P. (2022). Construction 4.0, Industry 4.0, and Building Information Modeling (BIM) for sustainable building development within the smart city. *Sustainability*, 14(16).
- Çiner, F., & Dogan-Saglamtimur, N. (2019). Environmental and sustainable aspects of green building: A review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Coykendall, J., Hardin, K., & Morehouse, J. (2025). 2025 manufacturing industry outlook. *Deloitte*. [https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/manufacturing/manufacturing-industry-outlook.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/manufacturing/manufacturing-industry-outlook.html?utm_source=chatgpt.com)
- Commissione Europea. (2022). Digital transition. [https://reform-support.ec.europa.eu/what-we-do/digital-transition\\_en](https://reform-support.ec.europa.eu/what-we-do/digital-transition_en)
- Consoli, F., Allen, D. T., Boustead, I., Fava, J., Franklin, W., Jensen, A. A., ... & Traverso, M. (1993). *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A "Code of Practice"* (SETAC Special Publication). Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC).
- Delsante, A., Rognoli, R., & Alaimo, G. (2021). Designing smart buildings for Industry 4.0: The role of architecture and sustainability. *TECHNE – Journal of Technology for Architecture and Environment*, 22, 103–111. <https://doi.org/10.36253/techne-11802>
- Doan, D. T., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Zhang, T., Ghaffarianhoseini, A., & Tookey, J. (2017). A critical comparison of green building rating systems. *Building and Environment*, 123, 243–260.
- Dwaikat, L. N., & Ali, K. N. (2018). The economic benefits of a green building – Evidence from Malaysia. *Journal of Building Engineering*, 18, 448–453.
- Forcael, E., Ferrari, I., Opazo-Vega, Á., et al. (2020). Construction 4.0: A literature review. *Sustainability*, 12(22), 9755. <https://doi.org/10.3390/su12229755>
- Frigli, V. (2023). Expanding the wave of smartness: Smart buildings, another frontier of the digital revolution. In *Technological Imagination in the Green and Digital Transition*. Springer, Cham.
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: A strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(6), 910–936.
- Goubran, S. (2019). On the role of construction in achieving the SDGs. *Journal of Sustainability Research*, 1, e190020. <https://doi.org/10.20900/jsr20190020>



- Hofmann, E., & Rüscher, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- Ikundayisi, A. E., Chan, A. P. C., Darko, A., & Adedeji, Y. M. D. (2023, 15 agosto). Integrated practices in the Architecture, Engineering, and Construction industry: Current scope and pathway towards Industry 5.0. *Journal of Building Engineering*, 73, 106788. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106788>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 [Final report]. acatech – National Academy of Science and Engineering.
- Khalaj, O., Jamshidi, M., Hassas, P., et al. (2022). Metaverse and AI digital twinning of 42SiCr steel alloys. *Mathematics*, 11(1), 4.
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihn, W. (2018). Digital twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1016–1022.
- Li, B., Hou, B., Yu, W., Lu, X., & Yang, C. (2020). Applications of artificial intelligence in intelligent manufacturing: A review. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 21, 86–96. <https://doi.org/10.1631/FITEE.1900321>
- Li, H., Liu, Z., & Hachard, V. (2024). Digital transformation driving green innovation: Evidence from Chinese A-share firms. *International Review of Economics & Finance*, 95.
- Maddikunta, P. K. R., Pham, Q.-V., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., Ruby, R., & Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100257. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>
- Mourtzis, D. (2020). Simulation in the design and operation of digital manufacturing systems: Recent developments and outlook. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(5), 403–434. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2020.1734531>
- Mourouzi-Sivitanidou, R. (2020). *Market analysis for real estate*. Routledge.
- Negri, E., Fumagalli, L., & Macchi, M. (2017). A review of the roles of Digital Twin in CPS-based production systems. *Procedia Manufacturing*, 11, 939–948. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.198>
- Ren, L., Dong, J., Zhang, L., Laili, Y., Wang, X., Qi, Y., & Bo, Z. (2024). Industrial metaverse for smart manufacturing: Model, architecture, and applications. *IEEE Transactions on Cybernetics*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2024.3372591>
- Reisinger, J., Hollinsky, P., & Kovacic, I. (2021). Design guideline for flexible industrial buildings integrating Industry 4.0 parameters. *Sustainability*, 13(1).
- Ruggiero, G. (2021, 2 novembre). L'algoritmo che svela la velocità di cambiamento delle tecnologie: come funziona e a cosa serve. *Agenda Digitale*. <https://www.agendadigitale.eu/cultura-digitale/lalgoritmo-che-svela-la-velocita-di-cambiamento-delle-tecnologie-come-funziona-e-a-cosa-serve/>
- Sadiku, M. N., Ashaolu, T. J., Ajayi-Majebi, A., & Musa, S. M. (2021). Smart factory: A primer. *International Journal of Scientific Advances*, 2(1).
- San-José Lombera, J.-T., & Garrucho Aprea, I. (2010). A system approach to the environmental analysis of industrial buildings. *Building and Environment*, 45(3), 673–683.
- Sonnemann, G., Schuhmacher, M., & Castells, F. (2003). Uncertainty assessment by a Monte Carlo simulation in a life cycle inventory of electricity produced by a waste incinerator. *Journal of Cleaner Production*, 11(3), 279–292.
- Statista. (2024). E-commerce worldwide: Trends and logistics market growth. <https://www.statista.com/statistics/1286887/e-commerce-logistics-market-size-worldwide/>



- Tagliaro, C., Pomè, A. P., Ciaramella, A., & Bellintani, S. (2025). *PROPerTy TEChnology – Insights from the joint research partnership*. Springer Nature Switzerland.
- Talarico, A. (2024). Manutenzione predittiva: come il machine learning previene i fermi macchina. *Network360*. <https://www.agendadigitale.eu/industry-4-0/manutenzione-p>
- Tao, F., Zhang, H., Liu, A., & Nee, A. (2019). Digital twin in industry: State-of-the-art. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), 2405–2415.
- Yu, S. M., & Tu, Y. (2011). Are green buildings worth more because they cost more? NUS Institute of Real Estate Studies. (Working paper)
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>
- Werner, H., Ribeiro, G., Arcoverde, V., Lopes, J., & Velho, L. (2022). The use of metaverse in fetal medicine and gynecology. *European Journal of Radiology*, 15. (maggio 2022)
- Woerdman, E., Roggenkamp, M., & Holwerda, M. (2021). *Essential EU climate law*. Edward Elgar Publishing Inc.
- Zouaghi, L. M. (2019). Augmented reality (AR) and virtual reality (VR): The future of interactive vocational education and training for people with handicap. *International Journal of Teaching, Education and Learning*, 3(1), 118–129.
- Zuehlke, D. (2018). The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 848–861. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>

## ALLEGATI

### Agenda 2030 e gli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile

Nel dicembre 2015 la COP21 tenutasi a Parigi si concluse con un accordo globale definito Agenda 2030. Il discorso riportato al tavolo durante la conferenza di Parigi ha cambiato il consueto focus che avevano avuto le COP precedenti. In particolare a Parigi la discussione ha guardato alla possibilità di limitare il cambiamento climatico e di creare dei benefici economici, sociali e di salute per la popolazione.

Il nuovo focus dell'accordo emerge da due punti principali. Nella parte introduttiva vengono utilizzate frasi che suggeriscono che è il tempo dell'azione, come "l'urgente problema del cambiamento climatico" oppure l'"accesso ugualitario allo sviluppo sostenibile e sradicamento della povertà". In più l'accordo prevede obiettivi specifici che definiscono dei target da raggiungere in un periodo prestabilito.

L'Agenda 2030, quindi, risulta come un vero e proprio piano d'azione che definisce **17 Obiettivi di sviluppo sostenibile** (Sustainable Development Goals - SDG) e **169 target** specifici che coprono un'ampia gamma di questioni sociali, economiche e ambientali con l'obiettivo di promuovere la prosperità proteggendo il pianeta. Questo programma d'azione si basa su **tre principi chiave: universalità, integrazione e inclusività**.

Gli SDG si applicano a tutti i 193 Paesi indipendentemente dal loro livello di sviluppo economico in quanto si applica il principio che nessuno dovrebbe essere lasciato indietro. Infatti l'Agenda si impegna a ridurre le disuguaglianze e garantire pari opportunità per tutti. Gli SDG sono interconnessi e richiedono un approccio e una mentalità integrati per il loro raggiungimento. Questo Piano rappresenta una delle prime grandi sfide globali mai affrontate concentrandosi su un'azione coordinata a livello internazionale.

L'Agenda 2030 declina gli obiettivi di sviluppo sostenibile in **tre dimensioni di sostenibilità**.

1. La dimensione **ambientale** si concentra sulla protezione della biodiversità, sull'uso delle risorse naturali in modo responsabile e sulla lotta, di conseguenza, contro il cambiamento climatico.
2. Quella **sociale** si propone di fornire accesso a tutta la società umana ad una serie di servizi considerati primari e fondamentali come l'istruzione, la sicurezza e la salute.
3. Infine la dimensione **economica** si concentra sulla crescita sostenibile e innovativa della società globale e della sua economia.

Rappresentando un piano ambizioso gli obiettivi pongono dei target che tutti i settori devono riuscire a raggiungere.

Il settore delle costruzioni, per esempio, è strettamente connesso allo sviluppo sostenibile e a diversi SDG (Tabella 2).

A differenza dei loro predecessori (Millennium Development Goals - MDGs), gli SDG presentano una visione più dettagliata e realistica della traiettoria che bisogna compiere per raggiungere il target di sviluppo sostenibile.

#### I Millennium Development Goals – MDGs

Gli MDGs erano stati lanciati nel 2000 dalle Nazioni Unite con l'obiettivo di ridurre la povertà e garantire un'istruzione primaria universale e si concretizzavano in otto goal: (i) Eradicare la povertà estrema e la fame; (ii) Garantire l'istruzione primaria universale; (iii) Promuovere l'uguaglianza di genere e l'empowerment delle donne; (iv) Ridurre la mortalità infantile; (v) Migliorare la salute materna; (vi) Combattere l'HIV/AIDS, la malaria e altre malattie; (vii) Assicurare la sostenibilità ambientale; (viii) Sviluppare un partenariato globale per lo sviluppo. Il principale beneficio portato alla comunità internazionale è stata l'indiscutibile chiarezza del background teorico che ha caratterizzato la loro concezione e ha posto le basi per una loro revisione 15 anni dopo.

Tabella 2. I Sustainable Development Goal – SDG. Fonte: United Nations, <https://sdgs.un.org/goals>

SDG	Goal	Descrizione
SDG 1	Sconfiggere la povertà	Eliminare la povertà in tutte le sue forme nel mondo
SDG 2	Sconfiggere la fame	Porre fine alla fame, garantire la sicurezza alimentare e promuovere un'agricoltura sostenibile
SDG 3	Salute e benessere	Assicurare una vita sana e promuovere il benessere per tutti a tutte le età
SDG 4	Istruzione di qualità	Garantire un'istruzione inclusiva, equa e di qualità, promuovendo opportunità di apprendimento per tutti
SDG 5	Parità di genere	Raggiungere l'uguaglianza di genere e l'empowerment di tutte le donne e le ragazze
SDG 6	Acqua pulita e servizi igienico-sanitari	Garantire la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e dei servizi igienico-sanitari per tutti
SDG 7	Energia pulita e accessibile	Assicurare l'accesso a sistemi di energia affidabili, sostenibili e resilienti
SDG 8	Lavoro dignitoso e crescita economica	Promuovere una crescita economica sostenibile, inclusiva e duratura e il lavoro dignitoso per tutti
SDG 9	Imprese, innovazione e infrastrutture	Costruire infrastrutture resilienti, promuovere l'industrializzazione inclusiva e sostenibile e favorire l'innovazione
SDG 10	Ridurre le disuguaglianze	Ridurre le disuguaglianze all'interno e tra i Paesi
SDG 11	Città e comunità sostenibili	Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, resilienti e sostenibili
SDG 12	Consumo e produzione responsabili	Garantire modelli sostenibili di produzione e consumo
SDG 13	Lotta contro il cambiamento climatico	Adottare misure urgenti per combattere il cambiamento climatico e i suoi impatti
SDG 14	Vita sott'acqua	Conservare e utilizzare in modo sostenibile gli oceani, i mari e le risorse marine
SDG 15	Vita sulla Terra	Proteggere, ripristinare e favorire l'uso sostenibile degli ecosistemi terrestri, gestire le foreste in modo sostenibile, contrastare la desertificazione e arrestare la perdita di biodiversità
SDG 16	Pace, giustizia e istituzioni solide	Promuovere società pacifiche e inclusive, garantire l'accesso alla giustizia e costruire istituzioni efficaci, responsabili e inclusive
SDG 17	Partnership per gli obiettivi	Rafforzare i mezzi di attuazione e rivitalizzare il partenariato globale per lo sviluppo sostenibile

Gli MDGs rappresentavano la sintesi della nuova idea di sviluppo umano che era stata concettualizzata all'inizio degli anni '90, in cui al centro dello sviluppo venivano poste proprio le persone rispetto all'enfasi precedentemente posta sulla crescita economica con scarsa attenzione agli aspetti sociali.

La revisione del 2015 ha permesso di concettualizzare degli obiettivi di sviluppo sostenibile più completi che sapessero integrare i tre aspetti della sostenibilità. Questi sono anche più ambiziosi e propongono un approccio più integrato nel rispondere alle esigenze dei sistemi sia umani che naturali, offrendo una maggiore copertura e un migliore equilibrio tra le dimensioni economica, sociale e ambientale dello sviluppo sostenibile.

Gli obiettivi dell'Agenda 2030 segnano una chiara rottura con i programmi di sviluppo precedenti, poiché chiamano direttamente alla responsabilità l'intera comunità internazionale incluse le imprese, le organizzazioni non governative e le istituzioni di ricerca per l'implementazione dei traguardi.

È inoltre evidente che il raggiungimento di questi obiettivi richiede la creazione di nuove strutture di partnership, in grado di costruire **collaborazioni tra i settori privato, pubblico e della ricerca**.

## **Gli obiettivi di sviluppo sostenibile nell'ambiente costruito**

Tra i 17 SDG esiste un obiettivo che si riferisce proprio all'ambiente costruito. **L'Obiettivo 11 (Città e comunità sostenibili)** esprime il ruolo strategico degli edifici nel contesto dello sviluppo sostenibile.

Questo obiettivo mira a rendere le **città più inclusive, sicure e resilienti**. Ciò include la promozione di edifici ecosostenibili e iniziative per facilitare l'accesso alla casa a prezzi adeguati per tutti. Inoltre promuove l'edilizia verde e la riabilitazione di aree degradate per migliorare la qualità della vita e ridurre l'impronta ecologica dell'ambiente costruito. Infine riconosce un ruolo importante alla connessione tra gli ambienti urbani e quelli più naturali e rurali.

L'Obiettivo 11 non è l'unico a riguardare da vicino l'ambiente costruito ma tutto l'apparato degli SDG, nel suo complesso, ha significative interferenze sia con l'ambiente costruito che con i settori delle costruzioni e immobiliare. Molti studi hanno affrontato questo tema a partire da un approfondimento attento sui processi legati al settore e sui sistemi di valutazione del raggiungimento dei target di sostenibilità.

Dalla sua adozione diversi studiosi hanno analizzato i possibili processi di attuazione dell'Agenda 2030, le sinergie e i compromessi tra obiettivi e target e i mezzi per migliorare la capacità di rendicontazione dei progressi.

Le ricerche disponibili sul settore delle costruzioni si focalizzano principalmente sull'intersezione tra i criteri di valutazione ambientale esistenti e gli SDGs oppure sulla proposta di schemi teorici generali per integrare le tematiche della sostenibilità nei progetti edilizi.

Per rappresentare il forte legame tra il settore delle costruzioni e i 17 SDG è stata concettualizzata una mappa costituita da un piano a due assi e quattro quadranti, che posiziona al centro del sistema assiale il settore delle costruzioni in connessione con quattro elementi: ambiente (Environment), persone (People), società (Society) e mezzi (Means). In particolare la dimensione di ciascuna icona che rappresenta gli SDG è proporzionale alla sua dipendenza dalle attività di costruzione e immobiliari, mentre la posizione nel quadrante rappresenta quanto i target di un singolo obiettivo impattano il settore delle costruzioni/immobiliare. Infine la distanza dal centro indica la natura del legame tra i target e il settore delle costruzioni più un'icona SDG è vicina al centro, più diretto è il collegamento.

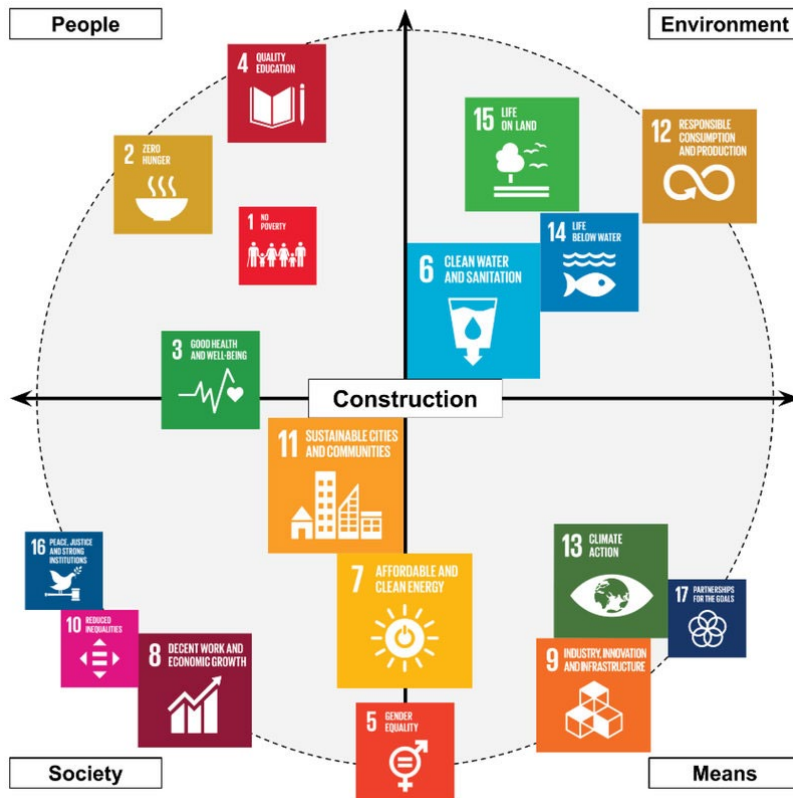


Figura 28 Mappa della dipendenza dei diversi SDG alle diverse attività del settore delle costruzioni. Fonte: Goubran, 2019

In particolare possiamo analizzare in modo sintetico alcune correlazioni tra gli SDG e le attività del settore delle costruzioni:

- **Obiettivo 7 (Energia pulita e accessibile):** promuovere l'accesso all'energia pulita e rinnovabile che si traduce nell'integrazione di tecnologie sostenibili per la produzione di energia. Questo obiettivo promuove l'efficienza energetica negli edifici. Gli immobili devono ridurre il consumo di energia, ad esempio, attraverso l'isolamento termico e l'uso di sistemi impiantistici a basso consumo.
- **Obiettivo 9 (Industria, innovazione e infrastrutture):** costruire infrastrutture resilienti e promuovere l'innovazione industriale. Ciò include lo sviluppo di edifici industriali, l'uso di materiali innovativi e tecniche di costruzione che riducano l'impatto ambientale. Questo obiettivo implica investimenti sostanziali per la modernizzazione del patrimonio edilizio.
- **Obiettivo 12 (Consumo e produzione responsabili):** nel settore immobiliare ciò si traduce nella riduzione dello spreco di risorse durante la costruzione e il funzionamento degli edifici e nell'adozione di pratiche di economia circolare. È incoraggiato l'uso di materiali riciclati e sostenibili.
- **Obiettivo 13 (Azione per il clima):** adottare misure urgenti per combattere il cambiamento climatico e i suoi impatti, cioè lavorare sul patrimonio immobiliare per migliorarne l'efficienza e incorporare la resilienza climatica. Gli edifici devono contribuire a ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub>.

## I sistemi di rating

### LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design): è uno dei sistemi di valutazione della sostenibilità degli edifici riconosciuti a livello internazionale. Questa certificazione si applica a tutti i tipi di edifici: residenziali, commerciali, industriali e istituzionali. Sviluppato dall'US Green Building Council (USGBC) negli anni '90, LEED fornisce un quadro per la progettazione, la costruzione, la manutenzione e la gestione di

edifici sostenibili che sono considerati efficienti dal punto di vista energetico e rispettosi dell'ambiente. Questo sistema valuta la sostenibilità di un edificio in base a vari parametri: sito sostenibile, risparmio idrico, energia e atmosfera, materiali e risorse, qualità ambientale interna, innovazione nella progettazione e priorità regionali. Questo tipo di valutazione incoraggia la scelta di siti sostenibili che non hanno impatto sugli ecosistemi e sull'acqua, utilizzano efficacemente le energie rinnovabili e creano ambienti interni sani e confortevoli attraverso il controllo della qualità, un'illuminazione adeguata ed ergonomica.

In questo sistema di valutazione gli edifici accumulano punti in ciascuna delle varie categorie. A seconda del numero di punti possono essere classificati secondo uno specifico livello: Certificato, Argento, Oro, Platino. Quest'ultimo rappresenta il grado più alto di certificazione e indica un edificio che esemplifica l'eccellenza nelle pratiche di sostenibilità.

### ***BREEAM***

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method): si tratta di un altro importante sistema di valutazione della sostenibilità degli edifici, riconosciuto a livello internazionale. Sviluppato nel Regno Unito nel 1990 dal Building Research Establishment (BRE), rappresenta un punto di riferimento per la valutazione delle prestazioni ambientali. BREEAM valuta vari aspetti, dalla progettazione alla demolizione: gestione, salute e benessere, energia, trasporti, acqua, materiali, rifiuti, uso del suolo ed ecologia, inquinamento. Per ciascuna di queste categorie gli edifici accumulano crediti e il punteggio totale determina il livello di certificazione che può essere: Pass, Good, Very Good, Excellent, Outstanding.

Questo sistema di valutazione si applica a un'ampia gamma di edifici tra cui nuove costruzioni, ristrutturazioni e allestimenti interni e spesso è richiesto per dimostrare l'impegno verso la sostenibilità.