



**Green  
Building  
Council  
Italia**

# **Soluzioni tecnologiche per la decarbonizzazione delle emissioni operative degli edifici**

**#BUILDINGLIFE**

Allegato alla Roadmap Italiana

### Autori

Alessia Peluchetti, Marco Calderoni, Alessandro Lodigiani, Edoardo Giorgi, Letizia D'Angelo, Carlotta Cocco

### Dettaglio documento

Titolo "Report on operational carbon - roadmap per la decarbonizzazione del patrimonio costruito al 2050"

Data di pubblicazione: giugno 2022

Versione: 2.0

### Dettaglio progetto

Titolo del progetto: BuildingLife

Descrizione del progetto: Dieci European Green Building Council realizzano il Green Deal dell'UE affrontando l'impatto ambientale del settore edilizio sull'intero ciclo di vita

### Partners



Laudes ———  
— Foundation

# Indice

<b>Executive summary</b>	<b>6</b>
Glossario	7
Definizioni	8
<b>1 Contesto</b>	<b>10</b>
1.1 Politiche climatiche europee e nazionali	10
1.1.1 Il quadro globale	10
1.1.2 Il quadro Europeo	11
1.1.3 Il quadro Nazionale	14
1.2 Decarbonizzazione degli edifici nuovi ed esistenti nell'intero ciclo di vita	15
<b>2 Energy Efficiency First</b>	<b>16</b>
2.1 Misure di efficientamento passivo	16
2.1.1 Descrizione/inquadramento	16
2.1.1.1 Involucro Opaco	17
2.1.1.2 Involucro trasparente	18
2.1.1.3 Building Integrated Systems	19
2.1.2 Norme/procedure di riferimento	21
2.1.3 Commenti	21
2.1.4 Casi studio	22
2.1.4.1 Scuola nZEB "Italo Calvino" a Novate Milanese	22
2.1.4.2 Edificio monofamiliare, zona Città Studi Milano	23
2.1.4.3 Integrazione BIPV in edificio storico tutelato	24
2.1.4.4 Integrazione BIPV in edificio industriale dismesso	25
2.1.4.5 Integrazione edificio di nuova costruzione	26
2.2 Nature Based Solutions	28
2.2.1 Descrizione/inquadramento	28
3.1.1. Norme/procedure di riferimento	30
3.1.2. Commenti	30
2.2.2 Casi studio	31
2.2.2.1 Tetto verde del centro commerciale Carosello di Carugate	31

2.2.2.2	“Living wall” del centro commerciale il Fiordaliso di Rozzano	31
2.2.2.3	Balconata verde Atlas Hotel Hoian in Vietnam	32
2.2.2.4	Pergolato verde	33
2.3	Altre misure di efficientamento	34
2.3.1	Ottimizzazione di impianti HVAC	34
2.3.2	Illuminazione	35
2.3.3	Impianti di movimentazione delle persone	36
<b>3</b>	<b>Fonti rinnovabili</b>	<b>39</b>
3.1	Fonti rinnovabili	39
3.1.1	Descrizione/inquadramento	39
3.1.2	Norme/procedure di riferimento	40
3.1.3	Fotovoltaico	41
3.1.4	Pompe di calore e sistemi ibridi caldaia-pompa di calore	44
3.1.5	Solare termico	45
3.1.6	Caldaie a biomasse	47
3.1.7	Free cooling	49
3.1.8	Commenti	50
3.1.9	Casi studio	50
<b>4</b>	<b>Reti termiche ed elettriche</b>	<b>55</b>
4.1	Smart Grid Elettrica	55
4.1.1	Descrizione/inquadramento	55
4.1.2	Norme/procedure di riferimento	58
4.1.3	Commenti	59
4.1.4	Casi studio	59
4.2	Comunità Energetiche e PED	61
4.2.1	Descrizione/inquadramento	61
4.2.2	Norme/procedure di riferimento	63
4.2.3	Commenti	65
4.2.4	Casi studio	65
4.2.4.1	La comunità Energetica di Berchidda	65

4.2.4.2 Il distretto ad energia positiva di Limerick (H2020 +CityxChange)	66
4.3 Teleriscaldamento	68
4.3.1 Descrizione/inquadramento	68
4.3.2 Norme/procedure di riferimento	70
4.3.3 Commenti	70
4.3.4 Casi studio	71
<b>5 Misure di Compensazione Ambientale</b>	<b>72</b>
5.1 Carbon Offset	72
5.1.1 Descrizione/inquadramento	72
5.1.2 Norme/procedure di riferimento	73
5.1.3 Commenti	74
5.1.4 Caso studio	75
<b>6 Embodied Carbon</b>	<b>76</b>
6.1 Embodied Carbon	76
6.1.1 Descrizione/inquadramento	76
6.1.1.1 Life Cycle Assessment	77
6.1.1.2 Etichette Ambientali	78
6.1.1.3 Esempi di materiali	79
6.1.2 Norme/procedure di riferimento	79
6.1.3 Commenti	80
6.1.4 Caso studio	81
<b>7 Conclusioni</b>	<b>83</b>
<b>Metodo di lavoro e temi principali</b>	<b>86</b>
Obiettivi della ricerca	86
Metodologia della ricerca	86
Temi principali	86
Gruppi di lavoro	89
<b>Gli Autori</b>	<b>91</b>
R2m Solution	91
Breve CV e foto degli autori	91

# Executive summary

BuildingLife è un progetto della regione europea di World Green Building Council (WorldGBC): la più grande rete al mondo che promuove azioni per il raggiungimento degli accordi di Parigi e degli obiettivi globali di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite, nel settore dell'edilizia e delle costruzioni.

Il progetto intende raggiungere un mix di azioni necessarie del settore privato e della politica pubblica per affrontare l'impatto totale degli edifici - in termini di riduzione sia delle emissioni di CO<sub>2</sub> che dell'uso delle risorse - durante l'intero ciclo di vita.

Nell'ambito di questo progetto GBC Italia ha realizzato una serie di incontri con i propri soci ed altri esperti italiani su diversi temi legati all'impatto ambientale degli edifici. Questo rapporto restituisce i risultati del "tavolo decarbonizzazione". Nell'arco dei 5 incontri sono stati affrontati i seguenti temi:

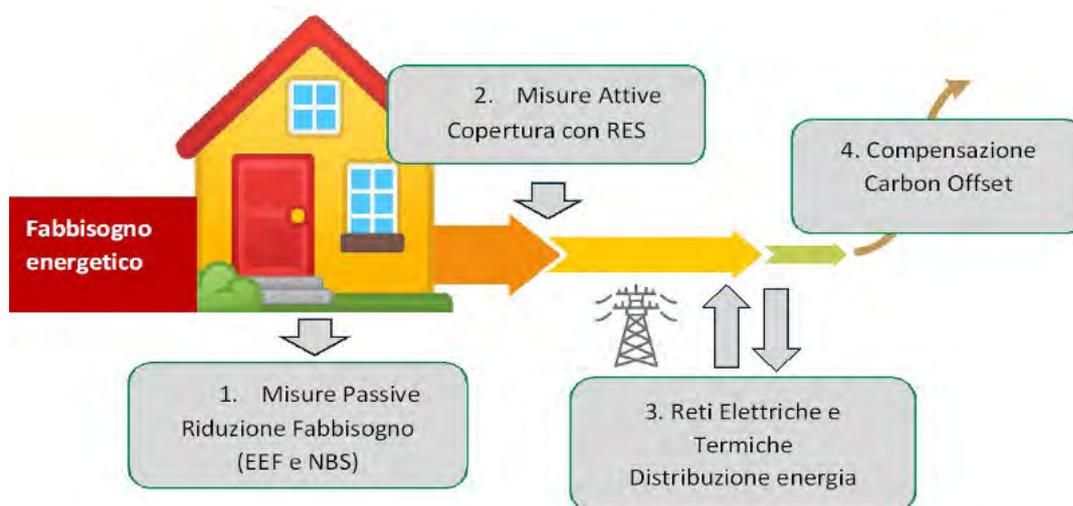
- Comunità Energetiche e Positive Energy Districts
- Reti energetiche
- Misure passive per l'efficientamento degli edifici e "Nature Based Solutions"
- Impianti a fonti rinnovabili e misure di Carbon Offset

Durante ciascun incontro sono state analizzate le principali tecnologie oggi in uso, quelle di frontiera che ci si attende arriveranno a breve sul mercato, il panorama legislativo. Sono inoltre stati presentati casi studio relativi ad ognuna delle tecnologie prese in esame. Infine, è stato aperto un dibattito con l'obiettivo di analizzare quali soluzioni sono più o meno strategiche per la decarbonizzazione degli edifici secondo i partecipanti.

Il rapporto presenta fedelmente i risultati dei workshop e riporta, in coda ad ogni capitolo, le principali conclusioni delle discussioni.

In sintesi, l'approccio alla decarbonizzazione degli edifici caldeggiato da GBC Italia segue lo schema indicato nella figura sottostante:

Le misure di efficientamento sono prioritarie e devono essere pensate per ridurre il più possibile il fabbisogno energetico. Il fabbisogno restante dovrebbe innanzitutto essere coperto tramite fonti energetiche rinnovabili locali, cioè installate sull'edificio oggetto di progettazione, oppure in zone di pertinenza dello stesso. Ove in questo modo non fosse possibile soddisfare il fabbisogno, si considerano le reti energetiche (elettriche, termiche, gas), che in futuro forniranno energia



via via più sostenibile. In questo ambito vanno considerate anche le Comunità Energetiche e i Positive Energy Districts. L'ultima azione in ordine di priorità è quella del cosiddetto Carbon Offset, ovvero l'implementazione di misure di riduzione delle emissioni in un altro luogo geografico, ma a copertura dei consumi dell'edificio progettato.

## GLOSSARIO

APE	Attestato di Prestazione Energetica
BAPV	Building Attached PhotoVoltaics
BIPV	Building Integrated PhotoVoltaics
CO <sub>2</sub>	Anidride Carbonica
COP	Coefficiente di Prestazione
COP	Conference of Parties
EED	Energy efficiency directive
EEF	Energy Efficiency First
EER	Rapporto di efficienza energetica
EPBD	Energy performance building directive
EU	Unione Europea
FTV	Fotovoltaico
GBC	Green Building Council
IEMD	Internal energy market directive
NBS	le Nature Based Solutions
NZEB	Net Zero Energy Buildings
nZEB	nearly Zero Energy Buildings
PCM	Phase Change Materials
PDC	Pompa di calore
PED	Positive Energy Districts

PNIEC	Piani Nazionali Integrati per l'Energia e il Clima
RED	Renewable energy directive
RES	Renewable Energy Source
SEN	Strategia energetica nazionale
TLR/TLRaff	Teleriscaldamento/Teleraffrescamento
UN	Nazioni Unite
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VIP	Vacuum insulation panels
ZEB	Zero Energy Buildings

# DEFINIZIONI

BIPV	Impianti fotovoltaici dove i moduli fotovoltaici utilizzati sono integrati nell'edificio e soddisfano i criteri per i moduli BIPV come definiti nella Parte 1 della stessa direttiva, ovvero formano un prodotto da costruzione con una funzione specifica, come definito nel Regolamento Europeo sui Prodotti da Costruzione (CPR 305/2011)	Da direttiva CSN EN 50583:2016
Carbon Footprint	Una misura che esprime in anidride carbonica equivalente (CO <sub>2</sub> e) il totale delle emissioni in atmosfera di gas ad effetto serra associate direttamente o indirettamente ad un prodotto, un'organizzazione o un servizio	Ministero della transizione Ecologica
Carbon Offset	Una qualsiasi attività volta a compensare l'emissione di anidride carbonica (CO <sub>2</sub> ) o di altri gas a effetto serra (misurata in CO <sub>2</sub> e) attraverso la riduzione delle emissioni di CO <sub>2</sub> altrove. Una qualsiasi attività volta a compensare l'emissione di anidride carbonica (CO <sub>2</sub> ) o di altri gas a effetto serra (misurata in CO <sub>2</sub> e) attraverso la riduzione delle emissioni di CO <sub>2</sub> altrove	Non ufficiale Enciclopedia Britannica
Comunità Energetiche	Insieme di utenti che, tramite la volontaria adesione ad un contratto, collaborano con l'obiettivo di produrre, consumare e gestire l'energia attraverso uno più impianti energetici locali	Non ufficiale ENEA
Embodied Carbon	Embodied Carbon is a widely-used term in literature that usually describes a method of accounting for the amount of greenhouse gases (regardless of their type and source) emitted during one or more life cycle stages of a given product (of a given functional equivalent), other than the ones related to the operation (this applies only to buildings and products relevant for the energy supply of a building)	Annex 57, Subtask 1
Embodied Energy	Embodied energy is a method of accounting for the primary energy resources (regardless of their type) consumed/used in one or more life cycle stages of a given product (of a given functional equivalent), other than the ones related to the operation (this applies only to buildings and products relevant for the energy supply of a building)	Annex 57, Subtask 1

Global Warming Potential (GWP)	Index, based on radiative properties of GHGs (3.1.2.1), measuring the radiative forcing <sup>1</sup> following a pulse emission of a unit mass of a given GHG in the present-day atmosphere integrated over a chosen time horizon, relative to that of carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	Da direttiva 14064:2019
NBS	Soluzioni tecniche che usano, si ispirano o imitano elementi naturali e che forniscono contemporaneamente benefici ambientali, sociali ed economici	Commissione Europea
Nearly Zero Energy Buildings - nZEB	Edificio ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze	Da direttiva EPBD 2010/31/UE
Net Zero Energy Buildings - NZEB	Edificio o costruzione caratterizzata da un consumo netto di energia pari a zero e da zero emissioni di carbonio calcolate su un arco di tempo. Gli NZEB devono produrre la propria energia in loco per soddisfare le proprie esigenze di elettricità e riscaldamento o raffreddamento	National Renewable Energy Laboratory
PED	Un'area entro i confini della città, in grado di generare più energia di quella consumata e sufficientemente flessibile per rispondere alle fluttuazioni del mercato energetico, perché un PED non dovrebbe mirare solo al raggiungimento di un surplus annuo di energia netta. Piuttosto, dovrebbe anche supportare a ridurre al minimo l'impatto della domanda energetica sulle reti energetiche centralizzate offrendo opzioni per aumentare l'adattamento del carico in loco e l'autoconsumo, sfruttando tecnologie per lo stoccaggio a breve e lungo termine e fornendo flessibilità energetica attraverso sistemi di controllo intelligente	SET-Plan ACTION n°3.2

# 1 Contesto

Il tema della decarbonizzazione è un tema molto attuale nel settore edilizio, anche in conseguenza delle politiche ambientali che molti paesi dell'Unione Europea hanno adottato per contribuire alla lotta ai cambiamenti climatici. Per far fronte a questi mutamenti globali, l'Unione Europea (EU) ha intrapreso un percorso molto ambizioso verso l'energia "pulita" emanando numerose Direttive recepite anche a livello nazionale. In particolare, i temi trattati nelle politiche europee in merito ad energia e ambiente riguardano temi come l'efficienza energetica, la decarbonizzazione del patrimonio edilizio e le fonti energetiche rinnovabili (Renewable Energy Sources - RES).

## 1.1 Politiche climatiche europee e nazionali

### 1.1.1 Il quadro globale

La lotta ai cambiamenti climatici è una sfida impegnativa che l'uomo si trova ad affrontare ai giorni nostri. I cambiamenti climatici sono un fenomeno causato principalmente dall'effetto serra dovuto ai gas climalteranti che l'attività antropica emette in atmosfera. Essi stanno modificando le condizioni ambientali del nostro pianeta, provocando aumenti di temperatura ed eventi meteorologici sempre più estremi, che il mondo scientifico si aspetta si accentueranno sempre più con l'aumento della CO<sub>2</sub> in atmosfera. Per contrastare e mitigare questa problematica, diverse azioni sono state intraprese sia a livello globale che europeo, fin dagli anni 90.

- 1992 - United Nations Framework Convention on Climate Change Rio de Janeiro;
- 1995 – COP 1 Berlino;
- 1997 – COP 3 e Protocollo di Kyoto (2008-2012);
- 2007 – UE adotta il pacchetto clima e energia (2009-2020);
- 2011 - COP 18 Doha (2012-2020):
- 2015 – COP 21 e Accordo di Parigi (2020 2030);
- 2016 – UE Clean Energy Package (2021- 2030);
- 2019- UE Green Deal;
- 2021 – UE Legge Europea sul Clima;
- 2021 – COP 26 Glasgow.

Nel 1992, alla Conferenza sull'Ambiente e sullo Sviluppo delle Nazioni Unite di Rio de Janeiro, venne presentata la prima risposta globale alla sfida dei cambiamenti climatici, con la stipula della *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), ovvero della convenzione quadro sui cambiamenti climatici delle Nazioni Unite. Il trattato stabilisce un quadro d'azione per contrastare l'aumento delle temperature, stabilizzando le concentrazioni di gas-serra in atmosfera per evitare "dannose interferenze con il sistema climatico". La maggioranza dei Paesi aderì a questo trattato internazionale, impegnandosi ad individuare strategie per la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra. Dal 1995, i Paesi aderenti all'UNFCCC diedero il via alle Conference of Parties, note come COP, riunioni annuali dei Paesi che aderenti all'UNFCCC, che rappresentano il principale strumento per le negoziazioni riguardanti il cambiamento climatico.

Durante la COP3, tenutasi a Kyoto nel 1997, venne adottato l'accordo noto come "Protocollo di Kyoto"<sup>1</sup>, il quale rappresenta uno dei primi tentativi di stabilire degli obiettivi chiari di riduzione delle emissioni globali. Il protocollo di Kyoto stabilisce obiettivi vincolanti di riduzione dei gas ad effetto serra per i paesi aderenti, ovvero la Comunità Europea e 37 paesi industrializzati. I paesi industrializzati, principali responsabili delle emissioni, si impegnavano a ridurre, tra il 2008 ed il 2012, la quantità di gas ad effetto serra rilasciata nell'ambiente di almeno il 5% rispetto ai livelli pre-industrializzazione del 1990. L'obiettivo di riduzione di gas serra assegnato all'Italia fu del 6.5%. Negli anni la necessità di attuare un cambiamento radicale nel sistema produttivo per contrastare l'emergenza climatica ormai in atto si è fatta sempre più evidente. Nel 2012, con la COP18 di Doha, gli obiettivi e gli impegni definiti nel protocollo di Kyoto vennero prorogati fino al 2020.

Nel 2015, alla COP21 venne adottato l'*Accordo di Parigi*<sup>2</sup>, con l'obiettivo di regolamentare le politiche climatiche post 2020. Tale accordo definisce come obiettivo a lungo termine il contenimento dell'aumento della temperatura ben al di sotto dei 2°C rispetto ai livelli preindustriali, con l'obiettivo di limitare l'aumento non oltre 1,5°C. L'Accordo di Parigi, a differenza del Protocollo di Kyoto, entrò in vigore già nel 2016, dopo aver raggiunto la soglia per l'adozione di un numero di paesi che rappresentassero almeno il 55% delle emissioni mondiali di gas a effetto serra. L'accordo si inquadra inoltre nella cornice dell'*Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile*<sup>3</sup> delle Nazioni Unite (UN) del 2015.

### 1.1.2 Il quadro Europeo

L'Unione Europea fin dal 1990 è stata in prima linea a livello globale nella lotta ai cambiamenti climatici. Per raggiungere questo scopo negli anni sono state ideate diverse politiche a livello europeo, volte alla riduzione delle emissioni e all'aumento dell'efficienza energetica. Tra le politiche adottate vi è l'adozione del *Pacchetto Clima-Energia*<sup>4</sup> nel 2007, definito anche "strategia 20-20-20", volto a conseguire obiettivi ambiziosi entro il 2020, con una riduzione del 20% delle emissioni di gas a effetto serra, un risparmio energetico del 20% ed un aumento al 20% dell'uso di fonti energetiche rinnovabili. Il pacchetto prevede inoltre misure per regolare il sistema di scambio di quote di emissione ed i limiti alle emissioni delle autovetture.

I principali strumenti legislativi per l'attuazione del pacchetto Clima-Energia "20-20-20" sono sei, emanati nel corso del 2009:

- Direttiva 2009/28/EC - Direttiva sulle Fonti Energetiche Rinnovabili;
- Direttiva 2009/29/EC - Direttiva sull'Emission Trading;
- Direttiva 2009/30/EC - Direttiva sulla qualità dei carburanti;
- Direttiva 2009/31/EC - Direttiva sul Carbon Capture and Storage;
- Direttiva 2009/406/EC - Direttiva sul Decisione Effort Sharing;

- Direttiva 2009/443/EC - Direttiva sul regolamento CO<sub>2</sub> delle autovetture e dei veicoli commerciali leggeri.

Grazie alle politiche e alle misure attuate per il contenimento delle emissioni di gas ad effetto serra, sono stati rispettati gli obiettivi fissati per il 2020 e sono stati definiti i nuovi obiettivi per il 2030 ed il 2050.

Nel 2016 l'Unione Europea, per tenere fede agli impegni presi con l'Accordo di Parigi, definisce i propri obiettivi in materia di energia e clima per il periodo 2021-2030 attraverso il "**Clean energy package**"<sup>5</sup>, noto come "Energia pulita per tutti gli europei", un pacchetto legislativo che fissa il quadro regolatorio della governance dell'Unione per l'energia e il clima al 2030. Il pacchetto, entrato in vigore tra la fine del 2018 e l'inizio del 2019, comprende diverse misure legislative nei settori dell'efficienza energetica, delle energie rinnovabili e del mercato interno dell'energia elettrica, le cui principali sono:

- Direttiva (UE) 2018/842 - Regolamento sulle emissioni di gas ad effetto serra;

- Direttiva (UE) 2018/844 – Sulle performance energetiche degli Edifici (EPBD II);
- Direttiva (EU) 2018/2001 – Sulla promozione delle fonti rinnovabili (RED II);
- Direttiva (EU) 2018/2002 – Sull'efficienza energetica (EED I);
- Direttiva (EU) 2018/1999 - sulla governance dell'Unione dell'energia e dell'azione per il clima;
- Direttiva (EU) 2019/941 - Regulation on Risk-Preparedness in the Electricity Sector;
- Direttiva (EU) 2019/942 - Sulla preparazione ai rischi nel settore dell'energia elettrica;
- Direttiva (EU) 2019/943 - sul mercato interno dell'energia elettrica;
- Direttiva (EU) 2019/944 - Relativa a norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica (IEMD).

In Figura 1 è mostrata la sequenza temporale delle direttive emanate all'interno del Clean Energy Package.



Figura 1 Timeline delle direttive emanate nell'ambito del Clean Energy Package

<sup>5</sup> Clean Energy Package, EU 2016 [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package\\_en#content-heading-6](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en#content-heading-6)

Tra le varie direttive emanate nell'ambito del Clean Energy Package, alcune risultano di particolare interesse per la decarbonizzazione del parco edilizio. Tra queste, la Direttiva 2018/844/UE sulla prestazione energetica edilizia, nota come EPDB "Energy Performance of Buildings Directive", che introduce modifiche mirate alla direttiva 2010/31/UE, al fine di accelerare la riqualificazione "cost-effective" degli edifici esistenti, con la prospettiva di un parco immobiliare decarbonizzato entro il 2050 attraverso la mobilitazione di opportuni investimenti. La revisione supporta anche l'implementazione dell'infrastruttura di elettro-mobilità nei parcheggi degli edifici e introduce nuove disposizioni per migliorare le tecnologie intelligenti e i sistemi tecnici di costruzione, compresa l'automazione. Secondo la normativa i paesi dell'UE devono stabilire requisiti minimi di prestazione energetica a costi ottimali per i nuovi edifici, per le ristrutturazioni importanti di edifici esistenti e per la sostituzione o l'adeguamento di elementi edili. Viene inoltre stabilito che tutti gli edifici di nuova costruzione entro il 31 dicembre 2020 dovranno essere edifici ad energia quasi zero (nZEB). Per quanto riguarda la tematica dell'efficientamento energetico, la Direttiva 2018/2002 (EED) integra la precedente (2012/27 UE) ed innalza l'obiettivo di efficienza energetica per il 2030 al 32,5%, con una clausola di revisione al rialzo entro il 2023. Questo nuovo obiettivo mostra l'alto livello di ambizione dell'UE e dimostra il notevole ritmo di cambiamento delle nuove tecnologie e la riduzione dei costi grazie alle economie di scala e alla curva di apprendimento. Altri elementi introdotti dalla normativa sono l'obbligo per i paesi dell'UE di effettuare ristrutturazioni ad alta efficienza energetica per almeno il 3% della superficie totale degli edifici di proprietà e occupati dalle pubbliche amministrazioni e di elaborare strategie nazionali di ristrutturazione degli edifici a lungo termine che possono essere incluse nei piani d'azione nazionali per l'efficienza energetica. Infine, la nuova Direttiva 2018/2001 sulle

energie rinnovabili, nota come RED II, sostituisce la precedente RED I (2009/28/CE) e definisce obiettivi vincolanti più ambiziosi sull'utilizzo di energia da fonti rinnovabili entro il 2030. In particolare, introduce un nuovo obiettivo vincolante sull'energia rinnovabile per l'UE del 32% entro il 2030, compresa una clausola di revisione entro il 2023 per una revisione al rialzo dell'obiettivo a livello dell'EU. Altro elemento innovativo è l'introduzione del concetto di *prosumers*, ovvero consumatori (users) che diventano energeticamente autonomi e possono essere remunerati per l'elettricità che producono ed immettono nella rete (producer). La nuova direttiva sulle energie rinnovabili punta, inoltre, al rafforzamento della sostenibilità della bioenergia e alla promozione delle tecnologie innovative.

A queste misure si aggiunge, a fine 2019, "*Il Green Deal Europeo*"<sup>6</sup>, ovvero una strategia di crescita formulata dall'Unione Europea per affrontare i problemi legati al clima e all'ambiente, consentire una transizione ecologica e trasformare l'EU in un'economia competitiva e climaticamente neutra entro il 2050. Questo piano strategico definisce le diverse iniziative, da attuare tramite leggi, decreti e investimenti, che l'EU si impegna ad affrontare nei successivi decenni in vista della transizione energetica. Tra prime iniziative emanate nell'ambito del Green Deal c'è la legge europea sul clima (UE/2021/1119), adottata in via definitiva ad inizio 2021. Il Regolamento definisce un obiettivo di contenimento delle emissioni al 2030 più ambizioso rispetto a quello definito nel Regolamento 2018/1999/UE e nel Regolamento 2018/842/UE, portando la percentuale di riduzione dal 40% al 55%, rispetto ai valori del 1990. Con questa legge l'Europa sancisce formalmente l'obiettivo di neutralità carbonica al 2050 e definisce un traguardo giuridicamente vincolante al 2030. Per ottenere la diminuzione delle emissioni del 55% richiesta dal Green Deal è necessaria una revisione profonda delle politiche energetiche e climatiche dell'Unione europea.

<sup>6</sup> Green deal Europeo, EU 2019 [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)

Questa revisione è contenuta nel Green Package “Fit for 55”, pacchetto adottato dalla Commissione Europea a luglio 2021, e che contiene 12 iniziative, legate sia alla modifica delle legislazioni esistenti che alla formulazione di nuove proposte. Nell’ambito del Green Deal la commissione ha adottato un approccio olistico, lanciando una serie di strategie su diversi fronti: energia, trasporti, clima, ambiente, industria, agricoltura e finanza sostenibile. Per arrivare all’ambizioso traguardo di decarbonizzazione al 2050, gli accordi di Parigi prevedono delle tappe intermedie, fissate al 2030 e al 2040, per le quali le strategie e gli obiettivi del Green Deal si potrebbero definire propedeutici.

### 1.1.3 Il quadro Nazionale

Come evidenziato nel capitolo precedente, diverse sono le norme emanate a livello europeo in tema di efficienza energetica. Le diverse direttive emanate a livello europeo devono poi essere recepite dai vari stati membri a livello nazionale.

Nell’ambito del Clean Energy Package, in attuazione della direttiva europea EPBD relativa alle performance energetiche degli edifici, è stato emanato il D.Lgs. 2020/48, che stabilisce i criteri per la predisposizione della strategia di ristrutturazione a lungo termine del parco immobiliare, al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione delle RES e la diversificazione energetica e di contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra posti dal Protocollo di Kyoto. La nuova Direttiva RED II è stata recepita a livello nazionale dal D.Lgs 199/2021 pubblicato in gazzetta ufficiale il 15 dicembre 2021. Il nuovo decreto sostituisce ed aggiorna il D.Lgs 28/2011, e definisce gli strumenti,

i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico, necessari al raggiungimento degli obiettivi fino al 2030 in materia di produzione energetica da fonti rinnovabili. Tra le principali novità del decreto vi è l’incremento della copertura dei consumi energetici dal 50% al 60% per edifici nuovi o soggetti a ristrutturazioni rilevanti, e al 65% per edifici pubblici. Il D.Lgs 73/2020, che sostituisce il vecchio D.Lgs. 102/2014 e recepisce la Direttiva 2012/27/UE, stabilisce un quadro di misure per la promozione e il miglioramento dell’efficienza energetica, che concorrono al conseguimento dell’obiettivo nazionale di risparmio energetico entro l’anno 2030.

Con la finalità di definire delle linee guida nazionali omogenee e coordinate in temi di efficienza energetica, sono stati emanati diversi decreti ministeriali. Il D.M. 26 giugno 2015 definisce le linee guida nazionali per l’attestazione della prestazione energetica degli edifici, le modalità di presentazione e compilazione dell’Attestato di Prestazione Energetica (APE), stabilisce le verifiche annuali da effettuare da Regioni e Province autonome e le competenze dell’ENEA.

Oltre al recepimento delle direttive europee a livello nazionale, gli stati membri devono delineare i propri obiettivi, come richiesto dalla direttiva 2018/1999 sulla governance, attraverso dei *Piani Nazionali Integrati per l’Energia e il Clima “PNIEC”*<sup>7</sup> - che coprono intervalli temporali di dieci anni a partire dal decennio 2021-2030. Per l’Italia, il PNIEC riprende l’indirizzo già adottato dalla *Strategia energetica nazionale “SEN”*<sup>8</sup> del 2017, fissando però degli obiettivi al 2030 più ambiziosi in materia di efficienza energetica, fonti rinnovabili, e riduzione delle emissioni inquinanti. In Tabella 29 sono riassunti i principali obiettivi del PNIEC italiano.

---

<sup>7</sup> PNIEC, Ministero dello sviluppo economico 2020 [https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC\\_finale\\_17012020.pdf](https://www.mise.gov.it/images/stories/documenti/PNIEC_finale_17012020.pdf)

<sup>8</sup> SEN, Ministero della transizione ecologica 2017 <https://www.mite.gov.it/sites/default/files/archivio/allegati/testo-integrale-sen-2017.pdf>

<sup>9</sup> Valore aggiornato secondo la legge UE/2021/1119

Tema	Obiettivo Italiano PNIEC	Obiettivo EU
Riduzione complessiva di gas serra	-33% rispetto al 2005	- 55% rispetto al 1990 <sup>9</sup>
Produzione Energetica da FER	30%	32%
Riduzione consumi energia primaria rispetto allo scenario 2007	43%	32,5%

Tabella 1 – Principali obiettivi del PNIEC italiano

## 1.2 Decarbonizzazione degli edifici nuovi ed esistenti nell'intero ciclo di vita

Come anticipato nel capitolo precedente, nell'ambito del Pacchetto Clima-Energia, sono stati introdotti alcuni obiettivi per ridurre e contenere i consumi del parco edilizio.

Il concetto di decarbonizzazione di un edificio è strettamente legato alla riduzione della sua impronta ecologica *"footprint"*, che è un indicatore della quantità di gas ad effetto serra emessi in atmosfera durante l'intero ciclo di vita di un edificio.

Nonostante i settori manifatturiero e delle costruzioni abbiano ridotto le emissioni di CO<sub>2</sub> di oltre il 40% negli ultimi 20 anni, la strada è ancora lunga per il raggiungimento degli obiettivi prefissati (ISPRA, 2020<sup>10</sup>).

Ad oggi la realizzazione di *nearly Zero Energy Buildings (nZEB)* e *Net Zero Energy Buildings (NZEB)*, ovvero di edifici a consumo nullo o pressoché nullo, nelle nuove costruzioni è ampiamente possibile, vista la vasta gamma di tecnologie sempre più efficienti presenti sul mercato. Lo stesso non si può dire tuttavia per gli edifici esistenti, i quali sono spesso

soggetti a molte limitazioni, sia dal punto di vista tecnico-pratico, sia dal punto di vista legislativo.

Il patrimonio edilizio esistente è ricco di edifici vetusti ed energivori, poco efficienti dal punto di vista energetico e che hanno bisogno di interventi di riqualificazione importanti per migliorare le prestazioni energetiche.

Nel voler stabilire priorità chiare per la decarbonizzazione degli edifici, il tavolo di lavoro "decarbonizzazione" del progetto BuildingLife ha stilato il seguente elenco: (1) ridurre il fabbisogno energetico dell'edificio secondo il principio dell'*"Energy Efficiency first"*<sup>11</sup> (EEF); (2) promuovere la produzione e l'uso di energia da RES; (3) valutare gli edifici sul loro intero ciclo di vita e; (4) compensare l'impronta eventualmente residua tramite operazioni di *"Carbon Offset"*. Il primo punto indica la necessità di ridurre la quantità di energia di cui un edificio ha bisogno, riducendo quindi i consumi per condizionamento estivo, riscaldamento invernale, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione, illuminazione, forza motrice, e così via. L'energia prodotta da RES dovrebbe essere utilizzata per compensare il fabbisogno residuo degli edifici. Infine, la valutazione degli edifici sull'intero ciclo di vita è volta alla gestione sostenibile dei materiali da costruzione e prevede la riduzione delle emissioni generate nella produzione e nel trasporto dei materiali edili, nella costruzione dell'edificio, e nella sua eventuale demolizione.

<sup>10</sup> "Indicatori di efficienza e decarbonizzazione nei principali paesi europei", ISPRA 2020

<sup>11</sup> Il principio dell'Energy Efficiency First è sancito dalla nuova governance europea dell'energia (2018/1999)

## 2 Energy Efficiency First

La nuova governance europea dell'energia (2018/1999) sancisce il principio dell'EEF, ovvero: Efficienza energetica prima di tutto. Secondo questo principio gli stati membri, nel processo di pianificazione energetica e dei relativi investimenti, dovranno dare priorità alle misure di efficientamento energetico, individuando le misure più solide sotto il profilo tecnico-economico. I seguenti paragrafi prendono in considerazione due macro-gruppi di misure che rientrano nel concetto di EEF: (1) le misure di efficientamento passivo e; (2) le Nature Based Solutions (NBS).

### 2.1 Misure di efficientamento passivo

#### 2.1.1 Descrizione/inquadramento

Le misure di efficientamento passivo comprendono tutte quelle soluzioni progettuali volte a migliorare le prestazioni termiche del solo involucro edilizio, riducendone di conseguenza il fabbisogno energetico ed i consumi.

L'ottimizzazione dell'involucro è un passaggio necessario per la progettazione di edifici ad altissime prestazioni, siano essi nZEB, NZEB o ZEB, le cui definizioni sono riportate nella tabella seguente. Per gli edifici ad "energia zero" e "energia zero netta" non esistono ancora definizioni univoche ed ampiamente condivise.

Acronimo	Definizione	Reference
nZEB - Nearly Zero Energy Building	“Edificio ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze”	Da direttiva Art.2 EPBD I
NZEB – Net Zero Energy Building	“Edificio o costruzione caratterizzata da un consumo netto di energia pari a zero e da zero emissioni di carbonio calcolate su un arco di tempo. Gli NZEB devono produrre la propria energia in loco per soddisfare le proprie esigenze di elettricità e riscaldamento o raffreddamento”	Non ufficiale
ZEB – Zero Energy Building	“Edificio ad alta efficienza energetica dove, a seconda della fonte energetica, l'energia effettivamente consumata annua è inferiore o uguale a quella prodotta in loco con energia rinnovabile”	Non ufficiale - US Department of Energy

Tabella 2 – Definizione di edificio ad altissime prestazioni

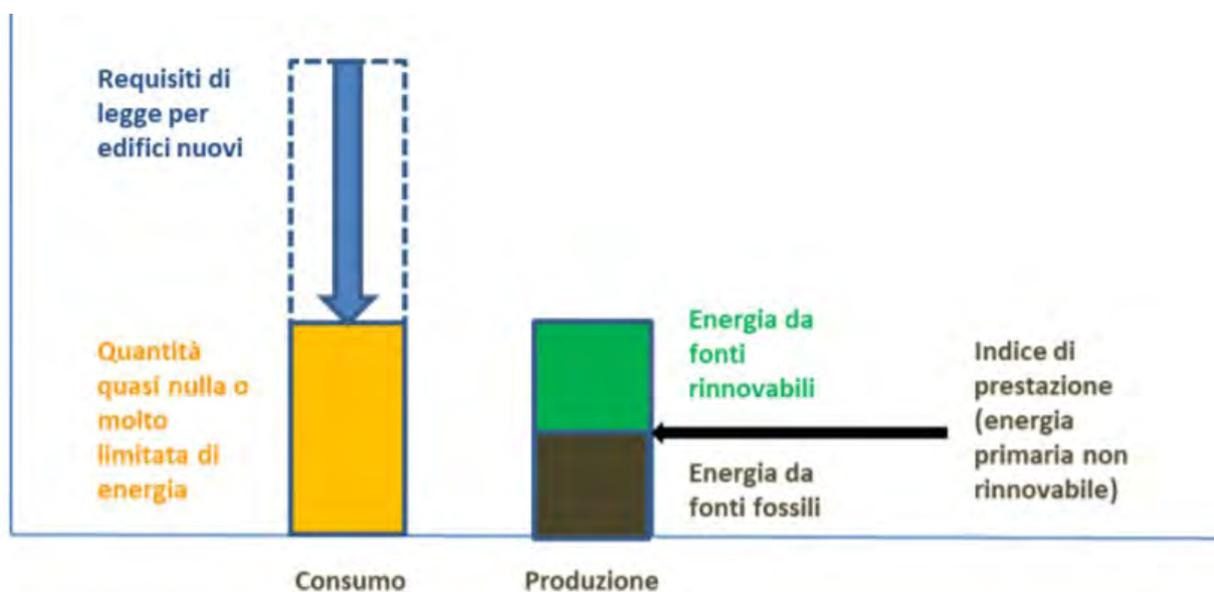


Figura 2 Rappresentazione della definizione di edificio a energia quasi zero nella [Fonte: EPBD 2010/31/UE]

Per efficientare al massimo l'involucro edilizio applicando il principio dell'EEF, è opportuno considerare al meglio le seguenti soluzioni:

- Involucro opaco;
- Involucro trasparente;
- Building Integrated Systems;
- Schermature solari.

### 2.1.1.1 Involucro Opaco

L'involucro opaco di un edificio comprende le componenti non vetrate dell'involucro, e può essere suddiviso in due principali categorie: (1) componenti verticali, ovvero le murature; componenti orizzontali, ovvero i solai e le coperture.

Per migliorare le prestazioni termiche dell'involucro opaco è importante tenere conto delle caratteristiche dei materiali utilizzati, considerando le loro prestazioni in termini di riflessione solare ed isolamento.

La riflessione solare di un materiale di finitura incide sulla capacità dell'elemento di trattenere e rilasciare calore nell'ambiente, ed è quindi strettamente legato al controllo dell'effetto isola di calore. Sono quindi da preferire materiali riflettenti e/o basso-emissivi, che hanno un contributo ridotto rispetto ai classici materiali sull'innalzamento della temperatura nel microclima urbano.

L'isolante è il materiale edilizio che più contribuisce a migliorare le prestazioni termiche dell'involucro opaco. Vista la sua bassa conducibilità, l'isolante comporta una riduzione dei flussi di calore tra zone calde e fredde attraverso i diversi componenti del pacchetto stratigrafico, riducendo quindi le perdite energetiche. In Figura 3 sono riportati i valori medi per le diverse tipologie di isolanti disponibili sul mercato.

Materiali [kg/m <sup>3</sup> ]	Conducibilità [W/(m K)]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]
Lana di roccia	0,035 – 0,05	20 – 140
Lana di vetro	0,035 – 0,05	20 – 140
Perlite espansa	0,05 -0,055	90 - 100
Vetro cellulare	0,045 – 0,06	125 - 150
Argilla espansa	0,130 – 0,25	400 - 1800
Fibra di cellulosa	0,045	35 – 60
Sughero espanso	0,04 – 0,05	120
Fibra di legno (pannello)	0,050 -0,06	130 - 270
Fibra di legno mineralizzato	0,09	360 - 570
Paglia e giunco	0,06 – 0,130	-
Lana di pecora	0,04	-
EPS pol. Espanso	0,035 – 0,04	15 – 30
XPS pol. estruso	0,030 - 0,04	20 - 50
PUR poliuretano	0,020 – 0,035	30 - 35

Figura 3 – Caratteristiche termiche di materiali isolanti [Fonte: Componenti per l'involucro opaco negli edifici, IUAV12]

Materiali particolarmente promettenti per quanto riguarda l'isolamento sono:

- Nanomateriali Aerogel – materiali con elevate proprietà termoisolanti e spessore contenuto ( $\lambda=0,013 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ );
- Phase Change Materials (PCM) – materiali che possono accumulare o rilasciare calore latente;
- Vacuum insulation panels (VIP) – materiali con elevate proprietà termoisolanti e piccolo spessore ( $\lambda =0,004 \div 0,02 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ).

Molto interessanti risultano essere anche le soluzioni prefabbricate, come le soluzioni prefabbricate per facciata. Si tratta di moduli pre-assemblati in fabbrica, che comprendono al loro interno sia la parte isolante, sia gli infissi, e che possono essere utilizzati nelle nuove costruzioni o nelle opere di riqualificazione,

posizionandoli sulle pareti dell'immobile preesistente.

Tra i vantaggi apportati da queste soluzioni vi sono la riduzione delle tempistiche di posa, la riduzione dei ponti termici tra i diversi componenti edilizi e la riduzione degli errori di posa dei diversi elementi.

### 2.1.1.2 Involucro trasparente

L'involucro trasparente comprende tutte le componenti finestrate dell'edificio, ed è quindi composto da una componente vetrata, corrispondente al vetro, e ad una opaca, data dal telaio dell'infisso.

Tra le tecnologie ad alte prestazioni per quanto riguarda i telai vi sono:

- telai in PVC multicamera con eventuali schiume isolanti, caratterizzati da una buona resistenza meccanica e termica e da una bassa trasmittanza termica;

<sup>12</sup> Componenti per l'involucro opaco negli edifici, IUAV [http://www.iuav.it/Ateneo1/docenti/design-e-a/docenti-st/Romagnoni-/materiali-/Laboratori/lezione\\_03\\_involucroopaco1.pdf](http://www.iuav.it/Ateneo1/docenti/design-e-a/docenti-st/Romagnoni-/materiali-/Laboratori/lezione_03_involucroopaco1.pdf)

- telai in alluminio a taglio termico multicamera ed eventuali schiume;
- telai in legno a bassa densità, con eventuale strato isolante interno, caratterizzati da un elevato isolamento termico, ma che necessitano di manutenzione periodica;
- strutture miste che coniugano le virtù dei diversi materiali, ed hanno resa e profili ridotti al minimo.

Tra le tecnologie ad alte prestazioni, per quanto riguarda la componente vetrata, si elencano

- vetri a controllo solare: limitano la trasmissione della radiazione solare;
- vetri basso emissivi: limitano le dispersioni radiative verso l'esterno, ma hanno una elevata permeabilità solare e luminosa;
- vetri riflettenti basso emissivi: limitano la trasmissione della radiazione solare e le dispersioni radiative verso l'esterno;
- vetri cromogenici:
  - o fotocromici: variano le proprie caratteristiche ottiche in funzione della loro esposizione ai raggi ultravioletti solari;
  - o termocromici: variano in funzione della temperatura;
  - o elettrocromici: variano in funzione della tensione elettrica.

### 2.1.1.3 Building Integrated Systems

I sistemi fotovoltaici possono essere collegati a edifici esistenti o integrati nel tessuto della nuova architettura. A seconda del grado di integrazione possiamo parlare principalmente di due diversi tipi di sistemi:

1. Building Attached PhotoVoltaics (BAPV), ovvero sistemi fotovoltaici non integrati, ma

semplicemente applicati sull'edificio;

2. Building Integrated PhotoVoltaics (BIPV), ossia moduli fotovoltaici totalmente integrati nell'involucro edilizio.

I BIPV sono una tecnologia con altissimo potenziale, soprattutto in ottica di continua e progressiva crescita dell'utilizzo delle RES nel prossimo futuro.

Ad oggi diversi paesi hanno introdotto definizioni differenti di BIPV a livello locale. A livello internazionale una definizione chiara delle due diverse tipologie di sistemi è descritta dalla norma Photovoltaics in buildings (CSN EN 50583:2016), che disciplina i sistemi fotovoltaici negli edifici. Nello specifico, la seconda parte della norma, inerente ai sistemi BIPV, dà due definizioni distinte di sistemi fotovoltaici, a seconda che essi siano integrati (BIPV) o applicati all'edificio (BAPV) [1]. Secondo la norma, *gli impianti fotovoltaici possono essere considerati BIPV se i moduli fotovoltaici utilizzati sono integrati nell'edificio e soddisfano i criteri per i moduli BIPV come definiti nella Parte 1 della stessa direttiva* [2] *ovvero formano un prodotto da costruzione con una funzione specifica, come definito nel Regolamento Europeo sui Prodotti da Costruzione (CPR 305/2011)* [3]. *Il modulo BIPV è quindi necessario per l'integrità della funzionalità dell'edificio. Se il modulo fotovoltaico integrato viene smontato, deve essere sostituito da un prodotto da costruzione appropriato.*

In pratica, la principale differenza tra sistemi BAPV e BIPV sta proprio nella modalità in cui questi elementi sono progettati ed integrati nell'edificio in questione (Figura 4). Il metodo BAPV, utilizzato per le soluzioni fotovoltaiche tradizionali, consiste nel sovrapporre i moduli fotovoltaici alle superfici esistenti, senza che vi sia un'integrazione tra il costruito ed il pannello. Al contrario, il metodo BIPV prevede la sostituzione dell'elemento costruttivo tradizionale con elementi costruttivi multifunzionali, che incorporano moduli solari e sono quindi in grado di produrre energia.

I sistemi BIPV, quindi, non vengono sovrapposti all'edificio, ma ne sostituiscono gli elementi di costruzione (elemento di rivestimento, vetrata, elemento di copertura), diventando parte integrante dell'involucro edilizio.

I BIPV permettono la coesistenza in un unico elemento di diverse funzioni, che non si limitano alla sola produzione energetica dei pannelli fotovoltaici tradizionali, ma spaziano dalla funzione prettamente estetica a quella strutturale, fornendo ad esempio

isolamento termico ed acustico, comportando così un risparmio in termini di materiali.

A seconda del tipo di funzione svolta e dell'elemento architettonico sostituito possiamo avere diversi tipi di sistemi BIPV: (1) accessori solari, come ombreggiamenti e parapetti; (2) pavimentazioni; rivestimenti di facciata; rivestimenti in copertura.

Le immagini seguenti riportano alcuni esempi delle diverse tipologie di sistemi BIPV.

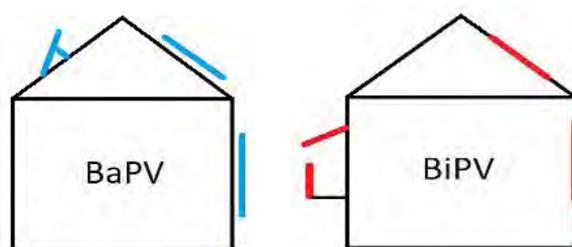


Figura 4 Esempio di Fotovoltaico applicato sull'edificio (BaPV) ed integrato nell'edificio (BiPV)



Figura 5 Pavimentazione fotovoltaica - Harrison street, New York a sinistra e Washington University a destra [Fonte: Onyx Solar<sup>13</sup>]



Figura 6 - Rivestimenti in copertura, High-end residential, San Francisco a sinistra e Science Pyramid, Denver a destra [Fonte: Onyx Solar<sup>13</sup>]

<sup>13</sup> Onyx Solar - <https://www.onyx solar.com/>

### 2.1.2 Norme/procedure di riferimento

A livello nazionale sono diverse le normative emanate sul tema dell'efficienza energetica degli edifici. Il principio dell'Energy Efficiency First è richiamato nel D.Lgs. n. 73/2020 (articolo 1), che recepisce la EED II, che modifica la precedente direttiva sull'efficienza energetica (2012/27/UE), attuata in Italia dal D.Lgs 102/2014. Il Decreto riporta una serie di misure volte a migliorare l'efficienza energetica del paese e che *“contribuiscono all’attuazione del principio europeo che pone l’efficienza energetica al primo posto”*. Tra le principali novità della direttiva vi sono l'aggiornamento del Conto Termico con l'allargamento delle operazioni incentivabili, e l'ampliamento della platea dei risparmi di energia concorrenti al raggiungimento degli obblighi normativi di efficienza energetica previsti dal PNIEC fino al 2030.

In relazione alle prestazioni energetiche degli edifici a livello nazionale è in vigore il D.Lgs. n. 48/2020, che recepisce la direttiva (UE) 2018/844 EPBD II. Nella direttiva è ripresa la definizione di edificio nZEB, definito già nella norma precedente. A livello pratico, i parametri e le caratteristiche da dover rispettare per la progettazione di un edificio a energia quasi zero nel contesto nazionale sono definiti dal DM 26 giugno 2015, noto come *Decreto Ministeriale Requisiti Minimi*. Secondo il decreto, sono considerabili a energia quasi zero, sia gli edifici di nuova costruzione che esistenti, per cui sono rispettati

sia i requisiti di prestazione energetica previsti dal decreto stesso, sia gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili previsti dal Decreto Legislativo 28/2011. In particolare, secondo lo standard nazionale un edificio per essere NZEB deve rispettare una serie di requisiti minimi di prestazione per i seguenti indicatori:

- Energia primaria non rinnovabile e totale ( $EP_{gl}$ ), espresso in kWh/m<sup>2</sup>;
- Prestazione energetica globale dell'edificio ( $EP_{gl,tot}$ ), espresso in kWh/m<sup>2</sup>;
- Prestazione termica per il riscaldamento e per il raffrescamento ( $EP_{H,nd e EPC,nd}$ ), espresso in kW/m<sup>2</sup>k;
- Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione ( $H'T$ ), espresso in kWh/m<sup>2</sup>;
- Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile, ( $A_{sol,est}/A_{sup\ utile}$ );
- Rendimenti degli impianti di climatizzazione invernale ( $\eta H$ ) ed estiva ( $\eta C$ );
- Rendimenti degli impianti di produzione dell'acqua calda sanitaria ( $\eta w$ );
- Limiti sulle trasmittanze degli elementi disperdenti opachi e trasparenti ( $U$ ), espresso in W/m<sup>2</sup>k.

### 2.1.3 Commenti

- Negli edifici monofamiliari si può già oggi ottenere una copertura totale del fabbisogno residuo da fonti rinnovabili. Per grandi edifici ciò è più difficile.
- Esistono significative barriere legate agli edifici storici, che non possono essere facilmente coibentati e che in Italia rappresentano una fetta molto rilevante del patrimonio edilizio. L'utilizzo di energia carbon-free dalle reti (termiche, elettriche, eventualmente gas) rappresenta una soluzione plausibile.
- Anche negli NZEB il fabbisogno energetico residuo è significativo e si tende ad utilizzare impianti RES (soprattutto il fotovoltaico) per compensarlo.

Fibra di cellulosa	<ul style="list-style-type: none"><li>• Da considerare l'utilizzo di blocchi prefabbricati anche per i serramenti. Questa soluzione consente di ridurre al minimo i ponti termici.</li><li>• Un problema consistente relativo agli isolanti è legato alla competenza e all'abilità di chi li installa e opera la manutenzione. Da questo punto di vista i componenti prefabbricati sono una soluzione interessante. Davanzali pre-isolati, per esempio, riducono i ponti termici, minimizzano i possibili errori di installazione, riducono i costi e aumentano la velocità di posa.</li><li>• Anche i calcestruzzi ultraleggeri rappresentano una opportunità interessante: essi non si limitano, fra l'altro, al solo isolamento termico, ma offrono buone caratteristiche anche in termini di resistenza al fuoco.</li></ul>
Sughero espanso	<ul style="list-style-type: none"><li>• Le tecnologie BIPV sono ancora care. Si tende a scegliere moduli in silicio monocristallino, perché ha una producibilità più alta, ma che è rigido, a differenza delle tecnologie thin-film, che sono più facilmente integrabili nell'involucro.</li><li>• L'involucro degli edifici è sempre più dinamico (BIPV, shading mobile), ma la potenzialità al momento è limitata dalla scarsa flessibilità di queste soluzioni.</li></ul>

## 2.1.4 Casi studio

### 2.1.4.1 Scuola nZEB "Italo Calvino" a Novate Milanese

L'intervento è un edificio di nuova costruzione per la scuola primaria «Italo Calvino» a Novate Milanese, volto ad accogliere 15 classi per un totale di 375 studenti. Il sistema costruttivo è un prefabbricato in legno che rispetta i requisiti energetici, antisismici e risponde anche alle esigenze di isolamento termoacustico. Gli elementi opachi e trasparenti, realizzati in PVC con doppio vetro, rispettano i valori minimi di legge riportati dal DM requisiti minimi.

Figura 7 – Scuola nZEB "Italo Calvino" a Novate Milanese [Fonte: Osservatorio nZEB, ENEA<sup>14</sup>]

Per l'impianto di climatizzazione è stata prevista l'installazione di un sistema a pompa di calore elettrica aria-aria abbinato ad un sistema fotovoltaico di 46.5 kWp, che provvede a soddisfare circa 85% del fabbisogno energetico dell'edificio. In Tabella 3 sono riassunti le principali caratteristiche, gli indicatori e i sistemi utilizzati per l'edificio.



<sup>14</sup> Osservatorio nZEB, ENEA 2018 [https://www.enea.it/it/seguici/pubblicazioni/pdf-volumi/2019/osservatorio\\_nzeb\\_2019.pdf](https://www.enea.it/it/seguici/pubblicazioni/pdf-volumi/2019/osservatorio_nzeb_2019.pdf)

GENERALE	Nome del progetto	Scuola Italo Calvino
	Area geografica	Novate milanese, Italia
	Zona Climatica	E
	Data intervento	2017
	Tipo intervento	Nuova costruzione
	Destinazione d'uso	Non Residenziale - Scuola
	Numero piani e unità	2 piani, 1 unità
	Superficie [m <sup>2</sup> ]	2.200
	Fonte dei dati	ENEA - Progettisti
INDICATORI	Copertura da RES	85% - FTV 46.5 kWp
	Classe Energetica	A4
	Rapporto di Forma S/V	0.43
	EPgl [kWh/m <sup>2</sup> a]	19.88
	EPgl,nren [kWh/m <sup>2</sup> a]	2.98
	EPH,nd [kWh/m <sup>2</sup> a]	102.07
	EPC,nd [kWh/m <sup>2</sup> a]	n.d.
	H'T [W/m <sup>2</sup> K]	0.142
	Asol,est/Asup,utile	0.04
EDIFICIO	Trasmittanza Involucro Opaco [W/m <sup>2</sup> K]	Uparete=0,154 Ucopertura=0,133 Usolaio=0,187 Usoffitto=0,114
	Trasmittanza Involucro trasparente [W/m <sup>2</sup> K]	Uvetro=1,1 Utelaio=1,2
	Impianto Climatizzazione	PDC aria-aria
	Impianto ACS	PDC dedicata
	Ventilazione Meccanica	n.d.

Tabella 3 – Caratteristiche e Indicatori prestazionali Scuola nZEB “Italo Calvino” [Fonte: Osservatorio nZEB, ENEA<sup>14</sup>]

### 2.1.4.2 Edificio monofamiliare, zona Città Studi Milano

L'intervento è un risanamento conservativo con recupero del sottotetto di un edificio situato in un cortile nello storico quartiere del Casoretto a Milano. Gli elementi opachi e trasparenti rispettano i valori minimi di legge riportati dal DM requisiti minimi. La copertura, con inclinazione a due falde, è composta da alluminio, legno di abete, poliuretano espanso, barriera vapore, lana di

roccia e cartongesso, ed ha un'elevata riflettanza solare. I serramenti in legno con doppio vetro basso-emissivo sono dotati di un sistema di schermatura esterna con persiane. Le pareti verticali sono composte da un sistema di isolamento termico a cappotto in polistirene espanso sinterizzato, blocchi laterizi semipieni ed intonaco di gesso di finitura.

Riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria sono in carico ad una pompa di calore

aria-acqua, accoppiata ad un sistema solare fotovoltaico. L'energia prodotta dalle fonti di energia rinnovabili permette una copertura del fabbisogno energetico dell'edificio del 81%. Ad integrazione della pompa di calore è installata anche una caldaia a condensazione. L'impianto di distribuzione è a pannelli radianti. La temperatura di mandata è regolata in funzione della temperatura esterna da una centralina climatica. In Tabella 4 sono riassunti le principali caratteristiche, gli indicatori ed i sistemi utilizzati per l'edificio.

### 2.1.4.3 Integrazione BIPV in edificio storico tutelato

L'intervento si inserisce nel contesto di ristrutturazione e ampliamento del Municipio di Linares, in Andalusia (Spagna), che ha portato alla riqualificazione di un edificio di valore storico-monumentale e rappresentativo per la città. Il lucernario esistente è stato sostituito con vetri fotovoltaici in silicio cristallino di forma rettangolare e triangolare per una superficie di circa 80 m<sup>2</sup>.

GENERALE	Nome del progetto	Edificio monofamiliare
	Area geografica	Milano
	Zona Climatica	E
	Data intervento	2016
	Tipo intervento	Ristrutturazione
	Destinazione d'uso	Residenziale
	Numero piani e unità	2 piani, 1 unità
	Superficie [m <sup>2</sup> ]	62.0
	Fonte dei dati	ENEA - Progettisti
INDICATORI	Copertura da RES	81% - FTV 2.96 kWp
	Classe Energetica	A4
	Rapporto di Forma S/V	0.8
	EPgl [kWh/m <sup>2</sup> a]	94.2
	EPgl,nren [kWh/m <sup>2</sup> a]	17.8
	EPH,nd [kWh/m <sup>2</sup> a]	47.95
	EPC,nd [kWh/m <sup>2</sup> a]	16.65
	H'T [W/m <sup>2</sup> K]	0.306
Asol,est/Asup,utile	0.02	
EDIFICIO	Trasmittanza Involucro Opaco [W/m <sup>2</sup> K]	Uparete=0,220 Ucopertura=0,0.098 Usolaio=0,335
	Trasmittanza Involucro trasparente [W/m <sup>2</sup> K]	Uvetro=1,0 Utelaio=1,4
	Impianto Climatizzazione	PDC aria-acqua EER=4.19, COP=3.85 + Caldaia a condensazione
	Impianto ACS	PDC aria-acqua
	Ventilazione Meccanica	n.d.

Tabella 4 – Caratteristiche e Indicatori prestazionali Edificio monofamiliare, zona Città Studi Milan [Fonte: Osservatorio nZEB, ENEA<sup>14</sup>]

Nome del progetto	Municipio di Linares
Data intervento	Non disponibile
Area geografica	Linares - Jaèn, Andalusia, Spagna
Tipologia di applicazione BIPV	Vetri fotovoltaici con celle in silicio cristallino
Posizione BIPV	Lucernario su corte interna - sostituzione lucernario esistente
Superficie BIPV installata	80 m <sup>2</sup>
Potenza di picco BIPV	5 kWp
Ambito tutelato/edificio storico	Edificio del XIX secolo di importante valenza storica ed architettonica per la città.

Tabella 5 – Caratteristiche installazione BIPV sul Municipio di Linares [Fonte: Onyx Solar13]

Il lucernario semi-piano è costituito da vetrocamera di vetro fotovoltaico, camera interna con gas e vetro interno basso emissivo. La disposizione delle celle nei vetri è stata studiata per lasciare parti vetrate libere per l'ingresso della luce naturale. Il lucernario assolve quindi diverse funzioni. La produzione di energia elettrica fotovoltaica dell'intervento è stimata in 35 anni pari a 208 MWh e le emissioni di CO<sub>2</sub> evitate nello stesso arco temporale sono pari a 139 tonnellate.

#### 2.1.4.4 Integrazione BIPV in edificio industriale dismesso

Il Magazzino Doganale di Essen (Belgio) è un edificio storico tutelato in stile neorinascimentale del

1902, realizzato in muratura e struttura in acciaio. Il fabbricato nel 2018-2019 è stato oggetto di una riqualificazione mirata ad introdurre sistemi e materiali sostenibili in un contesto storico di pregio. L'intervento ha previsto anche la realizzazione di un lucernario realizzato con vetri fotovoltaici in sostituzione dell'esistente (ormai scomparso) per una superficie di circa 750 m<sup>2</sup>, sviluppato per tutta la lunghezza dell'edificio. I vetri fotovoltaici integrati nella vetrocamera sono composti da celle in silicio amorfo semi-trasparente, che hanno permesso di raggiungere il desiderato livello di trasparenza per l'illuminazione interna dell'edificio. I vetri, oltre a generare elettricità, lasciano penetrare la luce. Queste analisi hanno permesso di definire una soluzione che



Figura 8 – Vista esterna del Municipio di Linares [Fonte: Onyx Solar13]

Nome del progetto	Magazzino Doganale
Data intervento	2018-2019
Area geografica	Essen, Belgio
Tipologia di applicazione BIPV	Vetri fotovoltaici con celle in silicio amorfo
Posizione BIPV	Lucernario su copertura - sostituzione lucernario esistente
Superficie BIPV installata	750 m <sup>2</sup>
Potenza di picco BIPV	Non disponibile
Ambito tutelato/edificio storico	Edificio adibito a magazzino doganale del 1902 situato al confine tra Olanda e Belgio.

Tabella 6 – Caratteristiche installazione BIPV sul Magazzino Doganale Essen [Fonte: Onyx Solar<sup>13</sup>]



Figura 9 – Vista esterna dell'edificio a seguito della riqualificazione [Fonte: Onyx Solar<sup>13</sup>]

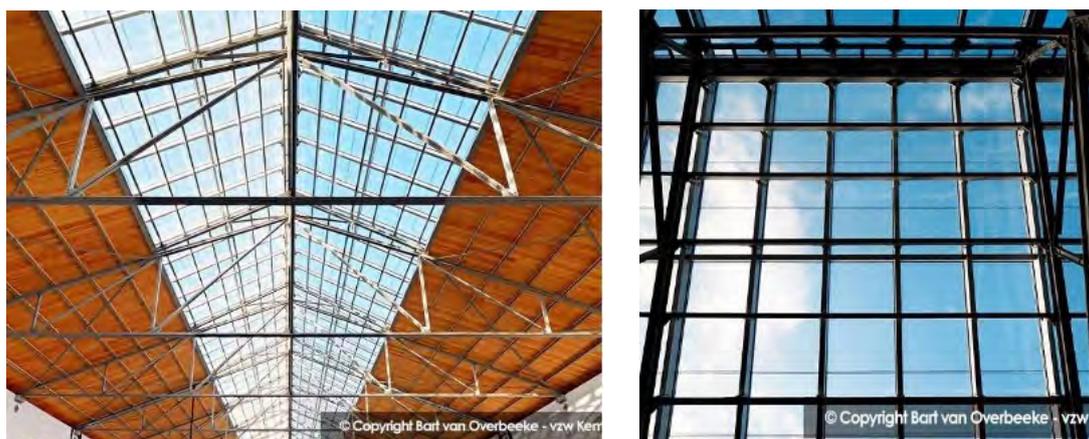


Figura 10 – Vista interna della nuova copertura e della vetrata fotovoltaica integrata nel lucernario [Fonte: Onyx Solar<sup>13</sup>]

lasciasse entrare una adeguata quantità di luce solare per garantire l'illuminazione naturale dell'edificio, ma al tempo stesso non avesse un impatto negativo sulle strutture in acciaio del tetto storico. Il BIPV è in grado di produrre in 35 anni circa 627 MWh di energia elettrica e di evitare l'emissione di 420 tonnellate di

CO<sub>2</sub> nell'atmosfera.

### 2.1.4.5 Integrazione edificio di nuova costruzione

La Copenhagen International School è un edificio di nuova costruzione situato nel porto del nuovo distretto sostenibile Nordhavn. La facciata

dell'edificio è completamente rivestita da sistemi BIPV, per un totale di 6.000 m<sup>2</sup>. I pannelli presentano una colorazione cangiante, che tende ad assumere dove il colore del singolo pannello può apparire in molte sfumature diverse a seconda dell'inclinazione del modulo e di come varia la luce durante il giorno.

I diversi moduli presentano inclinazioni diverse per aumentare l'effetto dei giochi di luci e ombre sulla facciata. La produzione energetica dei sistemi BIPV è in grado di coprire il 50% del consumo di energia elettrica totale annuo della scuola.



Figura 11 – Vista esterna dell'edificio (Successful Building Integration of Photovoltaics, IEA 2021<sup>15</sup>)



Figura 12 – Dettaglio facciata [Fonte: Successful Building Integration of Photovoltaics, IEA 2021<sup>15</sup>]

Nome del progetto	Scuola internazionale Copenhagen
Data intervento	2017
Area geografica	Copenhagen, Danimarca
Tipologia di applicazione BIPV	Silicio monocristallino con vetro cromatico
Posizione BIPV	Rivestimento di facciata
Superficie BIPV installata	6.000 m <sup>2</sup>
Potenza di picco BIPV	700 kWp
Ambito tutelato/edificio storico	Ambito non tutelato

Tabella 7 – Caratteristiche installazione BIPV sulla Scuola internazionale di Copenhagen [Fonte: Successful Building Integration of Photovoltaics, IEA 2021<sup>15</sup>]

## 2.2 Nature Based Solutions

### 2.2.1 Descrizione/inquadramento

La Commissione Europea definisce le NBS come “Soluzioni tecniche che usano, si ispirano o imitano elementi naturali e che forniscono contemporaneamente benefici ambientali, sociali ed economici”. Secondo l’Unione Europea per la Conservazione della Natura (IUCN) le NBS sono uno “Strumento utile a perseguire obiettivi quali l’incremento della sostenibilità dei sistemi urbani, il recupero degli ecosistemi degradati, l’attuazione di interventi adattivi e di mitigazione rispetto ai cambiamenti climatici e il miglioramento della gestione

del rischio e l’implementazione della resilienza”. Le NBS possono quindi essere considerate come delle misure per proteggere, gestire o ristrutturare gli ecosistemi in un modo sostenibile, che forniscono vantaggi per il benessere umano e per la biodiversità. Le NBS possono essere suddivise in tre macrogruppi, a seconda che esse riguardino: (1) ambiente costruito; (2) utilizzo del suolo e; (3) gestione delle acque meteoriche.

Le NBS applicate in ambiente costruito, tra le quali spiccano tetti, pareti, balconate e pergolati verdi, possono contribuire a ridurre il fabbisogno energetico dell’involucro edilizio, e rientrano pertanto tra le misure applicabili per ridurre i consumi secondo il principio dell’EEF. Le tabelle seguenti riassumono i principali vantaggi delle quattro tipologie di NBS selezionate per l’ambiente costruito.

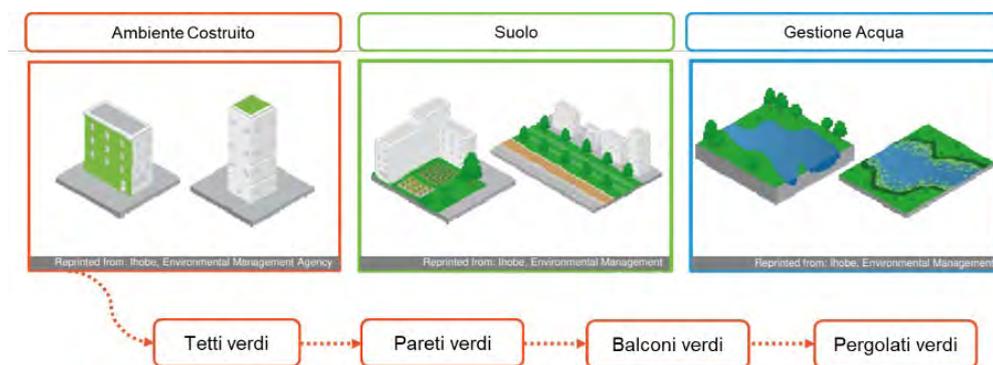


Figura 13 – Tipologie di NBS [Fonte: Metroadapt18]

Tetti Verdi	
<b>Descrizione</b>	Coperture di un fabbricato caratterizzate da un impianto vegetale e un substrato su uno strato di supporto strutturale impermeabile.
<b>Impatto a livello dell'edificio</b>	Risparmio energetico: riduzione trasmittanza e del carico termico
<b>Impatto ambientale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drenaggio delle acque meteoriche</li> <li>• Riduzione inquinamento atmosferico</li> <li>• Riduzione inquinamento acustico</li> <li>• Tutela Biodiversità</li> <li>• Riduzione UHI</li> </ul>
<b>Dati</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Runoff reduction 60-100%</li> <li>• Energy reduction 2-44%</li> </ul>
<b>Svantaggi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo maggiore</li> <li>• Necessità di irrigazione</li> </ul>

Tabella 8 – Caratteristiche tetti verdi [Fonte: Catalogue of NBS, LABSIMURB<sup>19</sup>]

Pareti Verdi	
<b>Descrizione</b>	Pareti di un edificio vegetate
<b>Impatto a livello dell'edificio</b>	Risparmio energetico: riduzione trasmittanza e del carico termico
<b>Impatto ambientale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione inquinamento atmosferico</li> <li>• Riduzione inquinamento acustico</li> <li>• Tutela Biodiversità</li> <li>• Riduzione UHI</li> </ul>
<b>Dati</b>	• Internal insulated wall (15cm of polystyrene with 30cm of concrete) reduction in cooling energy consumptions 4.7- 6.2%
<b>Svantaggi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo maggiore</li> <li>• Eventuali danni all'involucro</li> </ul>

Tabella 9 – Caratteristiche pareti verdi [Fonte: Catalogue of NBS, LABSIMURB<sup>19</sup>]

Balconata Verde	
<b>Descrizione</b>	Progettazione del verde di balconi e terrazzi
<b>Impatto a livello dell'edificio</b>	Risparmio energetico: riduzione fabbisogno per raffrescamento, protezione dall'irraggiamento
<b>Impatto ambientale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione inquinamento atmosferico</li> <li>• Riduzione inquinamento acustico</li> <li>• Tutela Biodiversità</li> <li>• Riduzione UHI</li> </ul>
<b>Svantaggi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo maggiore</li> <li>• Aumento fabbisogno per riscaldamento</li> </ul>

Tabella 10 – Caratteristiche Balconate verdi Caratteristiche pareti verdi [Fonte: Catalogue of NBS, LABSIMURB<sup>19</sup>]

Pergolati Verdi	
<b>Descrizione</b>	Strutture di sostegno per specie arbustive e rampicanti che possano in breve tempo andare a costituire un'area ombreggiata
<b>Impatto a livello dell'edificio</b>	Risparmio energetico: protezione dall'irraggiamento
<b>Impatto ambientale</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione inquinamento atmosferico</li> <li>• Riduzione inquinamento acustico</li> <li>• Riduzione UHI</li> </ul>
<b>Svantaggi</b>	• manutenzione piuttosto attenta e continuativa

Tabella 11 – Caratteristiche pergolati verdi Caratteristiche pareti verdi [Fonte: Catalogue of NBS, LABSIMURB<sup>19</sup>]

<sup>16</sup> Definizione di NBS, Commissione Europea [https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions\\_en](https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/nature-based-solutions_en)

<sup>17</sup> NBS Framework, IUNC 2016 [https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC\\_2016\\_RES\\_069\\_EN.pdf](https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC_2016_RES_069_EN.pdf)

### 3.1.1. Norme/procedure di riferimento

Sebbene a livello internazionale siano stati sviluppati diversi piani strategici per l'implementazione delle NBS, a livello nazionale non vi è nessuna normativa che imponga dei requisiti minimi per la loro installazione. Questo, unito alla scarsa conoscenza dell'argomento e a questioni economiche, ha fatto da freno negli anni alla diffusione degli elementi verdi in ambiente costruito. Ciò nonostante, negli ultimi anni si è vista una repentina crescita nell'interesse e nell'utilizzo del verde, soprattutto in progetti di rigenerazione urbana e opere di larga scala, dettata sia da questioni estetiche che da una maggior sensibilizzazione sui temi legati al cambiamento climatico. In linea con il crescente interesse per questo tema nell'ultimo decennio sono stati promossi diversi studi e progetti di ricerca, volti ad emanare normative e linee guida per l'installazione

del verde a livello nazionale. Tra le azioni intraprese dal Governo per favorire economicamente la diffusione dei tetti verdi vi sono i bonus fiscali per gli interventi di miglioramento delle prestazioni energetiche, come ad esempio il "Conto Termico" (Decreto MISE 16/02/2016) e il "Bonus Giardino" (Legge di bilancio del 30/12/2021 n. 234). Per la progettazione e realizzazione dei tetti verdi è in vigore la UNI 11235:2007, che però si concentra principalmente sulle caratteristiche dei singoli elementi o strati, fornendo poche indicazioni sulle prestazioni del sistema e sugli aspetti botanici. Non sono regolamentate in modo definito invece gli altri tipi di verde pensile, come pareti verdi, balconate o pergole. Esistono tuttavia diverse linee guida per la progettazione del verde pensile, frutto dei molteplici progetti di ricerca banditi sul tema delle NBS.

### 3.1.2. Commenti

- Le NBS hanno verosimilmente una elevata potenzialità di implementazione grazie alle loro caratteristiche palesemente "green". Va però sempre ricordato, anche per evitare fenomeni di "green washing", che esse rappresentano un compendio alle misure – attive e passive – che vengono analizzate negli altri capitoli di questa pubblicazione.
- Laddove le NBS prevedano l'utilizzo di intercapedini, esse possono anche essere utilizzate per ottenere il preriscaldamento dell'aria<sup>20</sup>.
- Ad oggi è ancora difficile quantificare a livello di calcolo l'apporto delle NBS. Si affacciano tuttavia sul mercato software dedicati<sup>21</sup>.
- Le criticità maggiori relative alle NBS sono dovute agli elevati costi e al fatto che i benefici sono prevalentemente per la collettività e non per gli investitori.

<sup>20</sup> A novel vertical greenery module system for building envelopes: The results and outcomes of a multidisciplinary research project, Serra, V. et al., 2017

<sup>21</sup> <https://www.r2msolution.com/it/services/prodotti-innovativi/greenpass-2/>

## 2.2.2 Casi studio

### 2.2.2.1 Tetto verde del centro commerciale Carosello di Carugate

La copertura a verde del centro commerciale Carosello di Carugate, in parte piana ed in parte curva, contribuisce a migliorare l'impatto estetico ed ambientale dell'intera area commerciale. La copertura del nuovo fabbricato è realizzata con un tetto giardino con inverdimento intensivo leggero a prato. Il tetto verde risulta completamente fruibile e la vegetazione è costituita sia da un manto erboso a prato che da vegetazione arbustiva. La copertura è in lamiera grecata ed è composta da una barriera al vapore con membrana bituminosa, un pannello coibente in polistirene, uno strato impermeabilizzante antiradice

in lega di poliolefine. Complessivamente la copertura copre un'area complessiva di 13.000 m<sup>2</sup>, dei quali 11.500 m<sup>2</sup> sono adibiti a verde pensile.

### 2.2.2.2 “Living wall” del centro commerciale il Fiordaliso di Rozzano

La Parete verde in questione, nota come Living wall, si trova nel centro commerciale il Fiordaliso di Rozzano, vicino a Milano, e copre una superficie totale di 1.250 m<sup>2</sup>. Per realizzarla, sono state installate ben 44mila piante di 200 specie diverse, comprendenti sia erbe ornamentali, che piante grasse come i Sedum e piante robuste e quasi infestanti, caratterizzate da un'alta resistenza. Le piante sono collegate a delle cassette metalliche incastrate nella parete verticale, contenenti dello sfagno cileno nel terriccio, una fibra che non marcisce anche se a



Figura 14 – Tetto estensivo di Carrefour a Carugate [Fonte: Catalogue of NBS, LABSIMURB<sup>19</sup>]

Nome del progetto	Centro commerciale il Fiordaliso
Data intervento	2016
Area geografica	Rozzano, Milano
Tipologia di NBS	Parete verde
Tipologia di vegetazione	Tappeto erboso in rotoli Arbusti
Superficie installata	11.500 m <sup>2</sup>

Tabella 12 – Caratteristiche installazione tetto verde sul Centro commerciale Carosello [Fonte: Catalogue of NBS, LABSIMURB<sup>19</sup>]



Figura 15 – Parete verde nel centro commerciale il Fiordaliso a Rozzano

Nome del progetto	Centro commerciale Carosello
Data intervento	2008
Area geografica	Carugate, Milano
Tipologia di NBS	Parete verde
Tipologia di vegetazione	Erbe ornamentali Sedum Piante robuste e quasi infestanti
Superficie installata	1.250 m <sup>2</sup>

Tabella 13 – Caratteristiche installazione parete verde nel centro commerciale il Fiordaliso [Fonte: Catalogue of NBS, LABSIMURB<sup>19</sup>]

continuo contatto con l'acqua. Le piante vivono su questo tipo di muschio facendo crescere le radici e senza in diretto contatto con la terra e vengono annaffiate da un impianto goccia a goccia che porta l'acqua direttamente vicino alle radici, senza sprecarla. Per soddisfare l'alto fabbisogno d'acqua di queste piante sono state inoltre installate 2 cisterne per l'acqua piovana da 800 m<sup>3</sup> collocate sotto l'edificio.

### 2.2.2.3 Balconata verde Atlas Hotel Hoian in Vietnam

L'Atlas Hotel Hoian trova nella "Città Vecchia" di Hoi An in Vietnam, un'area nominata dall'UNESCO Patrimonio dell'Umanità. L'hotel a cinque piani comprende 48 camere e varie funzioni per il tempo libero come ristorante, caffetteria, bar sul tetto, spa, palestra e piscina. I balconi dell'edificio sono rivestiti da una serie di fioriere che fanno da schermature solari e che



Figura 16 – Atlas Hotel Hoi An in Vietnam

Nome del progetto	Atlas Hotel Hoian
Data intervento	2016
Area geografica	Vietnam
Tipologia di NBS	Balconata verde
Tipologia di vegetazione	n.d.
Superficie installata	3.115 m <sup>2</sup>

Tabella 14 – Caratteristiche installazione balconata verde dell'Atlas Hotel Hoian [Fonte: Catalogue of NBS, LABSIMURB<sup>19</sup>]

consentono una ventilazione naturale degli ambienti per ridurre al minimo l'uso del condizionatore. L'uso di questi elementi verdi e naturali incarna il concetto di House for Trees: integrare il verde nel design come un modo per ringiovanire le aree urbane e contribuire al miglioramento della società riconnettendo l'uomo con la natura.

### 2.2.2.4 Pergolato verde

Il sistema di pergolato verde è implementato nella città spagnola di Valladolid lungo 390 m di strada pedonale. La NBS è composta da una struttura tessile in PVC di forma triangolare, tesa tra le facciate degli edifici, da 5 a 7 metri sopra la strada, sulla quale cresce un sottile strato di vegetazione. Su questa struttura tessile

è installato un substrato inerte, che viene ricoperto di semi che germinano e crescono sulla struttura.

Le strutture verdi sono collegate a dei tralicci in alluminio, lungo i quali sono installate le tubazioni dell'acqua. Ogni struttura tessile ombreggiata di verde ha due tubi che si collegano con quello principale nella travatura reticolare. Le macchine per l'impianto di irrigazione saranno installate in un'edicola inutilizzata nelle vicinanze. Gli ombreggianti vegetali contribuiscono a ridurre le temperature locali in estate, catturare e trattare gli inquinanti atmosferici, fare da barriera acustica, aumentare l'attività commerciale e il benessere ed aumentare i valori immobiliari.



Figura 17 – Percorsi ombreggiati verdi a Valladolid (SP) [Fonte: OPPLA<sup>22</sup>]

Nome del progetto	LEAFSKIN® Green Shady Structure
Data intervento	n.d.
Area geografica	Spagna
Tipologia di NBS	Pergolato verde
Tipologia di vegetazione	n.d.
Superficie installata	3.115 m <sup>2</sup>

Tabella 15 – Caratteristiche installazione Percorsi ombreggiati verdi a Valladolid [Fonte: OPPLA<sup>22</sup>]

<sup>22</sup> OPPLA <https://oppla.eu/casestudy/19393>

## 2.3 Altre misure di efficientamento

### 2.3.1 Ottimizzazione di impianti HVAC

I sistemi di controllo e la strategia che li governa sono cruciali nel determinare l'efficienza dei sistemi HVAC. Essi stabiliscono infatti quando, a che regime e per quanto tempo un impianto deve attivarsi. È noto che gli impianti meccanici lavorano ad efficienze variabili a seconda delle condizioni al contorno, quali la temperatura esterna, quella interna agli ambienti, la temperatura degli accumuli termici, tutti fattori che influenzano il carico termico (o frigorifero) complessivo e, quindi, il fattore di carico degli apparecchi, a cui è direttamente legata l'efficienza operativa. Altro fattore che viene fortemente influenzato dai sistemi di controllo è la quantità di cicli di accensione e spegnimento, che ha effetto sulla vita utile degli impianti. Va poi considerato che le richieste che un utente pone agli

impianti dipendono dalle abitudini dell'utenza stessa e che tali abitudini, se adeguatamente analizzate e comprese, possono essere sfruttate a vantaggio dell'efficienza degli impianti.

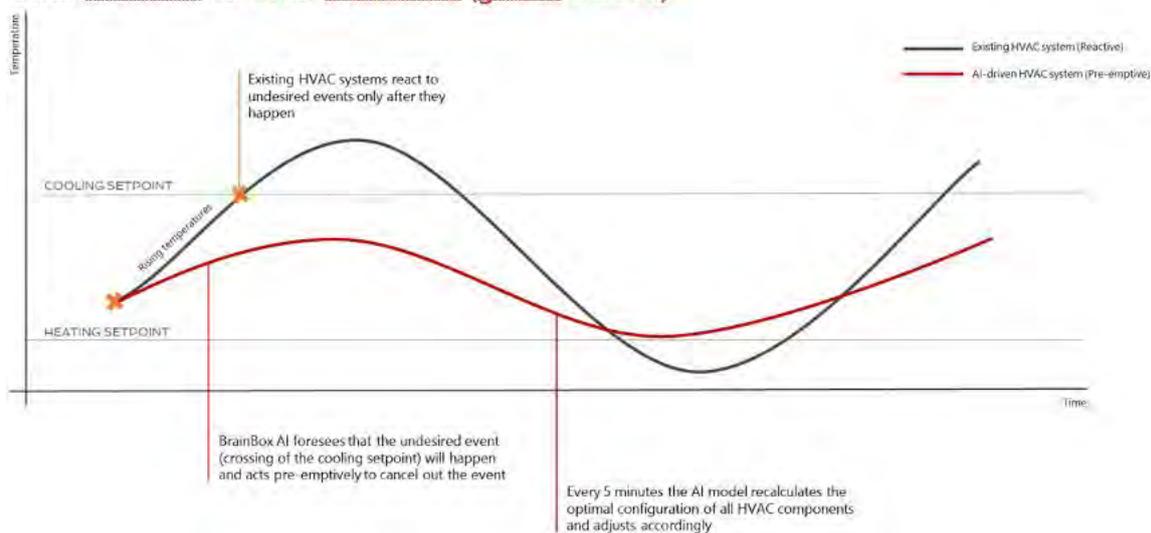
Per questo motivo stanno affacciandosi sul mercato sistemi di gestione dell'energia (BEMS – Building Energy Management Systems) che, utilizzando l'intelligenza artificiale, studiano il funzionamento degli impianti HVAC ed elaborano strategie migliorative.

**Brainbox AI (BBAI)**, per esempio, ottimizza l'**automazione degli edifici** attraverso l'**intelligenza artificiale**.

È costituito da un componente elettronico che si aggancia al sistema BEMS e lo mette in collegamento con l'intelligenza artificiale installata su un cloud. BBAI in questo modo è in grado di ottimizzare il funzionamento degli impianti HVAC in modo automatico e diretto, applicando modelli di AI nell'ambito del deep learning e del **controllo predittivo**, consentendo di applicare le migliori regolazioni possibili, sfruttando la sensoristica già presente sulla rete del BEMS.

## RISPARMIO ENERGETICO A FRONTE DI UN MAGGIOR COMFORT

BMS Reattivo vs. **BMS Predittivo (grazie a BBAI)**



Brainbox AI e vantaggi di BMS Predittivo

In Italia diversi edifici ad uso uffici e centri commerciali stanno già sperimentando la modalità predittiva con un risparmio energetico fino al 25%, una riduzione fino al 40% dell'impronta di carbonio e un aumento fino al 60% del comfort degli occupanti.

Va inoltre considerato che i vari componenti degli impianti, lavorando in modo più efficiente e essendo meno sollecitati, presentano una vita utile più estesa, anche fino al 50%.

### 2.3.2 Illuminazione

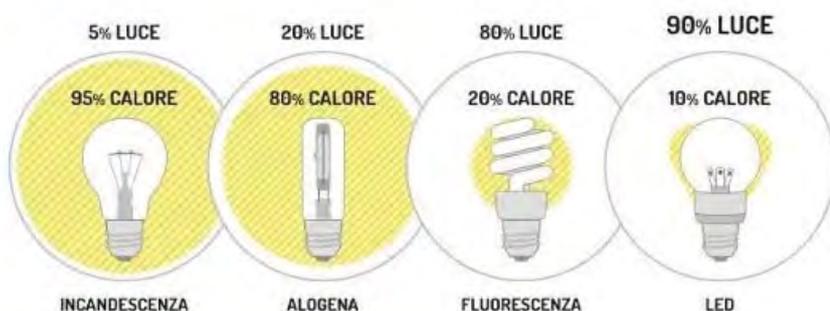


Figura 18 – Evoluzione delle tecnologie di illuminazione (fonte: ENEA)

L'efficienza energetica nel settore dell'illuminazione, sia interna sia esterna, ha fatto notevoli passi avanti negli ultimi 20 anni. Si è infatti passati dall'utilizzo di lampadine a incandescenza a sistemi meno energivori, quali le lampade a fluorescenza e, oggi ormai diffusissimi, i LED.

Oltre ad essere più efficienti (come mostrato in Figura 18) le lampade a LED hanno una vita utile fino a 10

volte maggiore di quelle a fluorescenza (100.000 ore rispetto a 10.000 ore), che ne riduce anche l'impatto sul ciclo di vita. Il maggiore costo delle lampade a LED si ripaga quindi rapidamente.

Oltre alla tecnologia di generazione della radiazione luminosa incide sui consumi energetici il tipo di sistema di controllo e la strategia di controllo in esso implementata: sistemi di attenuazione (dimmer), sensoristica di movimento e la sensoristica per la misura della luce naturale presente negli spazi da illuminare concorrono ad una riduzione significativa del consumo per illuminazione.

Anche le plafoniere influenzano il consumo energetico dei dispositivi di illuminazione: sistemi riflettenti evitano la dispersione di radiazione luminosa in direzioni non desiderate, convogliandola dove serve effettivamente.

Nella tabella seguente sono riportate le scelte tecnologiche e le raccomandazioni per contenere il più possibile i consumi dei dispositivi di illuminazione.

TIPOLOGIA	DESCRIZIONE
Massimi valori di intensità	Il protocollo LEED definisce massimi valori di W/m <sup>2</sup> a seconda della destinazione d'uso di un ambiente. In caso di utilizzo di LED tali valori sono normalmente rispettati.
Massimizzazione della luce naturale	Per ridurre la quantità di energia necessaria ad illuminare un ambiente è possibile ottimizzare l'orientamento di un edificio e l'esposizione delle superfici trasparenti.

Sfruttamento della luce naturale	In ogni ambiente le zone a ridosso di superfici trasparenti dovrebbero essere collegate ad un circuito separato ed essere attenuabili in base alla quantità di luce naturale disponibile. Ciò è possibile grazie ad opportuni sensori installati lungo le finestre.  Il protocollo LEED considera questo un prerequisito. Se presenti, questi sistemi influenzano inoltre positivamente le simulazioni dei consumi energetici.
Sensoristica di movimento	È indicata nei bagni, nei corridoi, nelle scale, nei locali tecnici, nei garage. Il protocollo LEED considera questo un prerequisito.
Sistemi di attenuazione automatici	L'automatizzazione in base alla luce esterna permette di adattare l'intensità della luce artificiale (e quindi i consumi) alle effettivamente condizioni ambientali. Il protocollo LEED considera questo un prerequisito.
Accensione parziale delle luci	Ogni ambiente dovrebbe essere avere due o più circuiti per l'accensione e lo spegnimento delle luci, in modo da rendere possibile l'accensione di solo una parte delle luci (es. il 50%). Il protocollo LEED considera questo un prerequisito.
Illuminazione esterna	L'utilizzi di plafoniere a cut-off per ridurre l'inquinamento luminoso ha come effetto anche quello di aumentare l'efficienza, convogliando tutta la radiazione luminosa verso il basso, invece che disperderne parte verso l'alto.

### 2.3.3 Impianti di movimentazione delle persone

Nell'Unione Europea si contano approssimativamente 5 milioni di ascensori e oltre 75.000 tra scale mobili e marciapiedi mobili. Il loro consumo di energia oscilla mediamente tra il 3 e il 5% del consumo complessivo di un edificio<sup>23</sup>. Con la crescita dei requisiti di comfort, il consumo energetico negli edifici tende ad aumentare, inclusa la quota parte relativa alla movimentazione delle persone.

Secondo uno studio del 2012, il potenziale di aumento dell'efficienza degli ascensori era di oltre 60%, mentre quello di scale e marciapiedi mobili era di circa 30%<sup>24</sup>. KONE, una delle aziende leader nella produzione di sistemi di movimentazione delle persone, stima che il proprio modello di punta abbia raggiunto in circa 30 anni un aumento di efficienza pari a quasi il 90%.

<sup>23</sup>Energy Efficient Elevators and Escalators, Intelligent Energy Europe 2010

<sup>24</sup>Energy-efficient elevators and escalators in Europe: An analysis of energy efficiency potentials and policy measures, De Almeida, A., Hirzel, S., Energy and Buildings, 2012

## KONE's current volume elevator is up to 90% more energy efficient than in the 90s

Annual energy consumption (kWh/year)

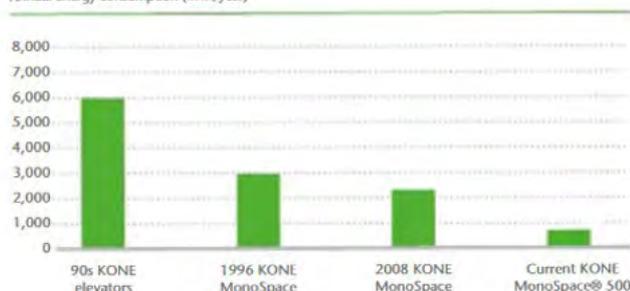


Figura 19 Aumento di efficienza del modello di punta degli ascensori KONE negli ultimi 20 anni (KONE)

I consumi di questi sistemi sono regolamentati in due principali normative, la ISO 25745 e la VDI 4707. Secondo ISO 25745 i principali parametri che influenzano l'efficienza energetica di un ascensore sono:

- destinazione d'uso
- velocità

- carico
- numero di piani e distanza percorsa
- drive (rigenerativo/non rigenerativo)
- illuminazione delle cabine (car lighting)
- sistemi di risparmio energetico su ventilazione e car light (quali la funzione di standby di illuminazione e ventilazione dell'aria dopo un certo periodo di tempo)

I principali protocolli di certificazione di sostenibilità degli edifici considerano anche l'impatto dei sistemi di movimentazione delle persone. Di seguito sono riportati, dal sito italiano di KONE, i requisiti considerati dal protocollo LEED v4 Building Design and Construction che riguardano, in modo diretto e indiretto, le prestazioni ambientali degli ascensori:

Requisiti	Tipo	Descrizione e requisiti
Messa in servizio e verifica		Preparare e mantenere un piano operativo e di manutenzione che contenga le informazioni necessarie per un edificio efficiente
Prestazioni energetiche minime	Prerequisiti	Soddisfare i requisiti obbligatori per gli ascensori: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Illuminazione di cabina</li> <li>• Ricircolo d'aria in cabina</li> <li>• Modalità standby</li> <li>• Areazione di cabina</li> </ul>
Gestione dei refrigeranti	Prerequisiti	Non utilizzare refrigeranti a base di clorofluorocarburi (CFC) nei nuovi sistemi di ventilazione, condizionamento e refrigerazione (HVAC&R)
Ottimizzazione delle prestazioni energetiche	Crediti	Dimostrare la presunta riduzione dei consumi energetici totali dell'edificio confrontati con i requisiti di base
Gestione ottimizzata dei refrigeranti	Crediti	Riduzione del buco nell'ozono e adesione al Protocollo di Montreal per minimizzare l'impatto diretto sui cambiamenti climatici

Divulgazione e ottimizzazione del prodotto per l'edilizia - dichiarazione ambientale del prodotto	Crediti	Utilizzare almeno 20 diversi prodotti installati in modo permanente con certificazione ambientale di prodotto (EPD) fabbricati da almeno 5 produttori diversi
Divulgazione e ottimizzazione del prodotto per l'edilizia – fornitura delle materie prime	Credito	Utilizzare almeno 20 diversi prodotti installati in modo permanente fabbricati da almeno 5 produttori diversi che abbiano pubblicato un report che includa gli impatti ambientali delle operazioni di estrazione e delle attività associate ai prodotti del fabbricante
Materiali a bassa emissione	Credito	Raggiungere la soglia del livello conformità alle emissioni, contenuto VOC dei materiali e metodi di controllo
Piano di gestione della qualità dell'aria interna durante la costruzione	Credito	Sviluppare e implementare un piano di gestione della qualità interna dell'aria (IAQ) durante la fase di costruzione e di cantiere

Tabella 16 – Contributo dei sistemi di movimentazione delle persone al protocollo LEED

Alcuni produttori di sistemi per la movimentazione delle persone offrono anche misure di Carbon Offset (si veda il capitolo 5.1) per bilanciare le emissioni “embodied” dei loro prodotti.

## 3 Fonti rinnovabili

### 3.1 Fonti rinnovabili

#### 3.1.1 Descrizione/inquadramento

Il Piano Energia e Clima (PNIEC), pubblicato nel gennaio 2020, è attualmente il documento di riferimento per gli obiettivi nazionali in tema di energia. Esso stabilisce gli obiettivi nazionali al 2030 sull'efficienza energetica, sulle fonti rinnovabili e sulla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, nonché gli obiettivi in tema di sicurezza energetica, interconnessioni,

mercato unico dell'energia e competitività, sviluppo e mobilità sostenibile, delineando per ciascuno di essi le misure che saranno attuate per assicurarne il raggiungimento.

I grafici seguenti mostrano l'incidenza delle fonti rinnovabili sui consumi lordi totali, elettrici e termici dal 2011 ad oggi e, in proiezione, da oggi al 2030. Risulta evidente che, per raggiungere gli obiettivi, le curve devono crescere in modo significativamente più rapido di quanto avvenuto negli ultimi 6-7 anni.

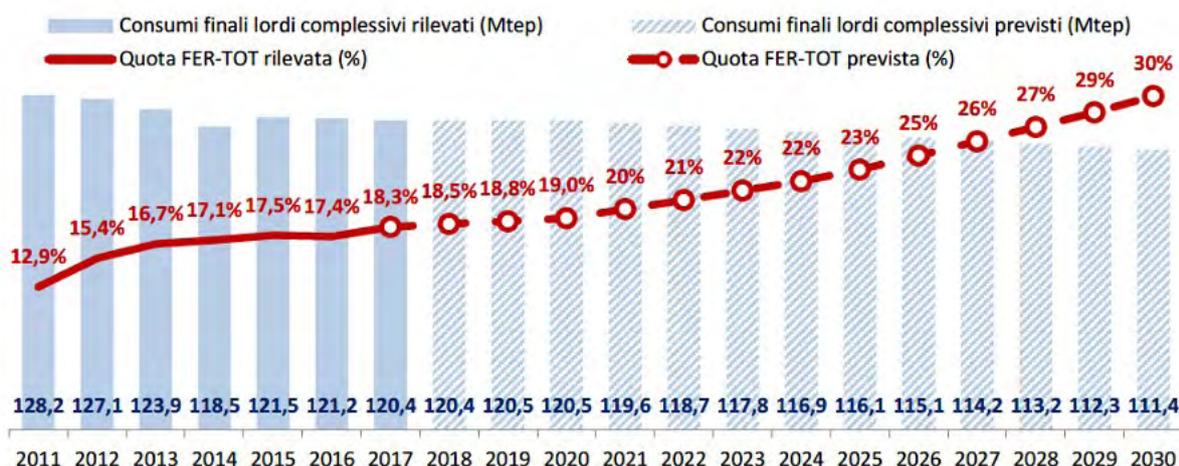


Figura 20 – Traiettorie della quota RES complessiva [Fonte: GSE e RSE]

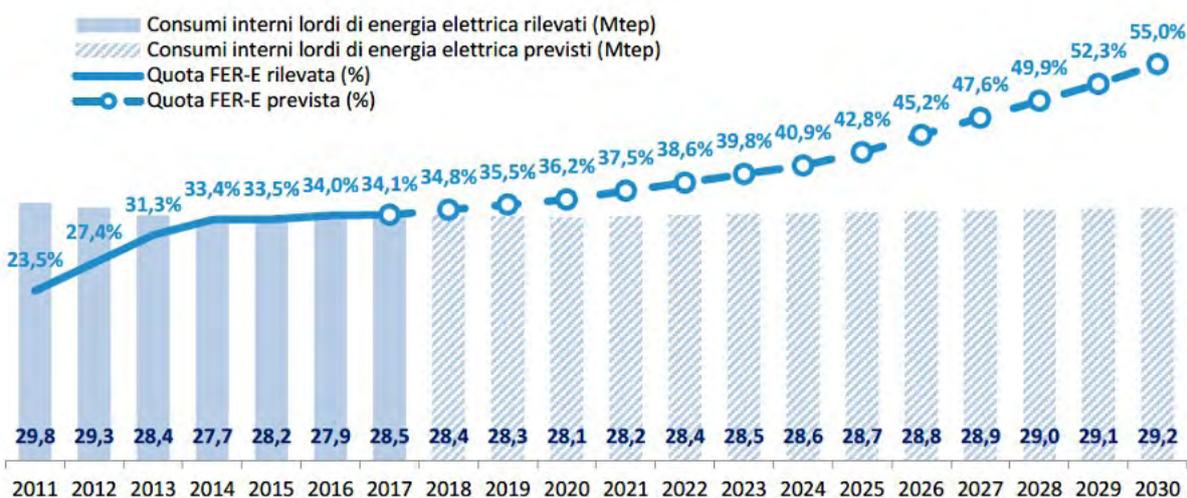


Figura 21 – Traiettorie della quota RES elettrica [Fonte: GSE e RSE]

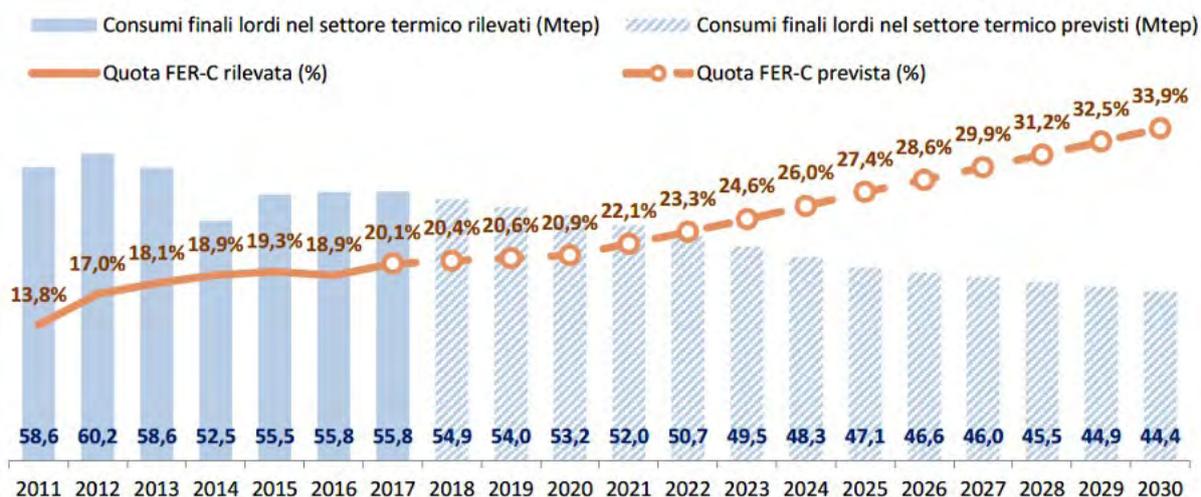


Figura 22 – Traiettorie della quota RES nel settore termico [Fonte: GSE e RSE]

### 3.1.2 Norme/procedure di riferimento

I principali strumenti legislativi che regolamentano oggi l'utilizzo di fonti RES negli edifici sono:

- Il decreto interministeriale 26 giugno 2015 “Requisiti minimi involucro e impianti”
- Il decreto legislativo 28/11 sulle taglie minimi di impianti da fonti RES termiche ed elettriche obbligatori.

Il Decreto “Requisiti minimi involucro e impianti” prescrive requisiti più severi per l'efficienza energetica degli edifici. È entrato in vigore gradualmente, in funzione della data nella quale è stato richiesto il permesso a costruire.

- a partire dal 01/10/2015 sono in vigore requisiti “intermedi”;
- dal 01/01/2019 gli edifici pubblici sono soggetti a requisiti più stringenti;

- tali requisiti stringenti, a partire dal 01/01/2021, vengono estesi agli edifici privati.

Dal 2021, quindi, gli edifici nuovi o soggetti a ristrutturazioni rilevanti devono essere del tipo nZEB, ovvero ad energia quasi zero.

Il decreto legislativo 28/11 attua la Direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili. Esso introduce, fra l'altro, obblighi di utilizzo di fonti energetiche rinnovabili negli edifici di nuova costruzione e in quelli sottoposti a ristrutturazioni rilevanti.

In particolare, *“gli impianti di produzione di energia termica devono essere progettati e realizzati in modo da garantire il contemporaneo rispetto della copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, del 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria e delle seguenti percentuali della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento:*

- il 20 per cento quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentata dal 31 maggio 2012 al 31 dicembre 2013;
- il 35 per cento quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentata dal 1° gennaio 2014 al 31 dicembre 2017;
- il 50 per cento quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è rilasciato dal 1° gennaio 2018.

[...] La potenza elettrica degli impianti alimentati da fonti rinnovabili che devono essere obbligatoriamente installati sopra o all'interno dell'edificio o nelle relative pertinenze, misurata in kW, è calcolata secondo la seguente formula:

$$P = 1/K * S$$

Dove S è la superficie in pianta dell'edificio al livello del terreno, misurata in m<sup>2</sup>, e K è un coefficiente (m<sup>2</sup>/kW).

L'obbligo di copertura tramite fonti rinnovabili dei consumi termici viene incrementato dal 50% al 60% (65% per gli edifici pubblici) a partire da giugno 2022, come sancito dal Decreto Legislativo n.199 dell'8 novembre 2021, che attua la Direttiva UE 11/12/2018, n. 2001, ovvero la cosiddetta RED II.

Il contesto normativo attualmente in vigore, in sintesi, richiede che i nuovi edifici e quelli sottoposti a ristrutturazione rilevante siano *"nearly Zero Energy Buildings"*, ovvero rispettino i requisiti minimi definiti nell'omonimo decreto e soddisfino, a meno di condizioni particolari, parte del fabbisogno residuo (secondo le indicazioni riportate sopra) con energia rinnovabile da impianti termici ed elettrici.

Le tecnologie di generazione di energia termica ed elettrica (le due principali forme di energia utilizzate negli edifici) oggi disponibili sono molteplici, ciascuna con diverso grado di maturità, rapporti costo-beneficio e penetrazione nel mercato.

Quelle realisticamente utilizzabili negli edifici ad uso civile, tuttavia, sono solo un sottoinsieme di esse, prevalentemente per motivi di integrazione architettonica.

Per il soddisfacimento dei fabbisogni elettrici viene considerato il fotovoltaico, che a sua volta può essere sovrapposto o integrato nell'involucro.

Per la generazione di energia termica vengono invece considerati:

- Pompe di calore (ad aria, ad acqua di falda o geotermiche) e sistemi ibridi caldaia-pompa di calore
- Solare termico
- Caldaie a biomasse (cippato, tronchetti, pellets)
- Free cooling da geotermia o idrotermia

### 3.1.3 Fotovoltaico

Gli impianti fotovoltaici rappresentano sostanzialmente l'unica via per soddisfare la prescrizione, come da D.Lgs 28/11, di copertura di parte del fabbisogno di energia elettrica tramite fonti rinnovabili. L'altra soluzione ormai molto diffusa in tutto il mondo, l'eolico, non è facilmente integrabile in un edificio e non viene pertanto trattata in questo studio. Per i sistemi fotovoltaici integrati nell'edificio, i cosiddetti sistemi BiPV, si rimanda al precedente capitolo "Building Integrated Systems" di questo rapporto.

Nel nostro paese gli impianti fotovoltaici hanno conosciuto un periodo florido tra fine anni 2000 e inizio anni 2010, trainati dai generosi incentivi dei primi "Conto Energia". Da allora, tuttavia, il mercato si è ridotto significativamente e attraversa una fase di stasi, con installazioni annuali grossomodo costanti. Questa situazione è ben sintetizzata nelle due successive figure (Figura 21 e Figura 22).

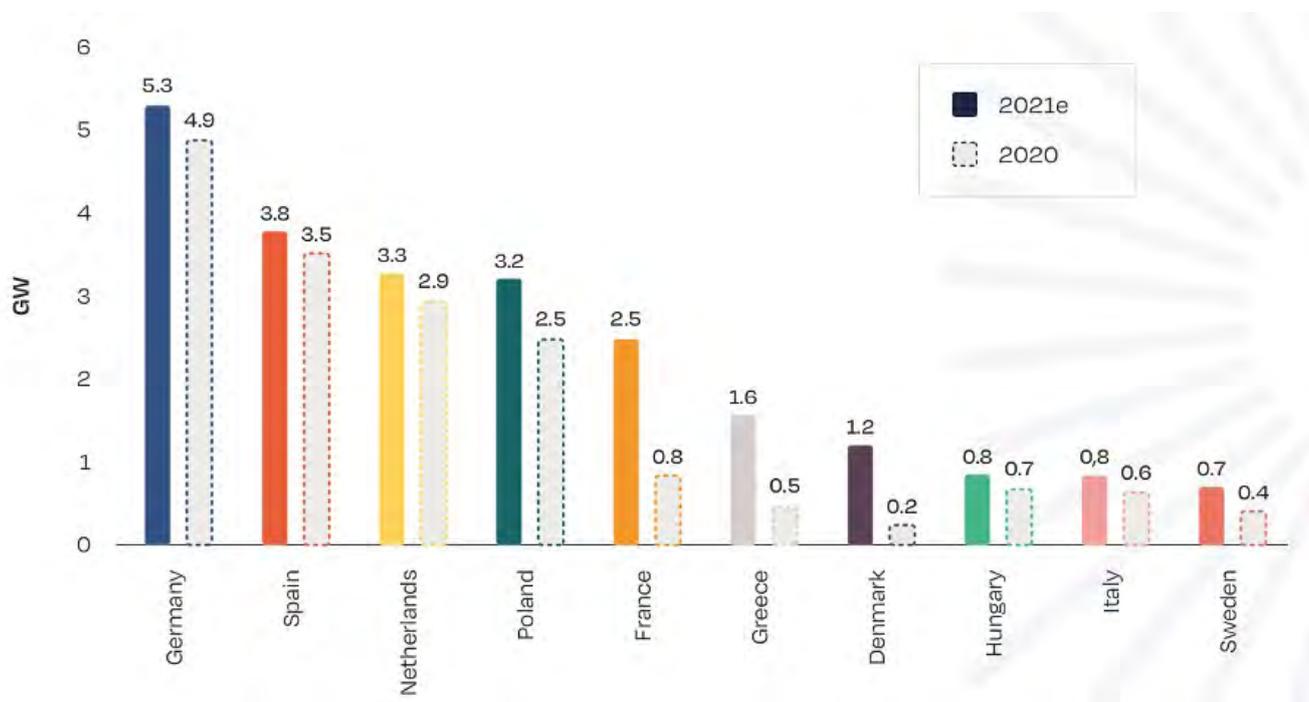


Figura 23 Principali 10 mercati in EU27 nel periodo 2020-2021 (Fonte: Solar Power Europe)

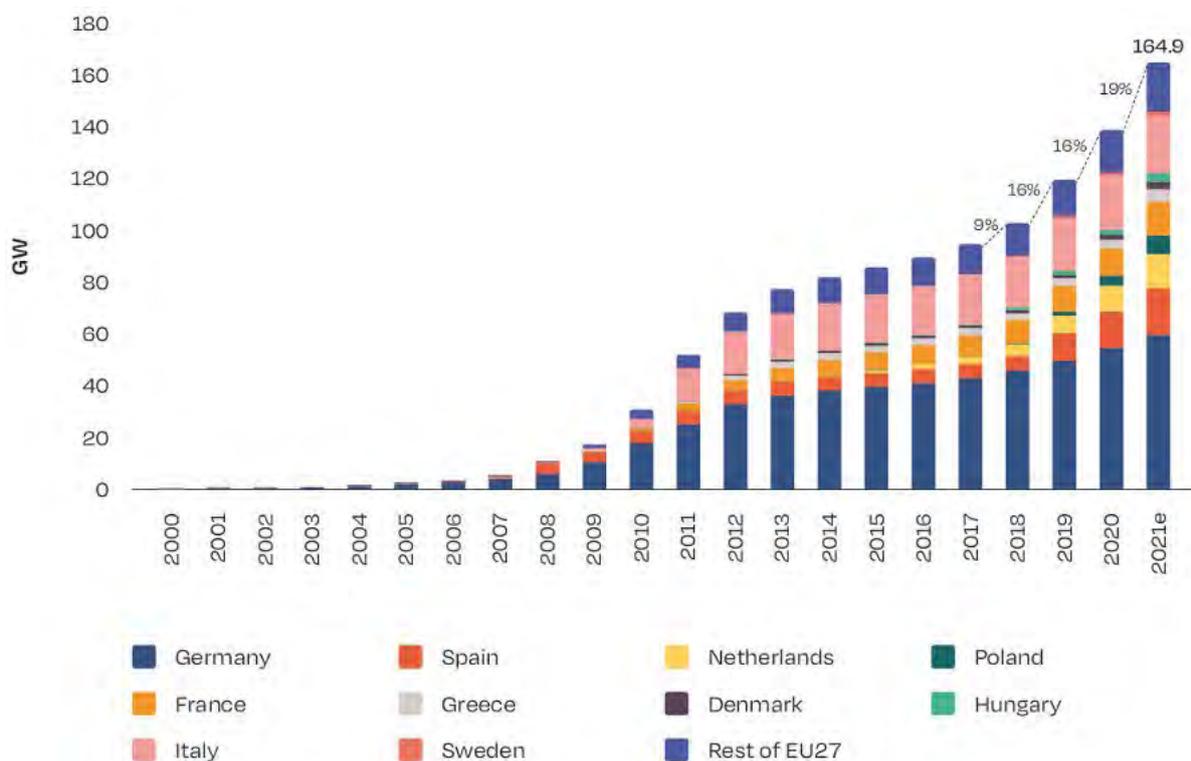


Figura 24 – Potenza installata totale al 2020 (Fonte: Solar Power Europe)

Le tecnologie più diffuse nel mercato dei “wafer” fotovoltaici sono il silicio monocristallino, quello policristallino e i moduli cosiddetti “thin film”, o film sottile, di spessore molto contenuto e che per questo consentono l’installazione su superfici di qualsiasi tipo. Per realizzare impianti fotovoltaici a film sottile si utilizzano materiali quali il silicio amorfo, il tellururo di cadmio e il diseleniuro di indio-rame. Se il silicio policristallino ha in passato dominato il mercato, il trend è oggi verso il monocristallino da una parte (grazie ad efficienze di conversione molto elevate), e verso il film sottile dall’altra.

Rispetto ad altre tecnologie di sfruttamento della fonte solare, quali il solare termico, l’efficienza di conversione dell’energia solare è relativamente bassa (tra il 10 e il 25%, a seconda della tecnologia), ma il

fotovoltaico si è ormai ampiamente affermato grazie alla rapida discesa dei costi di produzione. Se nel 2010 il costo medio di un impianto fotovoltaico ad uso residenziale era di oltre 3.500 €/kWp, oggi il valore è sceso intorno a 1.300 €/kWp .

Nel contesto normativo attuale il dimensionamento degli impianti fotovoltaici su edifici persegue generalmente l’obiettivo di massimizzazione dell’autoconsumo, poiché l’importo economico riconosciuto per l’energia immessa in rete è minore del prezzo dell’energia prelevata. Scelte normative differenti potrebbero naturalmente stimolare gli utenti finali ad installare impianti più grandi, compatibilmente con le superfici disponibili sugli edifici, immettendo in rete quantità di energia elettrica maggiori o molto maggiori di quanto viene consumato.



Figura 25 – Moduli in silicio monocristallino, policristallino e film sottile

### 3.1.4 Pompe di calore e sistemi ibridi caldaia-pompa di calore

Le pompe di calore sono apparecchi dedicati alla produzione di calore e/o di freddo grazie al trasferimento di calore da una sorgente più fredda ad una più calda. Fanno parte di questa famiglia, per esempio, i frigoriferi e i climatizzatori. Ai fini della decarbonizzazione degli edifici vengono qui trattati quei tipi di pompa di calore che producono calore, sia per riscaldamento degli ambienti, sia dell'acqua sanitaria. Essi sono in grado di sfruttare l'energia termica poco pregiata (in quanto a bassa temperatura) contenuta nell'aria, nei bacini idrici o nel terreno ed elevarne il livello di temperatura fino a quello richiesto dall'edificio. Ciò avviene grazie all'utilizzo di una fonte di energia più pregiata, solitamente energia elettrica (pompe di calore a compressione di vapore). Le macchine cosiddette ad assorbimento e ad adsorbimento utilizzano invece quale fonte di energia altro calore, a temperatura più elevata (per esempio calore di scarto da processi industriali o calore da impianti solari termici), che può essere somministrato in forma di acqua calda, oppure di gas combusto. Il calore generato da una pompa di calore ha quindi una parte intrinsecamente rinnovabile, in quanto proveniente dall'ambiente, e una parte che può o meno essere rinnovabile, a seconda della provenienza dell'energia elettrica (per le macchine a compressione) e del calore (per la macchina ad assorbimento).

Le pompe di calore si stanno affermando soprattutto nel settore degli edifici, dove vengono sempre più spesso scelte come tecnologia di generazione del calore per il soddisfacimento dei requisiti rinnovabili come da normativa in vigore.

Gli apparecchi ibridi rappresentano l'unione in un'unica soluzione di diverse tecnologie di generazione di calore e produzione acqua calda sanitaria. La configurazione più diffusa è l'accoppiamento di una pompa di calore e di una caldaia a condensazione. In questo modo ai limiti delle pompe di calore vengono incontro le caratteristiche delle caldaie, che in particolare possono raggiungere temperature più elevate e operare anche in condizioni ambientali sfavorevoli

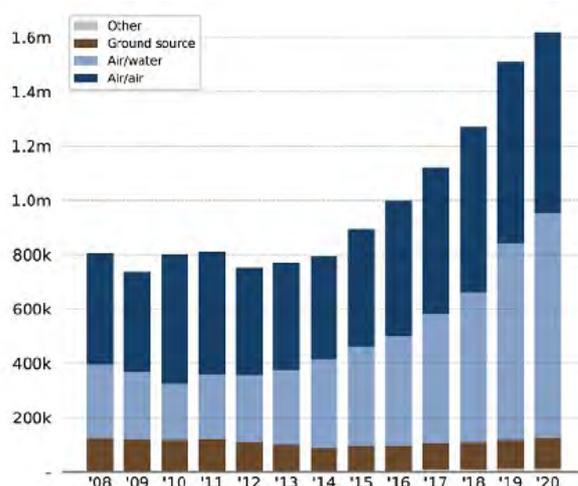


Figura 26 – Vendita di pompe di calore in Europa per tipologia di sorgente di calore (Fonte: EHPA/REHVA)

<sup>25</sup> <https://www.statista.com/statistics/828673/trend-of-residential-pv-systems-costs-in-italy/>

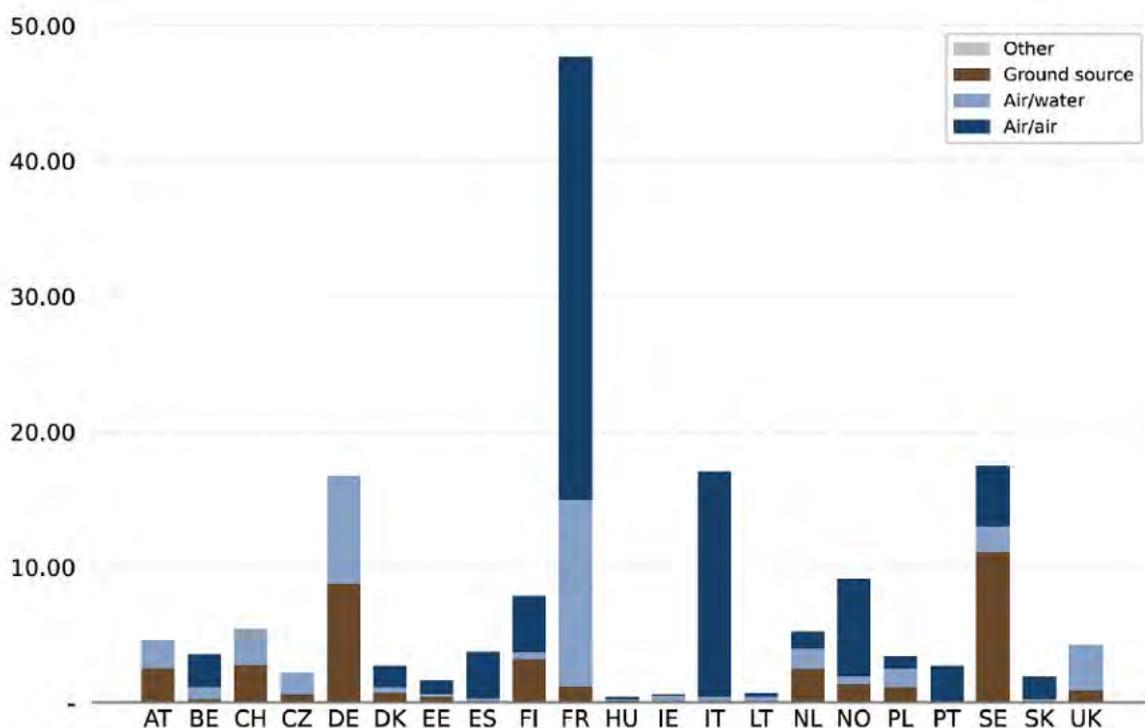


Figura 27 Energia rinnovabile fornita dalle pompe di calore nei paesi europei per tipologia di sorgente di calore (Fonte: EHPA/REHVA)

(basse temperature esterne). Questa soluzione è considerata da una buona parte dell'industria della climatizzazione una soluzione adatta in fase di transizione energetica.

### 3.1.5 Solare termico

Lo sfruttamento dell'energia solare può avvenire anche attraverso la trasformazione diretta della radiazione luminosa in calore attraverso i collettori solari termici. Negli edifici questa applicazione permette di riscaldare l'acqua sanitaria, riscaldare gli ambienti e, attraverso l'utilizzo di macchine frigorifere azionate termicamente, soddisfare il fabbisogno per raffrescamento.

A differenza di quanto avviene per i sistemi fotovoltaici, che sono generalmente collegati alla rete elettrica, gli impianti solari termici non possono generalmente beneficiare di una analoga rete e

devono pertanto essere progettati tenendo in considerazione la curva di disponibilità dell'energia solare, tanto su base giornaliera, quanto su base annua. L'utilizzo di accumuli termici, generalmente di acqua calda, è quindi una condizione necessaria per rendere disponibile il calore quando serve. A meno di casi particolare, tuttavia, un impianto solare termico non può soddisfare l'intero fabbisogno energetico di un edificio e deve quindi essere accompagnato da un altro sistema che possa produrre il calore richiesto dall'utenza anche quando l'accumulo termico è scarico.

Il mercato europeo del solare termico ha conosciuto il suo momento migliore nella seconda metà degli anni 2000, quando il mercato italiano era al secondo posto in Europa, dopo la Germania. In concomitanza con la crisi del mercato delle caldaie, al quale quello del solare termico è storicamente legato a doppia mandata, le vendite di collettori solari sono crollate

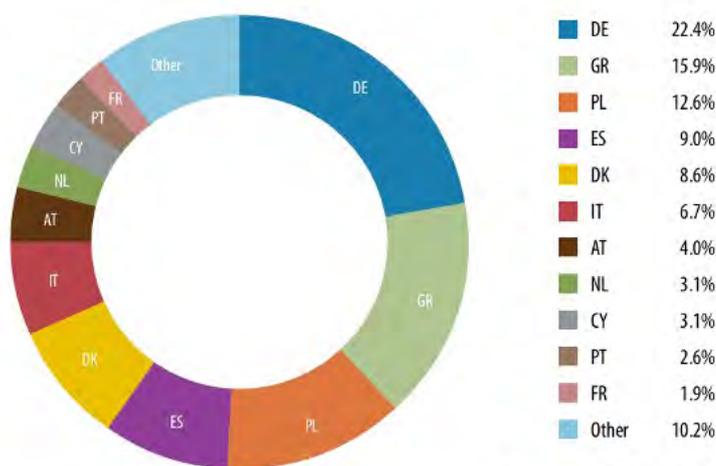
e solo a partire dal 2017 si è stabilizzato su valori costanti di nuovo installato annuo.

Gli impianti solari termici sugli edifici utilizzano prevalentemente due tipologie di collettori: quelli piani vetrati e quelli a tubi sottovuoto. Le caratteristiche

sono simili, ma in generale si può affermare che, a parità di qualità del prodotto, i collettori a tubi sottovuoto sono leggermente più efficienti, poiché sono isolati tramite una intercapedine sottovuoto, invece che tramite materiali coibenti.



Figura 28 – Mercato del solare termico in EU 28 + Svizzera



© Solar Heat Europe / ESTIF 2020

Figura 29 – Mercato del solare termico nel 2019 per paese EU

Queste due tipologie di collettori possono essere utilizzate in impianti a circolazione naturale, oppure a circolazione forzata. La differenza sta nell'utilizzo o meno di una pompa di circolazione. Dove essa non viene utilizzata il moto circolatorio del fluido all'interno dei collettori e delle tubazioni avviene in modo naturale per effetto della differenza di densità, dovuta alla differenza di temperatura. Negli impianti a circolazione naturale il serbatoio deve quindi stare in posizione più elevata rispetto al collettore stesso. Quando viene utilizzata una pompa (o circolatore) si parla invece di impianti a circolazione forzata, che hanno il vantaggio di non avere limitazioni nel posizionamento del serbatoio, che solitamente viene installato in un locale tecnico.

### 3.1.6 Caldaie a biomasse

Il termine biomasse si riferisce ad una molteplicità di possibili utilizzi di materiale organico ai fini della generazione di energia. La forma più utilizzata nel mondo è la combustione di materiale legnoso per il

riscaldamento degli ambienti, ma grazie allo stesso processo è oggi possibile generare anche energia elettrica in impianti di cogenerazione collegati a piccole reti di teleriscaldamento, come avviene in molte località montane in Italia. Materiali legnosi a parte, alla categoria delle biomasse appartengono anche quei combustibili, liquidi o gassosi, ottenuti da scarti di produzione vegetale o animale attraverso diversi tipi di processi, quali la fermentazione, la pirolisi, la biodigestione, la depurazione delle acque.

In Figura 28 si può notare l'elevata incidenza delle biomasse sui consumi per riscaldamento e raffrescamento in Europa, dove questa forma di energia rappresenta la principale fonte energetica rinnovabile.

La Figura 29 mostra l'incidenza, paese per paese, delle biomasse sui consumi per riscaldamento e raffrescamento. Si noti come in alcuni paesi, quali Svezia, Lituania e Finlandia, le biomasse siano la principale fonte di energia per questa applicazione.

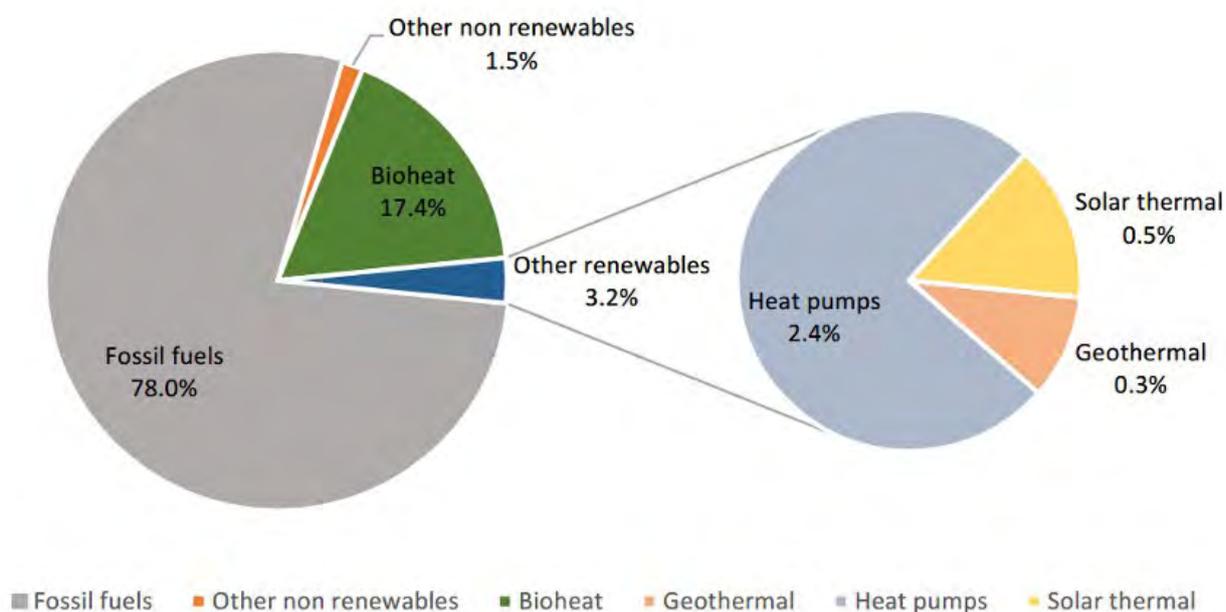


Figura 30 – Fonti energetiche utilizzate per il riscaldamento e il raffrescamento nei paesi EU27 (Fonte: Bioenergy Europe Statistical Report)

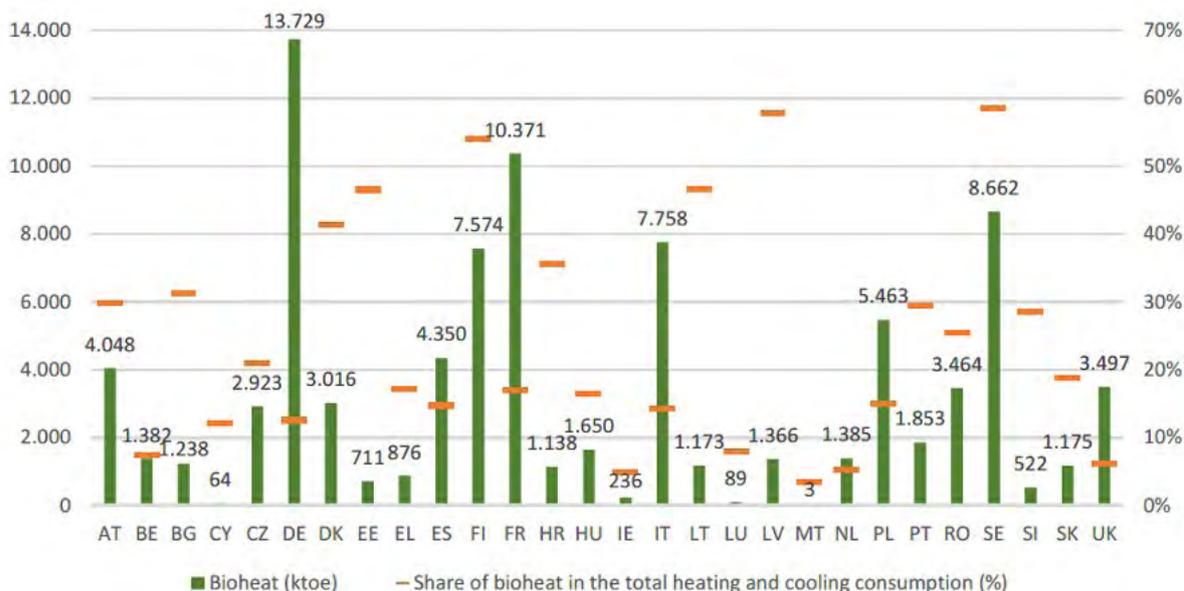


Figura 31 – Consumo e contributo percentuale di energia da biomasse nei paesi EU27 (Fonte: Bioenergy Europe Statistical Report)

L'utilizzo di combustibili liquidi e gassosi da biomasse riguarda prevalentemente le applicazioni agricole e, nel lungo termine, potrebbe diventare una delle modalità di generazione di energia elettrica rinnovabile. Su scala edificio esso risulta meno significativo, mentre è centrale la combustione di biomasse legnose in forma di tronchetti, trucioli o pellets. Si tratta di un'applicazione molto diffusa in tutto il mondo e che, qualora venga utilizzata legna

di produzione locale, rappresenta effettivamente una soluzione rinnovabile al problema del riscaldamento degli edifici. Il principale ostacolo è oggi l'inquinamento da particolato. Diverse regioni, in particolare quelle della Pianura Padana, hanno infatti già legiferato in materia, limitando di fatto la possibilità di installare sistemi di riscaldamento a biomasse legnose che non rispettino specifici criteri di efficienza e di garanzia della filiera del combustibile.

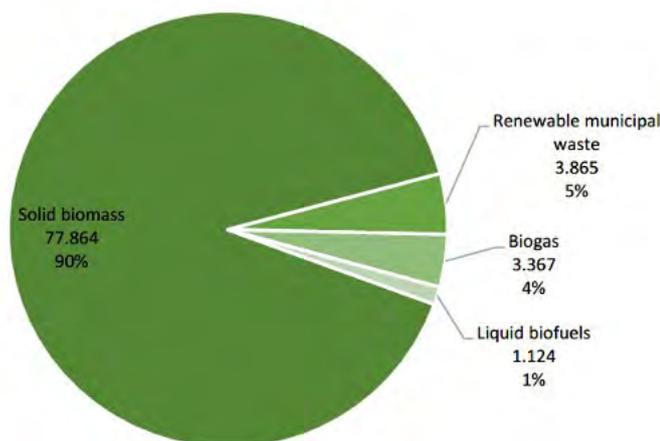


Figura 32 – Tipologia di biomassa utilizzata nei paesi EU27 (Fonte: Bioenergy Europe Statistical Report)

In Figura 30 è evidenziato come le biomasse solide (prevalentemente legnose) siano altamente preponderanti rispetto a quelle gassose e liquide.

### 3.1.7 Free cooling

Il free cooling è un'opzione intrinsecamente rinnovabile: il raffrescamento di un edificio viene ottenuto senza l'utilizzo di alcuna fonte di energia se non quella contenuta nel terreno o all'interno di bacini idrici. Con uno scambio di calore tra l'aria e il terreno/acqua (eventualmente mediato da uno scambio intermedio con acqua) si ottiene, se le condizioni lo consentono, un raffrescamento dell'aria stessa, che può poi essere immessa negli ambienti da climatizzare. È evidente che questa opzione è

applicabile solo quando il terreno o l'acqua disponibili siano sensibilmente più freddi dell'aria. Ciò accade più facilmente nei climi freddi o relativamente freddi e nelle stagioni intermedie, piuttosto che in estate.

Il clima italiano suggerisce la valutazione del free cooling quale opzione per la climatizzazione di edifici con elevato fabbisogno di raffrescamento anche nelle stagioni fredde o intermedie, mentre nella stagione calda sarà verosimilmente necessario ricorrere all'utilizzo di una tecnologia di climatizzazione attiva, che potrebbe eventualmente utilizzare lo stesso terreno (o bacino idrico) quale pozzo al quale trasferire il calore asportato dagli ambienti climatizzati, ottenendo in questo modo un sostanziale incremento di efficienza.

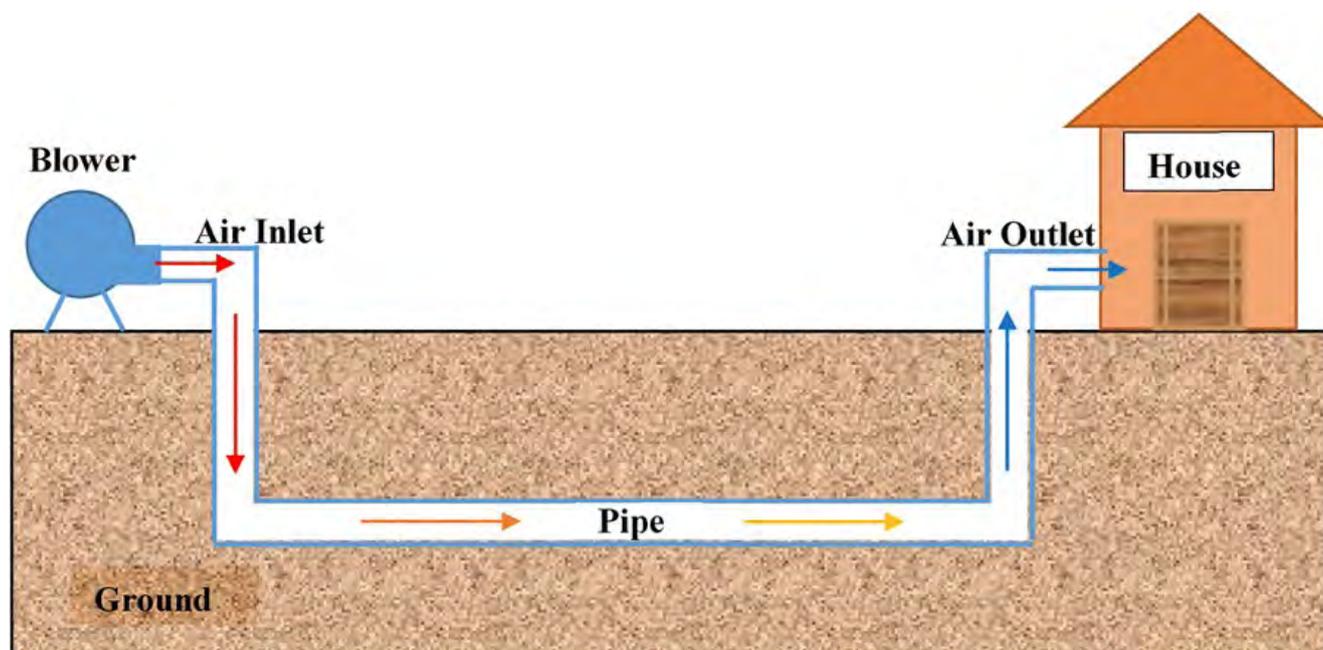


Figura 33 – Principio di funzionamento di un sistema di free cooling (Fonte: Agrawal, K et al, Optimization of operating parameters of earth air tunnel heat exchanger for space cooling, Geothermal Energy, 2018)

### 3.1.8 Commenti

<p>Considerazioni generali</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nella valutazione del potenziale di decarbonizzazione di ciascuna tecnologia RES va considerato un aspetto non scontato: alcuni sistemi, come le pompe di calore, richiedono per il loro funzionamento consistenti quantità di energia (elettrica), che ad oggi è solo parzialmente decarbonizzata. Altri sistemi, quali il solare termico e le caldaie a biomasse, sono quasi completamente rinnovabili. È quindi necessario distinguere tra due fasi temporali: in una fase transitoria l'energia elettrica non è completamente rinnovabile, nello scenario futuro essa sarà al 100% rinnovabile. Tale distinzione dovrebbe conferire livelli di priorità diverse alle varie tecnologie nella due fasi.</li> <li>È importante considerare che la maggior parte delle tecnologie RES oggi disponibili per installazione negli edifici fornisce calore a temperature relativamente basse, ovvero necessita di sistemi di distribuzione del calore a bassa temperatura (impianti radianti, fan coils, etc).</li> </ul>
<p>Pompe di calore</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Un limite delle pompe di calore in commercio oggi è la temperatura massima, che non consente di operare trattamenti termici anti-legionella sull'acqua sanitaria, né di servire impianti di distribuzione ad alta temperatura (radiatori). Serve in quel caso una resistenza elettrica nel serbatoio, che però lavora a bassa efficienza, oppure un ulteriore sistema di tipo convenzionale, oppure a biomasse.</li> </ul>
<p>Biomasse</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le caldaie a combustione di biomassa solida presentano il problema dell'inquinamento da particolato. In numerose regioni italiane l'utilizzo di questi sistemi è di conseguenza limitato per legge.</li> </ul>
<p>Solare termico</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Il solare termico è consigliabile in abbinamento a pompe di calore e caldaie a biomasse. Nel primo caso aiuta a mantenere controllata la legionella grazie alle elevate temperature che i collettori raggiungono nella stagione calda. Nel secondo caso il solare termico evita di dover accendere la caldaia a biomasse nel periodo estivo.</li> </ul>

### 3.1.9 Casi studio

I casi studio riportati di seguito mostrano le principali tecnologie RES illustrate nel capitolo 3. I progetti relativi a fotovoltaico e solare termico sono stati

realizzati da enti pubblici (scuola di proprietà municipale in Spagna e Istituto delle Case Popolari in Piemonte). Gli esempi di pompa di calore geotermica e di caldaie a biomasse solide sono invece frutto di iniziative private in ambito residenziale.

Tecnologia	Impianto fotovoltaico
Nome del progetto	Scuola PINS DEL VALLÈS a Sant Cugat del Vallès
Data intervento	2019
Area geografica	Sant Cugat, Catalunya, Spagna
Tipologia di utenza	Scuola comunale
Tipologia dei moduli fotovoltaici	Silicio policristallino
Potenza installata	27 kWp (102 moduli da 265 Wp)
Inclinazione ed esposizione moduli	Inclinazione: 17° Esposizione: 14° sud-ovest Installazione su tetto a falde
Layout impiantistico	5 stringhe 1 inverter
Produzione di energia elettrica prevista	40 MWh/a

Tabella 17 – Caso studio Sant Cugat del Vallès

Figura 34 – Viste aeree dell'impianto fotovoltaico di Sant Cugat (fonte: municipalità di Sant Cugat)



Tecnologia	Geotermia a bassa entalpia tramite pompa di calore
Nome del progetto	GEOFIT
Data intervento	Gennaio 2022
Area geografica	Isole Aran, Irlanda
Tipologia di applicazione	Riscaldamento di ambienti e acqua sanitaria tramite pompa di calore geotermica
Tipologia dello scambiatore geotermico	Sonde verticali
Tipologia della pompa di calore	Elettrica a compressione di vapore (Ochsner)
Profondità della perforazione	138 m
Potenza della pompa di calore	12 kWth, 6 kWfr
Altri interventi	Isolamento a cappotto esterno, sostituzione del sistema di emissione esistente (radiatori idronici ed elettrici) con sistema radiante a pavimento.
Link web	<a href="https://geofit-project.eu/pilots/aran-islands/">https://geofit-project.eu/pilots/aran-islands/</a>

Tabella 18 – Caso studio isole Aran



Figura 35 – Villetta ristrutturata con impianto geotermico sulle isole Aran, in Irlanda

Tecnologia	Solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria
Nome del progetto	Torino Solare
Data intervento	2005
Area geografica	Moncalieri, Torino
Tipologia di applicazione	Riscaldamento acqua sanitaria tramite impianto solare termico con collettori di grandi dimensioni di tipo “solar roof”
Tipologia dei collettori solari termici	Piani vetrati, di grandi dimensioni (13 m <sup>2</sup> ), integrati nella copertura
Tipologia del serbatoio	Accumulo inerziale in acciaio nero da 4.000 l
Copertura attesa del fabbisogno di acqua calda sanitaria	50%

Tabella 19: Caso studio Moncalieri



Figura 36 – Edificio ATC a Moncalieri – installazione di impianto solare termico (Fonte: Ambiente Italia)

Tecnologia	Caldaia a gassificazione di biomassa (combinata con altre tecnologie rinnovabili)
Nome del progetto	Impianto combinato di Wartenberg
Data intervento	2021
Area geografica	Wartenberg, Germania
Tipologia di applicazione	Villetta bifamiliare
Caldaia a biomassa	Guntamatic BMK 30 Hybrid a gassificazione di legna (30 kW)
Serbatoio	2 accumuli da 1.000 l ciascuno
Altre tecnologie utilizzate in combinazione con la caldaia a legna	Impianto solare termico: 8 m <sup>2</sup> (dedicato alla produzione di acqua calda sanitaria) Pompa di calore aria-acqua Impianto FV: 9 kW <sub>p</sub>

Tabella 20– Caso studio Wartenberg

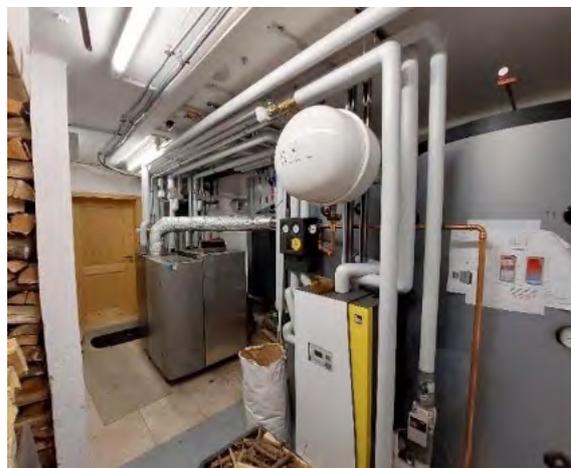


Figura 37 – Impianto combinato legna-solare termico-pompa di calore (fonte: Dominik Rutz)

## 4 Reti termiche ed elettriche

Le reti di distribuzione possono essere principalmente di due tipi: (1) reti elettriche, tramite le quali viene distribuita l'energia elettrica, e (2) reti termiche, che provvedono alla distribuzione di calore e /o freddo.

### 4.1 Smart Grid Elettrica

#### 4.1.1 Descrizione/inquadramento

Le reti elettriche intelligenti, note come Smart Grid, sono un nuovo modo di utilizzare le reti preesistenti, adeguatamente rinnovate e potenziate per supportare l'uso di tecnologie informatiche e di comunicazione.

Gli odierni sistemi elettrici si basano su un modello che prevede una produzione centralizzata di energia utilizzando combustibili fossili presso grandi centrali di generazione, e la distribuzione dell'energia elettrica prodotta tramite reti con un flusso unidirezionale verso gli utenti finali, seguendo un approccio di tipo top-down. Questo tipo di sistema distributivo non è integrabile con la generazione da fonti rinnovabili non programmabili dislocate lungo la rete di distribuzione. A differenza del sistema tradizionale, la Smart Grid permette un flusso bidirezionale dell'energia e dei dati e riesce pertanto ad accogliere la produzione elettrica proveniente da molteplici fonti dislocate sul territorio e ad essa collegate. In questo modo è possibile sia prelevare energia dalla rete che reimmetterla nella rete stessa, a seconda delle necessità e dei picchi di domanda energetica.

Le Smart Grid possono quindi essere viste come un nuovo modo di intendere la distribuzione di energia elettrica, intelligente e decentralizzato, dove i dati

fungono da driver per i flussi energetici. In Figura 36 e Figura 37 sono riportate le principali differenze tra una rete di distribuzione elettrica tradizionale ed una Smart Grid. Tra i vantaggi principali della generazione distribuita rispetto alla generazione concentrata vi è la riduzione delle dispersioni date dal trasporto e dalla distribuzione di energia.

Questo nuovo modo di produrre e distribuire energia da fonti rinnovabili in prossimità dei luoghi di consumo presuppone anche un cambio radicale nel ruolo dell'utente, che da semplice "user", ovvero un mero consumatore di energia, diventa anche "producer", ovvero un produttore, grazie a piccoli impianti di energia rinnovabile. Da qui il termine "prosumer", che indica un nuovo tipo di utente, più evoluto, che partecipa ed è coinvolto nel mercato dell'energia, consumando e producendo allo stesso tempo. La possibilità per il cittadino consumatore di poter produrre l'energia che consuma quotidianamente, risparmiando sui costi dell'energia, è un fattore determinante per il passaggio a soluzioni energetiche sostenibili basate sull'autoproduzione. Il prosumer sarà inoltre incentivato ad evitare sprechi per poter sfruttare al massimo l'energia che può fornirgli il suo impianto.

Pur non essendo disponibile una definizione univoca, esistono diverse descrizioni del concetto di Smart Grid. La *Smart Grid European Technology Platform* ha definito la Smart Grid come una *"Rete elettrica che può integrare intelligentemente le azioni di tutti gli utenti ad essa connessi – generatori, consumatori e prosumers, per consegnare in maniera efficiente, sicura e sostenibile la fornitura di energia elettrica"*<sup>26</sup>.

<sup>26</sup> Smart Grid European Technology Platform, [https://www.earpa.eu/earpa/39/etp\\_smartgrids.html](https://www.earpa.eu/earpa/39/etp_smartgrids.html)

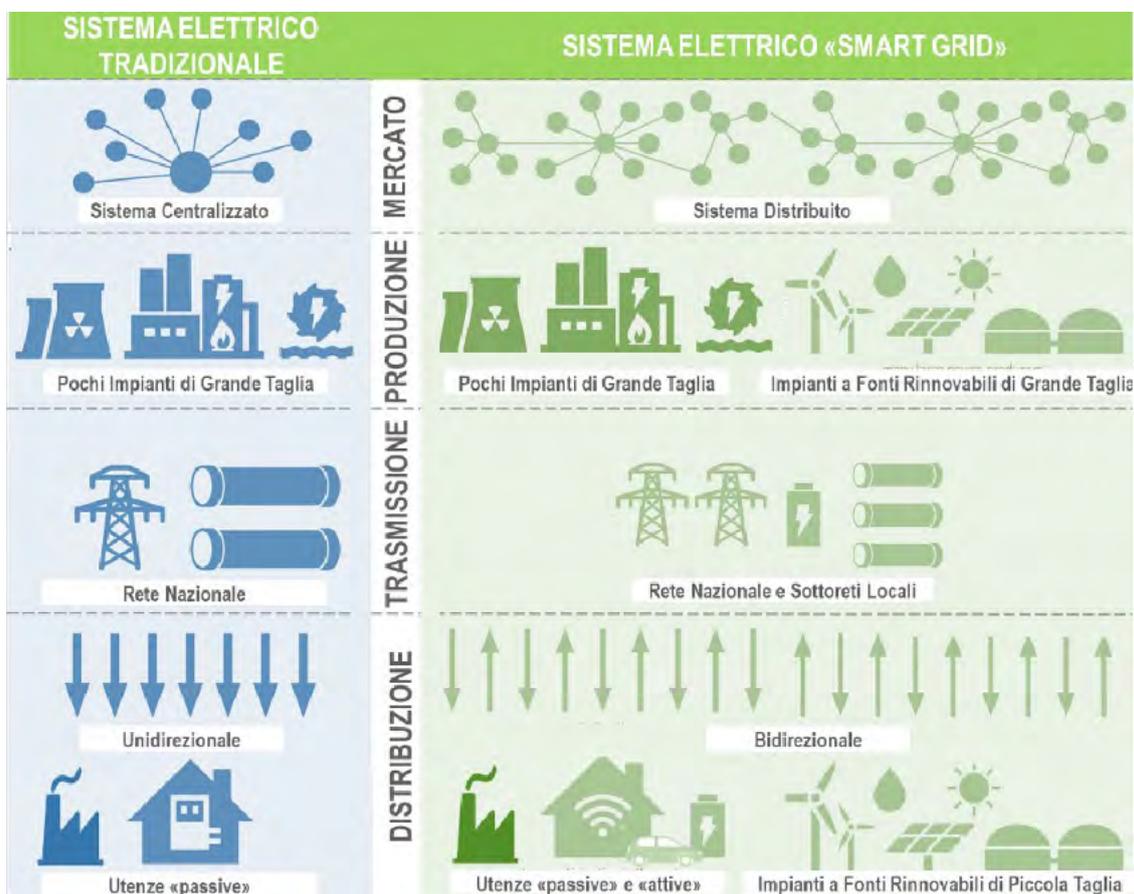


Figura 38– Confronto tra una rete di distribuzione tradizionale ed una Smart Grid [Fonte: ENEA]

	Rete tradizionale	Smart Grid
<b>Tipo</b>	Elettromeccaniche	Digitali
<b>Flusso</b>	Unidirezionali	Bi-direzionali
<b>Generazione</b>	Centralizzata	Decentralizzata - Distribuita
<b>Sensori</b>	Pochi	Interconnessi
<b>Monitoraggio</b>	Manuale	Automatizzato
<b>Ripristino</b>	Manuale – Semi automatico	Automatico / Capacità di adattarsi e isolare guasti
<b>Clienti</b>	Poche scelte per clienti	Molte scelte per clienti

Figura 39 – Confronto tra una rete di distribuzione tradizionale ed una Smart Grid

Secondo l'Electric Power Research Institute (EPRI) la Smart Grid è *“una rete elettrica che integra tecnologie ICT in ogni aspetto della generazione, distribuzione e consumo dell'elettricità, al fine di ridurre al minimo l'impatto ambientale, migliorare i mercati, accrescere l'affidabilità e la qualità del servizio, abbattere i costi e incrementare l'efficienza del sistema. Tale rete si avvale di sensori, informazioni, abilità computazionali e strumenti di controllo atti a migliorare l'efficienza complessiva del sistema di distribuzione”*<sup>27</sup>.

Questo nuovo tipo di sistema basato sull'utilizzo distribuito di RES non programmabili comporta una maggior complessità della gestione della rete elettrica, che deve far fronte e soddisfare la domanda energetica ed il suo andamento. L'idea alla base è che le diverse unità abitative dovranno essere sempre più autosufficienti, chiedendo meno energia alla rete elettrica, e che le reti dovranno garantire risposte in tempi rapidi per rispondere alle diverse esigenze nei momenti di picco. È quindi necessario digitalizzare i flussi energetici per far sì che la rete venga gestita da sistemi intelligenti in grado di rispondere in tempo reale alle mutevoli condizioni. A tal proposito, sistemi di accumulo, smart meters ed intelligenza artificiale sono le soluzioni tecnologiche chiave per gestire le Smart Grid.

Strettamente legati a questo tema di gestione dell'energia sono il concetto di Demand Side Management e flessibilità. Il Demand Side Management segue un approccio “top-down”, ovvero il gestore (distributore) ha la facoltà, entro limiti prestabiliti, di attivare e disattivare apparecchi energivori installati presso le utenze a seconda delle proprie esigenze. Vi è quindi una **necessità di automazione** (IoT, dispositivi Wi-Fi a cui abbia accesso il gestore). La flessibilità, a differenza del Demand Side Management, segue un approccio “bottom-up”, ovvero è l'utente che, in possesso delle informazioni necessarie, sceglie di utilizzare l'energia

quando il gestore lo richiede. Non richiede quindi automazione. È in parte attuata da alcuni gestori tramite tariffe differenziate. In forma basilare anche la tariffa oraria è una forma di flessibilità.

Le Smart Grid possono dunque essere viste come reti elettriche a cui viene sovrapposto un sistema di gestione informatico-digitale, volto ad implementare logiche di controllo per il coordinamento e l'ottimizzazione dei flussi energetici provenienti dalle diverse risorse decentralizzate presenti nella rete.

A livello tecnico la Smart Grid può essere vista come composta da tre principali tipi di struttura: (1) Infrastruttura fisica; (2) Infrastruttura di comunicazione e; (3) Infrastruttura digitale.

L'infrastruttura fisica è la dorsale di rete, che include tutti gli apparecchi volti al trasporto dell'energia elettrica, dai sistemi di generazione agli utenti finali. Questo tipo di struttura include sia sistemi di produzione energetica, come il fotovoltaico, che sistemi di accumulo, come batterie elettriche. L'infrastruttura di comunicazione è la dorsale di comunicazione, che include tutte le tecnologie informatiche che permettono la trasmissione dei dati relativi ai flussi energetici. Questo tipo di infrastruttura è fondamentale per la connessione dei vari elementi del sistema elettrico e per la trasmissione dati e la gestione della Smart Grid. Un esempio di elementi dell'infrastruttura di rete sono i sistemi BMS e gli smart meters. L'infrastruttura digitale comprende infine tutte le tecnologie, le piattaforme e le logiche digitali che applicano funzionalità di controllo evoluto e finalizzate all'automazione ed alla gestione smart della rete. La Figura 38 è esplicativa della struttura delle Reti Intelligenti, dove gli apparati di comunicazione permettono la connessione e la trasmissione dati tra i vari dispositivi del sistema elettrico, al fine di implementare i comandi di attuazione secondo i criteri di gestione elaborati dall'infrastruttura digitale.

<sup>27</sup> Smart Grid Resource Center, EPRI/DoE

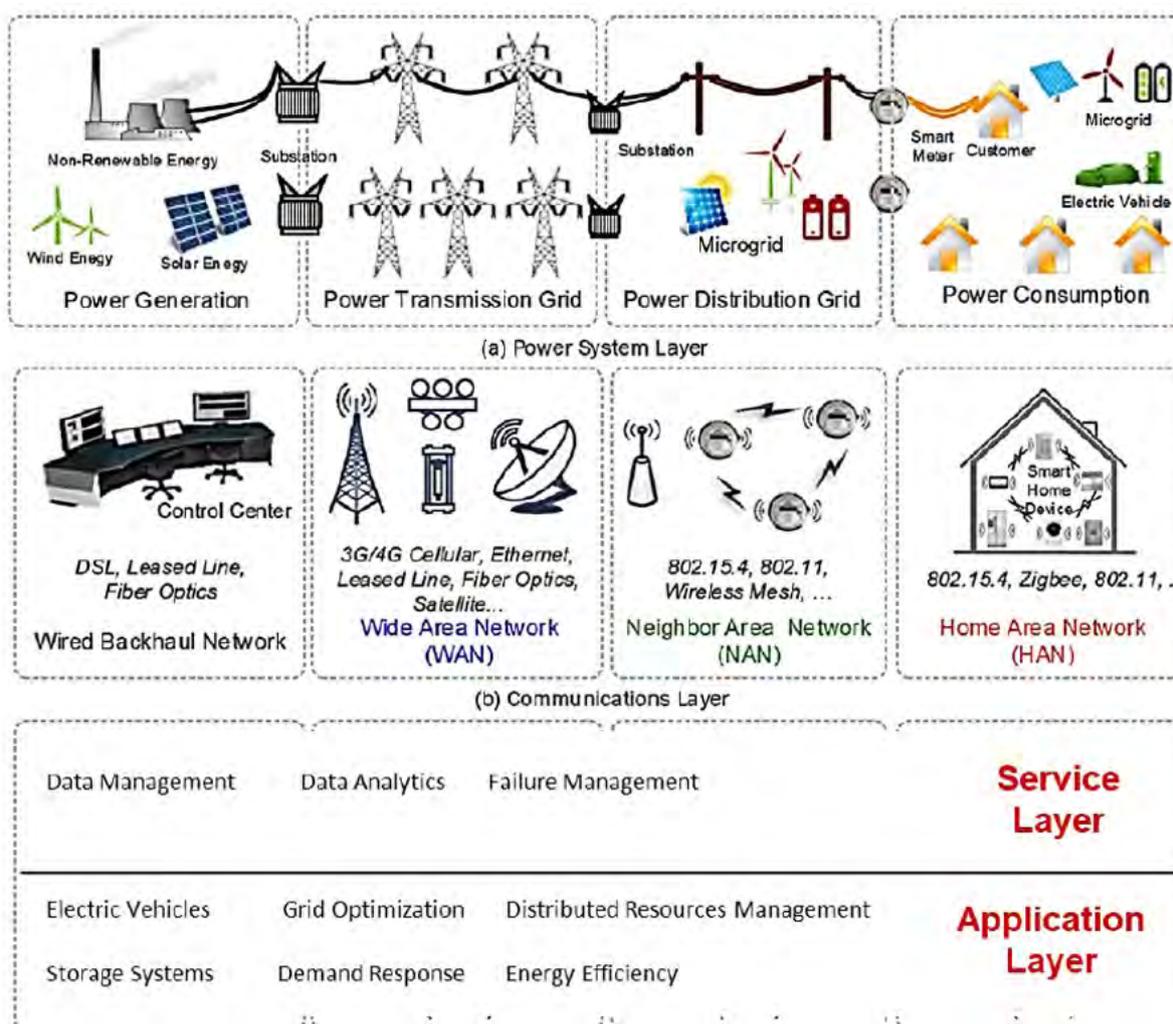


Figura 40 – Schema concettuale multilayer di una Smart Grid [Fonte: ENEA<sup>28</sup>]

### 4.1.2 Norme/procedure di riferimento

Ad oggi non esiste una normativa di riferimento specifica per le Smart Grid in Italia, anche se sono stati concessi diversi incentivi per testare la diffusione di queste reti tecnologiche in via sperimentale, prima di procedere con la legislazione. Per questo motivo le applicazioni di Smart Grid disponibili sul territorio sono prevalentemente di tipo prototipale.

Il focus dei progetti pilota ha riguardato in particolare:

- Smart Grid, come da delibera ARG/elt 39/10;
- Mobilità elettrica, come da delibera ARG/elt 242/10;
- Sistemi di accumulo, come da delibera ARG/elt 199/11;
- Partecipazione della generazione distribuita al mercato dei servizi di dispacciamento, come da delibera 300/2017/R/eel.

<sup>28</sup> Le Smart Grid per un futuro energetico sostenibile e sicuro, ENEA 2020, DOI 10.12910/EAI2020-043

Sebbene non esista una normativa di riferimento specifica per le Smart Grid, queste possono essere inquadrare nel tema delle comunità energetiche, che verrà approfondito nel paragrafo successivo.

### 4.1.3 Commenti

Smart Grid

- I limiti principali sono ad oggi: eccessiva complessità normativa, assenza di casi studio e di linee guida.
- Se da un lato è indubbio che l'elettrificazione è uno strumento per la decarbonizzazione, dall'altro va considerata la necessità di potenziare le linee di trasmissione e gli elevati costi associati (economici e sociali). In questo senso l'elettrificazione deve quindi essere un obiettivo primario in quei settori dove, per loro natura, è difficile raggiungere elevati livelli di decarbonizzazione. In altri ambiti, quale quello dell'ambiente costruito, è consigliabile puntare, ove possibile, su impianti RES termici installati localmente e sul TLR.
- Deve essere affrontato il tema delle relazioni economiche con gli enti erogatori di energia elettrica operanti sulla rete nazionale, in quanto una Smart Grid chiusa, anche se dotata di accumuli elettrici, difficilmente può risultare bilanciata.
- Molti distributori di energia elettrica sono ancora oggi restii a fornire dati di dettaglio e in tempo reale sui consumi.
- In base ai contesti si dovrebbero valutare le tecnologie disponibili migliori per estendere l'accesso alla rete veloce (FTTx, FWA, satellitare, ecc.).

### 4.1.4 Casi studio

Nell'ambito del progetto DR BOB, finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del programma Horizon2020, sono state testate diverse azioni di tipo "Demand Response" mirate a modificare i carichi elettrici dell'ospedale Poliambulanza in funzione dei prezzi dell'energia elettrica.

Nome del progetto	DR BOB (Demand Response in Block Of Buildings)
Tipologia del sito dimostrativo	Ospedale
Gestore del sito dimostrativo	Fondazione Poliambulanza - <a href="http://www.poliambulanza.it">www.poliambulanza.it</a>
Descrizione del sito	Fondazione Poliambulanza è un ospedale privato no profit, convenzionato con il Servizio Sanitario Nazionale e Regionale.
Area geografica	Brescia (BS)

Tabella 21– Caso studio Polizambulanza

Descrizione delle azioni di DR	Scopo delle azioni	Dettagli
Riduzione del carico e spalmatura dei carichi per HVAC	Ridurre il carico il più possibile durante un dato intervallo di tempo.	Si utilizza l'inerzia del circuito di acqua gelida per ridurre al minimo l'impatto sul comfort degli occupanti. Il setpoint di temperatura dei chiller viene ridotto nelle prime ore di funzionamento e successivamente aumentato.
Riduzione dei piccoli carichi	Utilizzare meno energia in funzione del costo dell'elettricità.	Il facility manager invia e-mail al personale amministrativo richiedendo di spegnere alcuni macchinari.
Spostamento temporale dei carichi importanti	Utilizzo dei carrelli alimentari differito di 30 minuti rispetto al normale orario.	Il facility manager si coordina con il personale della mensa (appaltatore esterno).
Autoconsumo e recupero di calore dalla centrale di cogenerazione	Ottimizzazione (24 h successive) dell'uso degli apparecchi di generazione di energia dell'ospedale al fine di ridurre al minimo i costi energetici (elettricità, calore, freddo, gas, vapore).	Il facility manager riceve la pianificazione ottimizzata e i parametri operativi e controlla di conseguenza le risorse tramite il BMS.

Tabella 22: Attività di Demand Response implementate presso la fondazione Poliambulanza

La valutazione delle azioni sperimentate è presentata in

Descrizione delle azioni di DR	Valutazione ex-post
Riduzione del carico e spalmatura dei carichi per HVAC	Questo processo, coordinato dal personale di manutenzione e dal personale che gestisce il BMS, ha avuto esito positivo, portando ad una riduzione media del 20% del fabbisogno energetico dell'intero ospedale.
Riduzione dei piccoli carichi	Le azioni sui carichi interni (prevalentemente PC) non sono replicabili, perché quantitativamente poco significative e perché richiedono un profondo cambiamento comportamentale da parte degli utenti.
Spostamento temporale dei carichi importanti	L'azione sui carrelli riscaldanti non è replicabile, perché spostare l'orario di consegna dei pasti richiede la partecipazione dell'azienda di catering, che a sua volta dovrebbe modificare i turni del personale.
Autoconsumo e recupero di calore dalla centrale di cogenerazione	Le azioni che riguardano i chiller e il trigeneratore hanno funzionato, prevalentemente perché non coinvolgono attivamente gli utenti.

Tabella 23 – Valutazione ex-post delle azioni sperimentate

## 4.2 Comunità Energetiche e PED

### 4.2.1 Descrizione/inquadramento

I Positive Energy Districts e le Comunità Energetiche sono due nuovi modi di concepire i vari distretti delle nostre città, e segneranno un punto di svolta nella transizione verso un sistema elettrico distribuito e verso l'energia pulita. Sono due concetti assimilabili, che rappresentano un nuovo approccio verso un modello di città e urbanizzazione sostenibile ed efficiente, per raggiungere gli obiettivi energetici e di lotta al cambiamento climatico a livello europeo. Con i PED e le CE si passa dalla costruzione individuale a blocchi energetici: il concetto di efficienza si sposta dall'edificio alla città o al distretto, i quali diventano un aggregatore fisico di tecnologie o soluzioni da applicare in modo integrato. Questi sistemi sono un'integrazione tra diversi elementi: (1) Smart Grid, sistemi di IT, mezzi di trasporto, edifici ed utenti. Ad oggi diverse sono le definizioni riportate a livello internazionale sui PED. Secondo il SET-Plan ACTION n°3.2 i PED sono *“distretti energetici efficienti a zero emissioni di CO<sub>2</sub> che sono in grado di produrre un surplus energetico annuo da fonti di energia rinnovabile”*<sup>29</sup>. Il JPI-Urban Europe li definisce come *“aree urbane efficienti e flessibili dal punto di vista*

*energetico o gruppi di edifici collegati tra loro che producono emissioni nette di gas serra pari a zero e gestiscono attivamente un surplus di produzione energetica rinnovabile annuale a livello locale o regionale. I PED richiedono l'integrazione di diversi sistemi ed infrastrutture, nonché l'interazione tra edifici, utenti e sistemi regionali di energia, mobilità e ICT, garantendo al contempo l'approvvigionamento energetico e una buona qualità della vita in linea con gli obiettivi di sostenibilità dal punto di vista sociale, economico ed ambientale*<sup>30</sup>. Secondo l'IEA i PED sono *“un'area entro i confini della città, in grado di generare più energia di quella consumata e sufficientemente flessibile per rispondere alle fluttuazioni del mercato energetico, perché un PED non dovrebbe mirare solo al raggiungimento di un surplus annuo di energia netta. Piuttosto, dovrebbe anche supportare a ridurre al minimo l'impatto della domanda energetica sulle reti energetiche centralizzate offrendo opzioni per aumentare l'adattamento del carico in loco e l'autoconsumo, sfruttando tecnologie per lo stoccaggio a breve e lungo termine e fornendo flessibilità energetica attraverso sistemi di controllo intelligente*<sup>31</sup>. In breve, i PED possono essere riassunti come aree urbane o gruppi di edifici a zero emissioni complessive di CO<sub>2</sub> ed energeticamente autosufficienti, che permettono la gestione del surplus energetico prodotto da fonti rinnovabili, cedendolo alla rete.

<sup>29</sup> Europe to become a global role model in integrated, innovative solutions for the planning, deployment, and replication of Positive Energy Districts, SET-Plan ACTION n°3.2, 2018 [https://jpi-urbaneurope.eu/wp-content/uploads/2021/10/setplan\\_smartcities\\_implementationplan-2.pdf](https://jpi-urbaneurope.eu/wp-content/uploads/2021/10/setplan_smartcities_implementationplan-2.pdf)

<sup>30</sup> JPI-Urban Europe, <https://jpi-urbaneurope.eu/ped/>

<sup>31</sup> IEA Annex 83, <https://annex83.iea-ebc.org/>

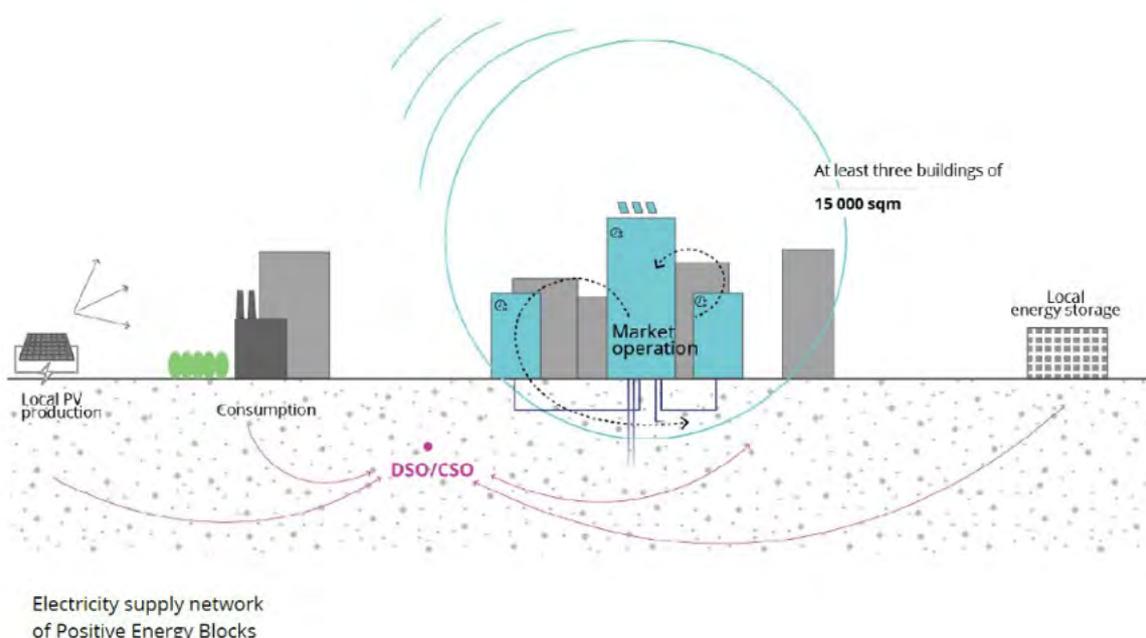


Figura 41 – Electricity supply network of Positive Energy Blocks [Fonte: +CityxChange<sup>32</sup>]

Le CE sono invece definite come *“Insieme di utenti che, tramite la volontaria adesione ad un contratto, collaborano con l’obiettivo di produrre, consumare e gestire l’energia attraverso uno più impianti energetici locali”*<sup>33</sup>.

Decentramento e produzione energetica localizzata sono i pilastri su cui si fonda una comunità energetica che, la quale è in grado di produrre, consumare e scambiare energia in un’ottica di autoconsumo e condivisione dell’energia. In particolare, con il termine autoconsumo si indica la possibilità di consumare in loco l’energia elettrica prodotta da un impianto RES locale, provvedendo così a soddisfare autonomamente i propri fabbisogni energetici.

Questo tipo di approccio permette al prosumer di essere attivamente parte del mercato energetico, contribuendo in prima persona alla transizione energetica, favorendo l’efficienza energetica e promuovendo lo sviluppo di FER. Ad oggi esistono o varie forme di autoconsumo: dalla forma più semplice dell’autoconsumo individuale, a quelle più complesse di autoconsumo collettivo all’interno di condomini o comunità energetiche locali, come mostrato in Figura 40. In Italia, l’autoconsumo collettivo e la comunità energetica sono riconosciuti legalmente dal 2020, come sarà dettagliato nel capitolo successivo.

<sup>32</sup> H2020 Project +Cityxchange, <https://cityxchange.eu/>

<sup>33</sup> La comunità energetica, ENEA 2021 <https://www.pubblicazioni.enea.it/component/jdownloads/?task=download.send&id=427&catid=3&m=0&Itemid=101>



Figura 42 – Tipi di autoconsumo [Fonte: Le comunità energetiche in Italia, ENEA]

### 4.2.2 Norme/procedure di riferimento

Ad oggi a livello nazionale non esiste una direttiva specifica che regola la creazione di distretti di energia positiva, sebbene questi possono essere inquadrati nelle direttive definite per le comunità energetiche.

Tra le direttive approvate all'interno del Clean Energy Package a fine 2019 dall'Unione Europea, due risultano di particolare interesse per le CE:

- la Direttiva UE 2018/2001, sulle energie rinnovabili, in cui sono riportate le definizioni di autoconsumo collettivo e di Comunità di Energia Rinnovabile (CER);
- la Direttiva UE 2019/944 sul mercato interno dell'energia elettrica, che definisce la Comunità Energetica dei Cittadini (CEC).

Entrambe le direttive, sebbene presentino delle differenze concettuali, definiscono la comunità energetica come “un soggetto giuridico” fondato sulla “partecipazione aperta e volontaria”, il cui scopo prioritario non è la generazione di profitti finanziari, ma il raggiungimento di benefici ambientali, economici e sociali per i suoi membri o soci o al territorio in cui opera. In Figura 41 sono riassunte le principali differenze tra CER e CEC. Le differenze principali sono inerenti al tipo di energia che può essere distribuita all'interno dei due tipi di comunità energetica: se le CER permettono la condivisione di energia prodotta da sole fonti rinnovabile, che sia essa sotto forma di calore, gas od elettricità, le CEC permettono anche la condivisione di energia prodotta da impianti non rinnovabili, purché questa sia esclusivamente elettrica. In quest'ottica il teleriscaldamento, ad esempio, può inserirsi nel gruppo delle CER, mentre non può entrare a far parte delle CEC. Inoltre, mentre la CEC non prevede i principi di autonomia tra i membri e vincoli di prossimità con gli impianti di generazione, la CER presuppone entrambe le cose.

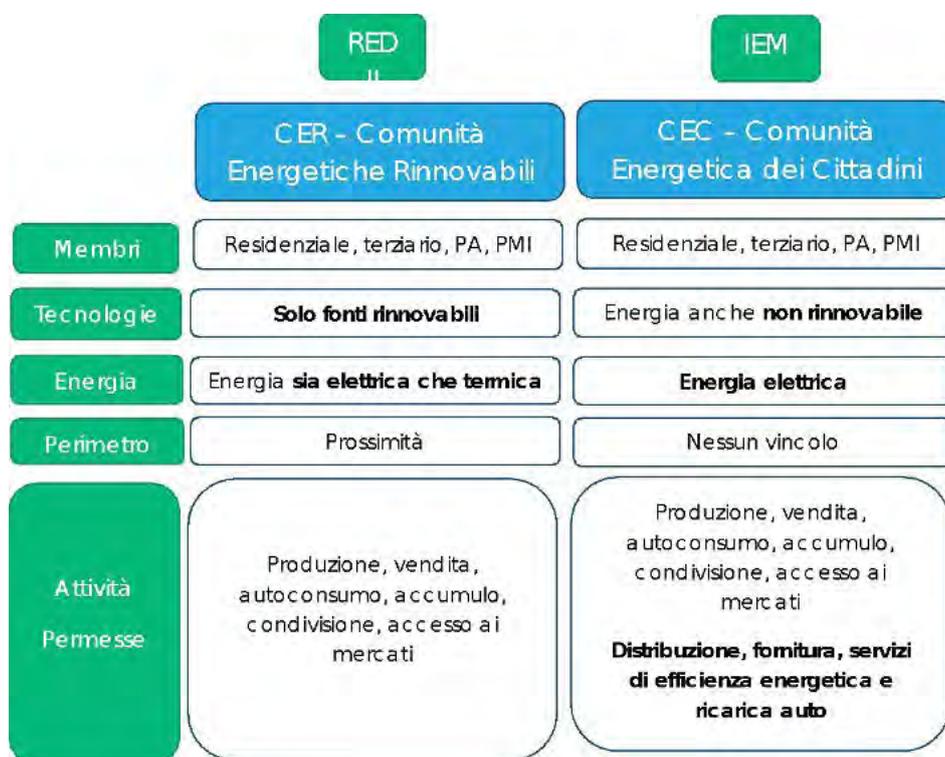


Figura 43 – Principali differenze tra CER e CEC

La RED II e la IEMD, adottate a livello europeo nel 2019, sono state recepite rispettivamente dal D.Lgs. 199/2021 e dal D.Lgs. 210/2021. Nelle more dell’attuazione, il governo ha avviato nel 2020 una fase di sperimentazione sulla RED II, promulgando una serie di decreti per dare la possibilità di condividere l’energia prodotta da fonti rinnovabili. Il periodo di transizione ha permesso di sperimentare, raccogliere dati utili all’attuazione delle Direttive e permettere sia alle figure professionali che ai cittadini di avvicinarsi al tema delle comunità energetiche rinnovabili. Durante questa fase l’autoconsumo collettivo e le CER in Italia sono stati regolamentati dall’articolo 42-bis, inserito nel Decreto Milleproroghe e convertito nella legge 8/2020 il 29 febbraio 2020, che ha permesso la condivisione di energia attraverso la rete distributiva esistente. Secondo il Decreto Milleproroghe, l’autoconsumo collettivo prevede che una serie di consumatori, ubicati all’interno di un edificio in cui è presente uno o più impianti alimentati esclusivamente da fonti rinnovabili, condividano l’energia. La disposizione che riguarda le comunità energetiche prevede invece che

i soggetti partecipanti condividano energia, senza limiti fisici legati all’uso interno all’edificio, ma con impianti rinnovabili di potenza complessiva non superiore a 200 kW, ed una cabina secondaria di bassa tensione come riferimento. Con le disposizioni sulle comunità energetiche idealmente l’energia potrebbe essere condivisa anche tra più edifici, tuttavia le limitazioni di allaccio alla cabina di bassa tensione e di potenza massima, limitano a livello pratico l’applicazione ad un singolo edificio. Il D.Lgs. 199/2021 aggiorna le disposizioni transitorie, aumentando la potenza complessiva massima per ogni singolo impianto da 200 kW a 1000 kW, e spostando l’allaccio alla medesima cabina di riferimento dalla cabina secondaria in bassa tensione a quella primaria in media tensione. La nuova regolamentazione apre la strada alla diffusione e allo sviluppo di comunità energetiche sul territorio nazionale.

In Figura 42 sono riassunti i passi salienti del percorso introdotto in Italia verso l’adozione delle comunità energetiche.



Figura 44 – Percorso italiano verso le CE

## 4.2.3 Commenti

Barriere

- Le tecnologie necessarie alla realizzazione di Comunità Energetiche sono ad oggi ancora scarsamente disponibili sul mercato.
- Gli aspetti legali e le procedure amministrative sono complessi e non incentivano la realizzazione di Comunità Energetiche e PED.
- Il livello di informazione e di consapevolezza della popolazione e della maggior parte dei portatori di interesse è ancora basso.
- Esistono barriere finanziarie che necessitano di incentivi per essere superate.
- Quanto elencato sopra richiede un supporto politico molto maggiore di quello visto fino ad oggi.

## 4.2.4 Casi studio

### 4.2.4.1 La comunità Energetica di Berchidda

Il Comune di Berchidda, in Sardegna, ha avviato il progetto Berchidda 4.0, volto alla trasformazione della rete di distribuzione dell'energia elettrica in una rete intelligente, con lo scopo di permettere la condivisione energetica a livello locale. L'obiettivo è la condivisione dell'energia prodotta da una serie di sistemi fotovoltaici dotati di accumulo dislocati sul territorio attraverso una Comunità Energetica Locale, con il coinvolgimento attivo dei cittadini. Il progetto, co-finanziato dalla Regione Sardegna e con il supporto scientifico del Dipartimento

di Ingegneria Elettrica ed Elettronica dell'Università di Cagliari, prevede la trasformazione della rete esistente in una Smart Grid, grazie all'installazione di sistemi di smart metering di seconda generazione, in grado di ottimizzare l'efficienza energetica della rete e la gestione della domanda energetica e dei carichi degli utenti finali. I nuovi sistemi di monitoraggio e automazione applicati alla rete incrementeranno la capacità di integrazione delle fonti rinnovabili, permettendo la gestione di diversi impianti connessi per consumo e produzione di energia da RES. La particolarità del progetto è la titolarità della rete di distribuzione esistente da parte del comune, che ha quindi mantenuto la gestione della rete a livello locale.

Nome del progetto	Comunità Energetica di Berchidda 4.0
Data intervento	In fase di realizzazione
Area geografica	Berchidda, Sassari
Area	n.d.
Interventi	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Creazione di una comunità energetica</li> <li>2. Concessione per l'uso della rete distributiva elettrica per "l'ultimo miglio"</li> <li>3. Co-finanziamento della Smart Grid</li> <li>4. Creazione della Smart Grid</li> </ol>
Copertura fabbisogno	50%
Sistemi Considerati	<p>Sistemi di gestione della Smart Grid (smart meters e sistemi di monitoraggio)</p> <p>Sistemi fotovoltaici con accumulo</p>
Particolarità	Il comune di Berchidda possiede la titolarità della rete di distribuzione esistente

Tabella 24 – Caratteristiche Comunità Energetica di Berchidda

Attualmente, il Comune di Berchidda conta 67 impianti fotovoltaici, per una potenza totale di 608 kWp in grado di soddisfare il 12% del fabbisogno energetico del Comune. Con l'iniziativa Berchidda 4.0 si prevede l'installazione di 1.500 kWp ulteriori, grazie a oltre 200 nuovi impianti fotovoltaici e relativi sistemi d'accumulo concentrato. Con questo nuovo sistema si prevede di aumentare la copertura del fabbisogno energetico locale dal 12% attuale a percentuali superiori al 50%. L'iniziativa prevede inoltre il coinvolgimento di cittadini già dotati di impianti fotovoltaici con sistemi di accumulo, al fine di coinvolgere la comunità sensibilizzando e promuovendo l'autoconsumo locale dell'energia prodotta da RES. Grazie a questi interventi, il comune di Berchidda stima di dimezzare le spese energetiche pubbliche, risparmiando 620.000€/anno, e la diminuzione del 30% del costo della bolletta dei cittadini.

#### 4.2.4.2 Il distretto ad energia positiva di Limerick (H2020 +CityxChange)

Il caso studio presenta un'analisi svolta nell'ambito del progetto europeo +CityxChange su un distretto

della città di Limerick. Il distretto, che nell'arco del progetto verrà convertito da energivoro a PED, è stato studiato con un'analisi preliminare volta a valutare l'effetto di diverse soluzioni progettuali sulle performance energetiche complessive, per individuare gli step necessari a raggiungere la condizione di PED. Questa analisi è stata svolta grazie a software di simulazione energetica su scala urbana, che hanno permesso di valutare sia il fabbisogno energetico degli edifici, sia la produzione da RES ed eventuali scenari di scambio energetico. Il processo può essere riassunto nei seguenti step: (1) Definizione dello scenario di riferimento e modellazione, con analisi del fabbisogno energetico (2) analisi delle misure di efficientamento a livello di "utilizzo" dell'edificio, (3) analisi delle misure di efficientamento meno impattanti; (4) analisi delle misure di efficientamento intensive e; (5) analisi della produzione da RES per copertura del fabbisogno residuo.

A livello pratico, è quindi stato fatto il modello energetico dei 5 edifici facenti parte del distretto selezionato (Figura 43 e Figura 44). Innanzitutto, considerando che gli edifici considerati erano edifici

energivori, sono state analizzate alcune misure di efficienza energetica per abbassare il fabbisogno del distretto, considerando sia strategie sia passive che attive. Le misure sono state suddivise in 3 macrocategorie, a seconda del livello di intrusione e del costo dell'intervento, dal livello più basso inerente all'utilizzo quotidiano dell'edificio (es. sostituzione di luci LED, modifica dei set points di temperatura etc.), al più alto con misure di ristrutturazione profonda. Migliorate le prestazioni energetiche del distretto con gli interventi di riqualificazione, è stato ipotizzato e modellato l'utilizzo di RES per la

copertura del fabbisogno restante, ed in particolare di sistemi fotovoltaici. L'analisi ha mostrato come grazie agli interventi di ristrutturazione è possibile diminuire il fabbisogno energetico del distretto fino al 64%, da 1.57 GWh a 1.2 GWh. L'installazione degli impianti solari fotovoltaici può comportare un'ulteriore riduzione, con un consumo totale di 1,14 GWh all'anno. Il fabbisogno restante è compensato da altre fonti di energia rinnovabile, come ad esempio l'energia estratta dall'alternarsi delle maree, che portano il distretto a raggiungere un bilancio positivo, con una produzione annua di 0.4 GWh.

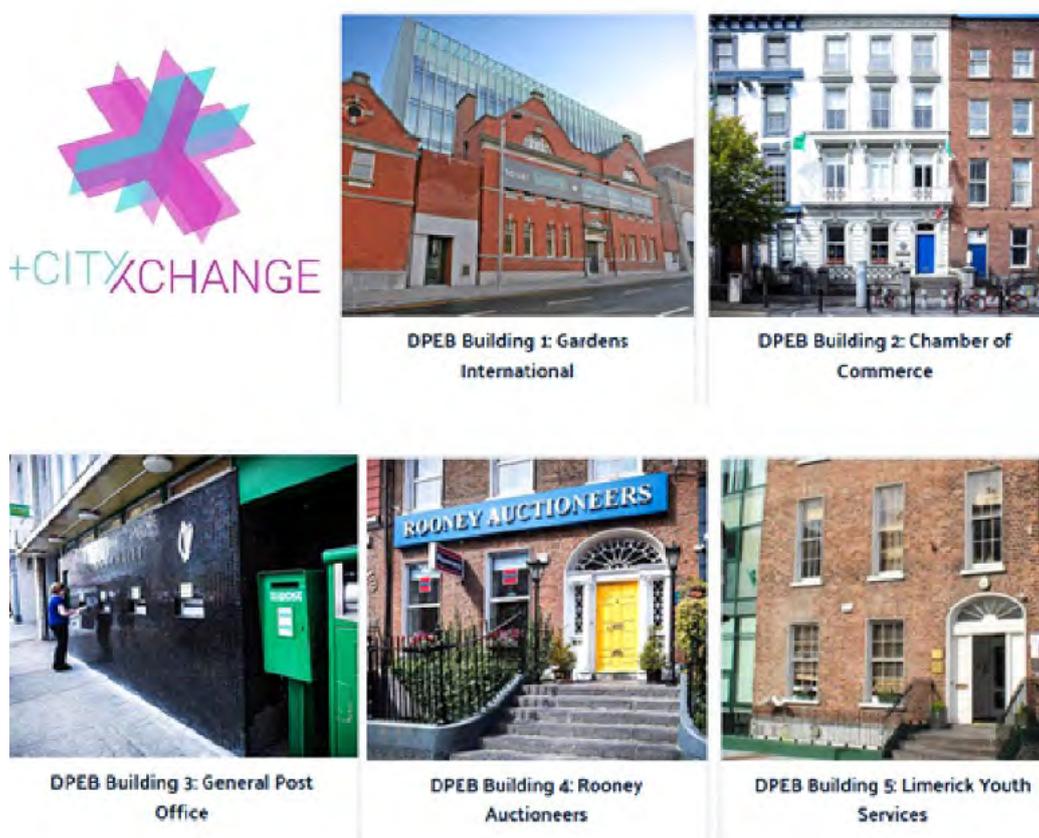


Figura 45 – Edifici selezionati per il caso studio PED di Limerick [Fonte: +CityxChange30]

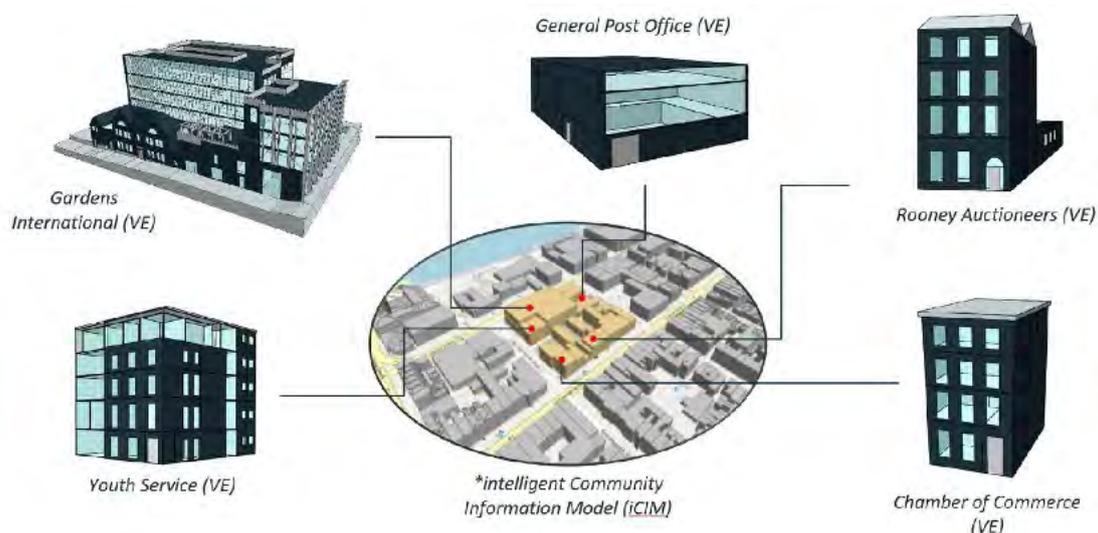


Figura 46 – Modello energetico del caso studio PED di Limerick [Fonte: +CityxChange<sup>30</sup>]

Nome del progetto	Limerick Georgian District - +CityxChange
Data intervento	n.d.
Area geografica	Ireland – Limerick
Area	15.000 m <sup>2</sup>
Interventi	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Energy Demand Modelling</li> <li>2. Operational efficiency of the building</li> <li>3. Shallow retrofit</li> <li>4. Deep renovation</li> <li>5. RES</li> </ol>
Energia prodotta	Da - 1.57 GWh/y a + 0.40 GWh/y
Sistemi Considerati	n.d.
Particolarità	Utilizzo di Digital Twin IES ICL per valutare la trasformazione in PED dei blocchi selezionati

Tabella 25 – Caratteristiche Limerick Georgian District [Fonte: +CityxChange<sup>30</sup>]

## 4.3 Teleriscaldamento

### 4.3.1 Descrizione/inquadramento

Il teleriscaldamento (TLR) è una tecnologia di generazione e distribuzione del calore all'interno di tubazioni appositamente installate nel terreno, nata negli Stati Uniti verso la fine del XIX secolo e diffuso in Italia a partire dagli anni 70 del Novecento. La

generazione del calore avviene in diverse modalità, in passato prevalentemente basate sulla combustione di fonti fossili, o sullo sfruttamento di energia di scarto da processi di generazione dell'energia elettrica da fonti fossili.

Secondo AIRU<sup>34</sup> sono attualmente in funzione in Italia oltre 420 reti, per un totale di 375 milioni di m<sup>3</sup> riscaldati (equivalenti a circa 1,3 milioni di appartamenti). Il TLR soddisfa quindi il 2,3% della

domanda del settore residenziale, fornendo oltre 9 GWhth di energia termica.

Le reti di TLR sono concentrate prevalentemente nel centro-nord del Paese, dove la stagione di riscaldamento è più lunga e rigida e consente ai gestori, date le maggiori quantità di calore venduto, di operare in modo economicamente proficuo. Il teleraffrescamento (TLRaff) rappresenta una quota minima delle reti esistenti, ma, con l'aumento medio

delle temperature estive e con l'aumentare degli edifici provvisti di sistema centralizzato di raffrescamento, è verosimile che questa particolare tecnologia trovi maggiore spazio nei prossimi decenni.

Il TLR in Italia nasce soprattutto per utilizzare il calore generato da impianti di produzione elettrica da fonti fossili. Tuttavia, la disponibilità di legna nelle zone montane e la transizione energetica spingono sempre più gestori ad installare impianti a fonti rinnovabili, come evidenziato in Figura 46.

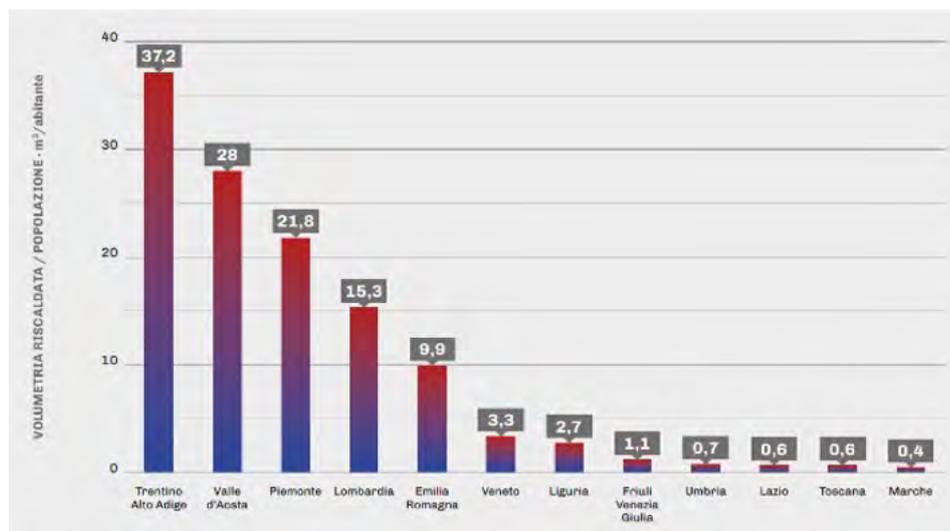


Figura 47 – Distribuzione della volumetria teleriscaldata per regione (fonte: AIRU)

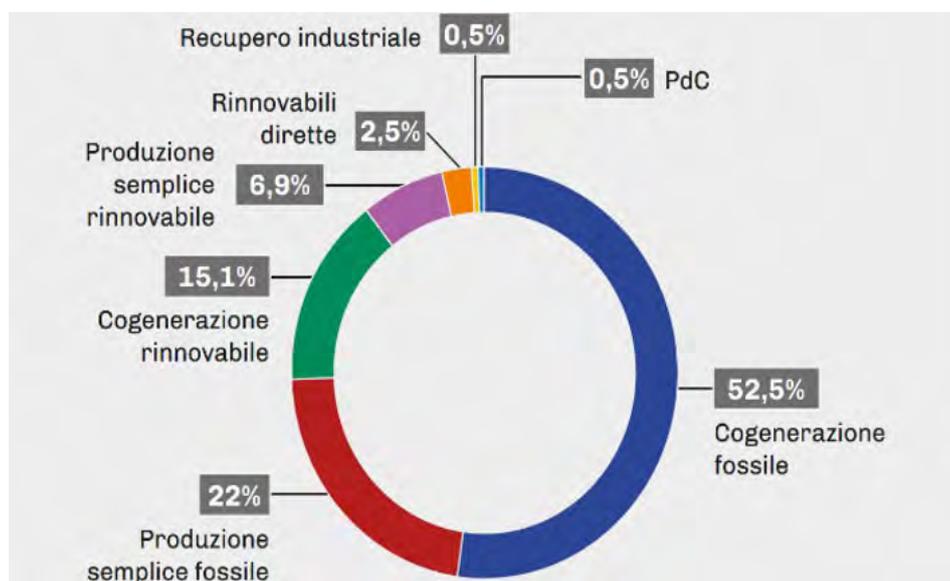


Figura 48 – Fonti energetiche che alimentano le reti TLR in Italia

<sup>34</sup> AIRU, Associazione Italiana Riscaldamento Urbano, <https://www.airu.it/italia/>

### 4.3.2 Norme/procedure di riferimento

Il Decreto legislativo 102/2014, recepimento della Direttiva EED, definisce il TLR come segue:

*Sistema di trasporto dell'energia termica, realizzato prevalentemente su suolo pubblico, finalizzato a consentire a chiunque interessato, nei limiti consentiti dall'estensione della rete, di collegarsi alla medesima per l'approvvigionamento di energia termica per il riscaldamento o il raffreddamento di spazi, per processi di lavorazione e per la copertura del fabbisogno di acqua calda sanitaria.*

- *la rete deve servire una pluralità di edifici;*
- *la rete deve servire una pluralità di clienti.*

Gli obblighi di copertura del fabbisogno di energia termica degli edifici tramite fonti rinnovabili, come da decreto 28/11 (e successive modifiche come da Decreto Legislativo n.199 dell'8 novembre 2021, che attua la REDII), non si applicano qualora l'edificio sia collegato ad una rete di TLR e/o TLRaff la quale ne soddisfi per intero il fabbisogno.

Lo stesso decreto 102/2014 definisce anche il TLR efficiente:

*Teleriscaldamento e teleraffreddamento efficienti usano, in alternativa, almeno:*

- a) il 50 per cento di energia derivante da fonti rinnovabili;*
- b) il 50 per cento di calore di scarto;*
- c) il 75 per cento di calore cogenerato;*
- d) il 50 per cento di una combinazione delle precedenti.*

Questa definizione viene applicata per il riconoscimento di alcuni incentivi (quali i fondi del PNRR) alle reti di TLR più virtuose.

Il Clean Energy for all Europeans Package richiede infine che:

- *sia garantito il diritto alla disconnessione degli utenti di teleriscaldamenti non efficienti;*
- *il teleriscaldamento efficiente possa essere conteggiato per la verifica del raggiungimento degli obblighi di quota minima di RES negli edifici.*

### 4.3.3 Commenti

- Il problema delle elevate temperature richieste dagli edifici esistenti è parzialmente risolvibile riducendo la temperatura dei rami collegati ad edifici che richiedono temperature basse.
- Il valore di CO<sub>2</sub>/kWh assegnato al TLR (0,36 kg/kWh) è sfavorevole rispetto a quello dell'energia elettrica (0,43 kg/kWh). A2A, per esempio, nel 2019 aveva 0,335. È quindi necessario che i gestori decarbonizzino significativamente i loro impianti. Il TLR di Brescia è passato da 0,32 a 0,23 grazie al termovalorizzatore e A2A prevede in futuro di scendere fino a 0,07, grazie anche a pompe di calore installate sui rami di rete a bassa temperatura.
- Le azioni tecnologiche più rilevanti sono considerate:
  - o ridurre le temperature (mandata e ritorno) delle reti di TLR (ed alzare quelle delle reti di TLRaffrescamento)
  - o TLR assistito da solare termico
  - o geotermia a media entalpia (dove possibile)

## 4.3.4 Casi studio

Il caso studio riportato di seguito mostra l'impianto di teleriscaldamento attualmente in funzione a Bressanone. Si tratta di un impianto moderno e complesso, che utilizza numerose tecnologie

rinnovabili per la generazione del calore, oltre a recuperare energia termica da processi industriali. I picchi di domanda sono coperti tramite caldaie a gas, come accade a tutt'oggi nella maggior parte delle reti di teleriscaldamento.

Nome del progetto	Teleriscaldamento di Bressanone
Tecnologie installate	<ul style="list-style-type: none"> <li>• n. 1 cogeneratore ad olio vegetale (920 kW<sub>el</sub> e 850 kW<sub>th</sub>)</li> <li>• n. 3 caldaie ad olio vegetale (9,2 MW<sub>th</sub> totali)</li> <li>• n. 2 caldaie a biomassa (6.500 kW<sub>th</sub> e 988 kW<sub>th</sub>)</li> <li>• Gassificatore a legna (120 kW<sub>th</sub>)</li> <li>• Impianto ORC</li> <li>• Recupero cascami termici industriali (12 GWh<sub>th</sub>/a)</li> <li>• n. 6 caldaie a gas per la copertura dei picchi</li> </ul>
Area geografica	Bressanone (BZ)
Temperatura rete TLR	90°C
Energia termica fornite alle utenze	24 GWh/a

Tabella 26 – Caso studio TLR Bressanone



Figura 49 – Impianto di teleriscaldamento a Bressanone (fonti: ASMB, MODUS Architect)

# 5 Misure di Compensazione Ambientale

L'urbanizzazione e l'infrastrutturazione del territorio sono tra i principali responsabili delle pressioni ambientali che ambiente e paesaggio subiscono e continuano a subire. Nei capitoli precedenti è stato visto come esistono diverse misure per mitigare il più possibile l'impatto dell'uomo sul pianeta, riducendo lo sfruttamento di risorse e combustibili fossili e quindi diminuendo le emissioni di CO<sub>2</sub>. Qualora non sia possibile svolgere ulteriori azioni di mitigazione, è possibile ricorrere alla compensazione, per cercare di ridurre l'impatto ambientale. Le opere di compensazione sono interventi non strettamente collegati con l'opera, che vengono realizzati a titolo di "compensazione" ambientale. Tra queste, nel mondo dell'edilizia, spicca il Carbon Offset, nota anche come Compensazione Carbonica, una serie di azioni volta a ridurre l'impronta carbonica delle opere e dei processi produttivi.

## 5.1 Carbon Offset

### 5.1.1 Descrizione/inquadramento

Secondo il Ministero della transizione Ecologica l'impronta di Carbonio, o Carbon footprint, è "una misura che esprime in anidride carbonica equivalente (CO<sub>2</sub>e) il totale delle emissioni in atmosfera di gas ad effetto serra associate direttamente o indirettamente ad un prodotto, un'organizzazione o un servizio". Può essere visto come un indicatore delle pressioni e degli impatti ambientali che le attività di origine antropica hanno sull'ambiente e sui cambiamenti climatici.

Il termine può essere applicato sia ad un'intera organizzazione, sia ad un prodotto, come un materiale od una costruzione edilizia, che ad un'attività, come un viaggio aereo. Il calcolo della Carbon Footprint presuppone la quantificazione

delle emissioni di gas serra (GHG) legate all'uso di materie prime, valutate con l'approccio Life-Cycle Assessment (LCA) sull'intero ciclo di vita, ed ai consumi di energia, prodotti direttamente o indirettamente da un'organizzazione.

L'impronta di carbonio può essere:

- Ridotta – con le misure trattate nei precedenti capitoli (attive, passive e RES) e;
- Compensata – attraverso delle azioni di Carbon Offset.

Il Carbon Offset è definito dall'Enciclopedia Britannica come: "Una qualsiasi attività volta a compensare l'emissione di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) o di altri gas a effetto serra (misurata in CO<sub>2</sub>e) attraverso la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> altrove"<sup>36</sup>. Può quindi riferirsi in generale ad una riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, attraverso ad esempio l'applicazione di RES, o un aumento dello stoccaggio di carbonio, attraverso ad esempio la piantumazione di alberi, che viene utilizzata per compensare le emissioni che si verificano in un altro luogo. È importante tener conto che per la maggior parte delle organizzazioni o degli individui è molto difficile eliminare completamente tutte le emissioni associate alle loro attività e prodotti. In questo senso il Carbon Offset può essere uno strumento importante per contribuire al raggiungimento la neutralità carbonica, purché venga associato ad azioni volte alla riduzione dell'impronta carbonica ed utilizzato solo come ultima misura. Pertanto, come mostrato in Figura 48, è importante porre l'attenzione sulla riduzione delle emissioni di GHG, in linea con gli obiettivi di mitigazione energetica globale, ed utilizzare le compensazioni di carbonio solo come strumento aggiuntivo per ridurre le proprie emissioni quasi a zero entro il 2050.

<sup>35</sup> Ministero della transizione ecologica, <https://www.minambiente.it/pagina/cose-la-carbon-footprint>

<sup>36</sup> Enciclopedia britannica, <https://www.britannica.com/explore/savingearth/carbon-offset>



Figura 50 – Passaggi per l'ottenimento di crediti di carbonio [Fonte: Reteclima]

Per regolamentare e quantificare le azioni di Carbon Offset intraprese dai diversi soggetti, sono stati introdotti i Crediti di Carbonio (CER), vere e proprie unità di carattere finanziario che rappresentano la quantità di carbonio che è stata evitata, ridotta o sequestrata attraverso un progetto e che può essere acquistata come mezzo per compensare le emissioni. In particolare, un singolo CER rappresenta la rimozione di una tonnellata di CO<sub>2</sub> equivalente dall'atmosfera. Il CER è uno strumento trasferibile certificato da governi o organismi di certificazione indipendenti per rappresentare una riduzione delle emissioni. L'acquirente di un credito compensato può "ritirarlo" ed utilizzare la compensazione per contribuire ai propri obiettivi di riduzione dei gas serra. Il concetto chiave è che i crediti di compensazione vengono utilizzati per trasmettere un beneficio climatico netto da un'entità all'altra. Poiché i gas serra si mescolano a livello globale nell'atmosfera, non importa dove vengano ridotti esattamente.

I crediti di compensazione del carbonio possono essere prodotti da una varietà di attività che riducono le emissioni di gas a effetto serra o aumentano il sequestro del carbonio, tra le quali vi sono:

- Piantumazione di alberi, per proteggere e ripristinare le aree forestali esistenti minacciate dalla deforestazione;
- Uso di Energie rinnovabili, per contribuire alla decarbonizzazione della rete energetica locale;

- Efficienza energetica e Fuel Switching, misure di risparmio energetico che riducono le emissioni di CO<sub>2</sub> e sostituiscono i combustibili fossili;
- Pratiche agricole che sequestrano il carbonio nei suoli ripristinando la biodiversità;
- La cattura e la distruzione di gas serra ad alta potenza come metano, N<sub>2</sub>O o HFC;
- Gestione dei rifiuti, per catturare il metano rilasciato dallo smaltimento rifiuti e trasformarlo in combustibile pulito.

In molti casi, i progetti di compensazione delle emissioni di carbonio producono benefici sociali e ambientali al di là della semplice riduzione dei gas serra. A seconda del tipo di progetto, questi "benefici collaterali" possono includere: miglioramenti delle opportunità di lavoro nella comunità; migliore qualità dell'aria o dell'acqua; conservazione della biodiversità e dell'habitat; migliore accesso all'energia; e un migliore accesso ai servizi sanitari e educativi della comunità.

### 5.1.2 Norme/procedure di riferimento

A livello normativo, l'impronta carbonica può essere calcolata secondo:

- ISO 14067 – Per le materie prime, dove le emissioni di CO<sub>2</sub> sono valutate sull'intero ciclo di vita attraverso LCA;

- ISO 14046 o GHG Protocol – Per i consumi di energia delle organizzazioni, dove viene fatta una distinzione tra emissioni prodotte direttamente dall'organizzazione ed emissioni prodotte indirettamente con la produzione di energia elettrica e termica.

Per quanto riguarda i crediti di carbonio, il concetto è stato introdotto dal protocollo di Kyoto, nel quale la compensazione era vista come una strategia importante per la lotta al cambiamento climatico. Secondo il trattato, i paesi industrializzati potevano finanziare progetti di compensazione nei paesi in via di sviluppo, fornendo loro gli investimenti necessari e promuovendo lo sviluppo sostenibile. In cambio, questi paesi ottenevano i CER. Nel quadro del Protocollo di Kyoto questi crediti possono essere scambiati, venduti ed utilizzati dai paesi industrializzati, divenendo un vero e proprio meccanismo finanziario per il raggiungimento di una parte degli obiettivi di riduzione delle emissioni. Tuttavia, a partire dal gennaio 2021 sono entrate in vigore le regole definite dell'Accordo di Parigi sul clima. L'accordo di Parigi, con la partecipazione alla riduzione delle emissioni anche da parte dei paesi

non industrializzati, complica considerevolmente questo vecchio quadro. Il fatto che ogni paese abbia accettato di ridurre le emissioni significa che ci saranno meno opportunità di ulteriori riduzioni. Secondo l'articolo 6 dell'Accordo di Parigi, vi è la possibilità di una cooperazione internazionale attraverso il trasferimento delle riduzioni delle emissioni. Tuttavia, se un paese consente che una riduzione delle emissioni sia richiesta da un'altra parte, non dovrebbe più essere in grado di contare la riduzione nel proprio obiettivo di GHG. L'accordo di Parigi ha un linguaggio che vieta espressamente questo "doppio conteggio" tra i paesi.

A livello nazionale ad oggi non vi è una regolamentazione che disciplina od incentiva il Carbon Offset, sebbene alcune municipalità stiano contemplando questo genere di iniziative all'interno dei loro piani regolatori. Un esempio è il comune di Milano, che cita le Compensazioni nell'articolo 10.5 del Piano di Governo del Territorio<sup>37</sup>, come forma di azione volta alla sostenibilità ambientale e resilienza urbana.

### 5.1.3 Commenti

#### Considerazioni generali

- Il carbon offset può essere un'opzione interessante in particolari contesti, come gli edifici tutelati. Dovrebbe comunque essere utilizzato come ultima scelta, per coprire quanto non è stato eventualmente possibile ridurre e coprire tramite RES e reti energetiche.
- Il PGT di Milano (articolo 10) cita il carbon offset tra le misure proposte in ambito sostenibilità.
- È necessario definire un perimetro geografico per il quale si possa parlare di carbon offset.
- Il progetto Innesto (Social Housing a Milano), per esempio, prevede l'utilizzo del carbon offset tramite piantumazione all'interno della zona urbana di Milano.
- La carbon tax può essere vista come un'alternativa al carbon offset per guidare gli investimenti immobiliari.

<sup>37</sup> Piano di Governo del Territorio di Milano <https://www.pgt.comune.milano.it/prnorme-di-attuazione/norme-di-attuazione/titolo-i-disposizioni-general/capo-ii-disciplina-generale/art-10-sostenibilita-ambientale-e-resilienza-urbana>

### 5.1.4 Caso studio

L'Innesto è uno dei progetti vincitori del bando internazionale "Reinventing Cities", che mira alla trasformazione delle zone dismesse e sottoutilizzate della città in aree caratterizzate da un nuovo modello per l'abitare sostenibile ed efficiente, sia dal punto di vista energetico che sociale attraverso una rigenerazione urbana resiliente e a zero emissioni. Selezionato come vincitore per la zona dello scalo Greco-Breda di Milano, il progetto prevede la creazione di un quartiere dove sorgeranno circa 400 nuovi alloggi di housing sociale. Gli edifici saranno tutti nZEB progettati con sistemi costruttivi e tecnologici prefabbricati ed un buon mix di materiali sostenibili, ai fini di minimizzare le emissioni

di CO<sub>2</sub> e rifiuti, consentendo di smantellare e riciclare al 100% le strutture. Tra le varie opere per la riduzione di CO<sub>2</sub> vi sono il riutilizzo dei terreni di scavo e derivanti dalle bonifiche, la destinazione di più del 60% della superficie totale ad orti, con la possibilità di utilizzo di compost prodotto in loco da rifiuti organici degli abitanti e la piantumazione di alberature (640 alberi). Nonostante il progetto sia ad altissime prestazioni, le diverse misure non permettono di raggiungere la condizione di neutralità carbonica. Per questo motivo, sono state previste misure di Carbon Offset per compensare la quota parte di emissione rimaste, con opere di riforestazione urbana, ovvero con la piantumazione di alberi in altre aree del comune, che contribuiranno ad assorbire la CO<sub>2</sub> in altre zone della città.



Figura 51 – Progetto L'Innesto  
[Fonte: Barreca e Lavarra]

Nome del progetto	l'Innesto
Data intervento	2022
Area geografica	Milano
Tipologia del progetto	Primo Housing Sociale Zero Carbon in Italia
Tipologia di Offset	Riforestazione Urbana
Superficie progetto	62.000 m <sup>2</sup>

Tabella 27 – Caratteristiche del progetto  
L'Innesto [Fonte: Barreca e Lavarra]

## 6. Embodied Carbon

### 6.1 Embodied Carbon

#### 6.1.1 Descrizione/inquadramento

L'attenzione crescente verso l'ambiente ed i cambiamenti climatici ha portato verso la costruzione di edifici nZEB, ovvero a consumo ed emissioni quasi nulli. I criteri per la definizione di un edificio ad energia quasi nulla, tuttavia, tengono conto solo della cosiddetta Operational Energy, ovvero dell'energia legata all'utilizzo dell'edificio (riscaldamento, aria condizionata, utilizzo di metano e energia elettrica etc.), ma non dell'Embodied Energy, ovvero dell'energia utilizzata per la sua costruzione. Strettamente connessi al concetto di Operational ed Embodied Energy vi sono il concetto di Operational Carbon, ovvero la quantità di carbonio emessa una volta che un edificio è in uso, ed Embodied Carbon, ovvero la quantità di carbonio emessa durante la costruzione di un edificio. Si può quindi dire che un edificio inizia effettivamente a produrre emissioni di CO<sub>2</sub> ancor prima di essere costruito, dovute a

processi di estrazione delle materie prime, produzione e raffinazione dei materiali, trasporto, installazione e smaltimento di vecchie forniture (Figura 50).

In sostanza, queste emissioni di carbonio sono incorporate ed integrate nel tessuto dell'edificio. È importante non limitarsi all'analisi delle Operational Carbon e considerare anche l'effetto dell'Embodied Carbon sull'intero ciclo di vita degli edifici per raggiungere gli obiettivi di neutralità climatica e zero emissioni fissati per il 2050 (Figura 51). Secondo il rapporto stilato dal World Green Building Council il 39% di tutte le emissioni di CO<sub>2</sub> nel mondo sono associate al settore edilizio. In particolare, il 70% di queste emissioni è dovuto alla componente Operational degli edifici, mentre il restante 30% è dovuto alle emissioni associate a materiali e processi di costruzione durante l'intero ciclo di vita, e pertanto già incorporate nell'edificio.

L'Operational Carbon è una priorità di riduzione nel contesto energetico-climatico globale, ed essendo strettamente legato al consumo degli edifici durante la loro vita utile risulta di facile misurazione. Lo stesso

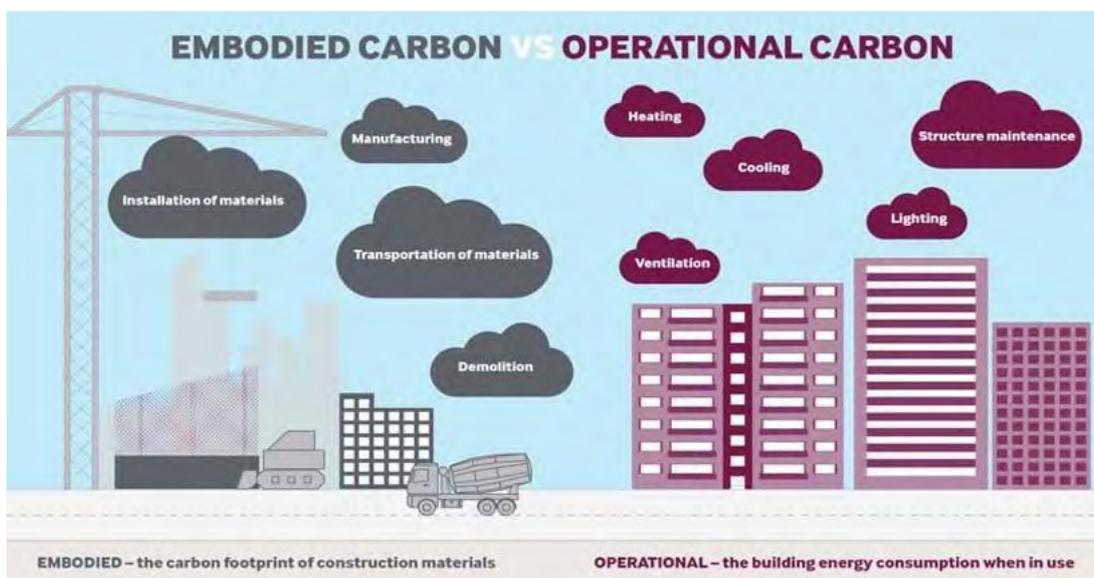


Figura 52  
Operational ed  
Embodied Carbon  
[Fonte: Rps  
Group<sup>39</sup>]

<sup>38</sup> Embodied carbon call to action report, WGBC <https://www.worldgbc.org/embodied-carbon>

<sup>39</sup> <https://www.rpsgroup.com/services/environment/sustainability-and-climate-resilience/expertise/what-is-embodied-carbon/>



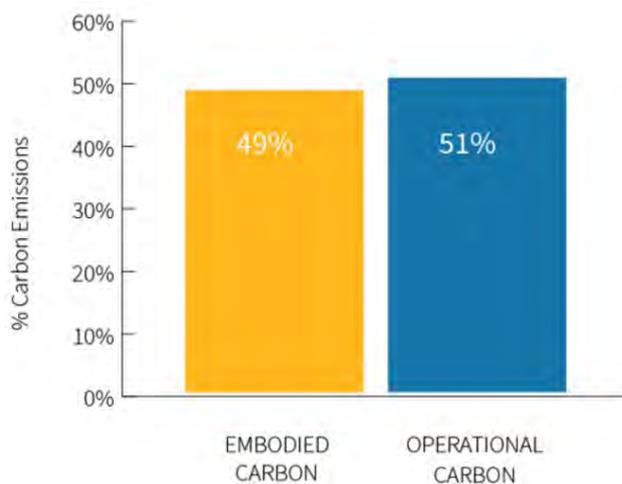
Figura 53 Embodied carbon (giallo) e operational carbon (blu) nei principali stadi del processo di vita di un edificio [Fonte: Carbon Leadership Forum<sup>40</sup>]

non si può dire per l'Embodied Carbon, sul quale non vi sono ancora metodologie di calcolo standardizzate. In linea con la progressiva diffusione di edifici sempre più performanti l'Embodied Carbon assumerà un ruolo sempre più importante, arrivando ad eguagliare le emissioni date dalla componente Operational entro il 2050. Risulta quindi evidente come trascurando la componente Embodied e considerando solo la parte Operational si pongono limiti importanti per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione prefissati. È quindi importante adottare politiche atte alla regolamentazione della componente Embodied delle emissioni.

L'interesse per la tematica ha portato allo sviluppo di apposite metodologie di calcolo e certificazioni per valutare la sostenibilità dei materiali. La metodologia di calcolo comunemente usata per valutare la quantità di CO<sub>2</sub> legata alla produzione, all'installazione ed allo smaltimento dei materiali da costruzione si chiama Life Cycle Assessment (LCA), ed è un'analisi che valuta la sostenibilità dei materiali edili sull'intero ciclo di vita. Diverse certificazioni di sostenibilità volontarie (es. LEED, BREEAM etc.) ed etichette ambientali si basano sull'analisi LCA.

### 6.1.1.1 Life Cycle Assessment

Il Life Cycle Assessment rappresenta un metodo oggettivo di valutazione e quantificazione delle emissioni, delle risorse consumate, dei carichi energetici ed ambientali associati ad un prodotto,



© 2018 2030, Inc. / Architecture 2030, All Rights Reserved. Data Sources: UN Environment Global Status Report 2017; EIA International Energy Outlook 2017

Figura 54 – Prospetto sulla tipologia di Emissioni di CO<sub>2</sub> per nuove costruzioni al 2050 [Fonte: Carbon Cure<sup>41</sup>]

un processo od un'attività lungo l'intero ciclo di vita, dall'acquisizione delle materie prime al fine vita, e quindi nell'ottica del **“Cradle to grave”**, ovvero dalla Culla alla Tomba. LCA è definito nelle norme ISO 14040 e ISO 14044 come **“un procedimento oggettivo di valutazione dei carichi energetici ed ambientali relativi ad un processo o un'attività, effettuato attraverso l'identificazione dell'energia e dei materiali usati e dei rifiuti rilasciati nell'ambiente. La valutazione include l'intero ciclo di vita del processo o attività, comprendendo l'estrazione e il trattamento delle materie prime, la fabbricazione, il trasporto, la distribuzione, l'uso, il riuso, il riciclo e lo smaltimento**

<sup>40</sup> <https://carbonleadershipforum.org/>

<sup>41</sup> <https://www.carboncure.com/concrete-corner/what-is-embodied-carbon/>

*finale*". Come mostrato in Figura 53, tutte le fasi analizzate dalla metodologia, dalla produzione allo smaltimento, sono correlate e dipendenti.

La LCA, quindi, è una metodologia di analisi che può essere usata come guida per il miglioramento dei prodotti esistenti e nuovi. Studiando nel dettaglio ogni aspetto relativo alle diverse fasi di vita del prodotto, quest'analisi permette di sviscerare la complessità dell'intero ciclo di vita, suddividendolo nelle singole fasi e consentendo così di individuare quelle maggiormente impattanti.

I risultati della LCA permettono inoltre di confrontare i diversi prodotti e le loro prestazioni ambientali, consentendo di fare una scelta ponderata in fase di progettazione e riducendo di conseguenza la quantità di Embodied Carbon dell'edificio con un'analisi accurata dei materiali.



Figura 55 Fasi del LCA [Fonte: Reteclima<sup>42</sup>]

### 6.1.1.2 Etichette Ambientali

Le etichette ambientali includono informazioni sulle caratteristiche dei diversi prodotti da costruzione, permettendo un confronto tra le diverse opzioni progettuali ed un orientamento del mercato verso quelli con le migliori prestazioni ambientali.

Queste etichette possono essere obbligatorie, come ad esempio quelle energetiche per gli elettrodomestici, o ad adesione volontaria.

Come definito dalla norma UNI ISO 14020, le etichette ambientali di natura volontaria possono essere classificate in 3 tipologie:

- Etichette ambientali Tipo I;
- Autodichiarazioni ambientali Tipo II;
- Dichiarazioni Ambientali di Prodotto ISO Tipo III.

Le etichette ambientali di tipo I sono etichette ecologiche basate su un sistema che considera il prodotto sull'intero ciclo di vita. Sono sottoposte a certificazione esterna da parte di un organismo competente, che può essere pubblico o privato. Questo tipo di etichetta viene assegnato ai prodotti che rispondono a determinati criteri ambientali e prestazionali definiti mediante un processo di consultazione aperta con le parti interessate. Le etichette di tipo II sono delle autodichiarazioni ambientali, che non prevedono la certificazione da parte di un ente esterno e dove le informazioni vengono fornite direttamente da produttori, importatori o distributori di prodotti. Le etichette ambientali di tipo III, note anche con il nome "dichiarazione ambientale di prodotto" (EPD), contengono informazioni oggettive e misurabili sull'impatto ambientale associato al ciclo di vita di un prodotto. Anche in questo caso le etichette sono sottoposte alla verifica da parte di un ente terzo pubblico o privato. Questo tipo di etichetta

<sup>42</sup> <https://www.reteclima.it/lca-life-cycle-assessment-analisi-del-ciclo-di-vita/>

utilizza la metodologia LCA per l'identificazione e la quantificazione degli impatti ambientali, in modo da garantire l'oggettività delle informazioni contenute nella dichiarazione e permettendo un confronto diretto tra le varie tipologie di prodotti.

### 6.1.1.3 Esempi di materiali

L'impatto dei materiali da costruzione dipende molto dalle scelte dei produttori che, attuando miglioramenti ambientali ai loro processi produttivi, possono ottenere materiali più ecocompatibili.

## 6.1.2 Norme/procedure di riferimento

A differenza della componente operational, per la quale esistono diversi limiti e legislazioni a livello nazionale ed internazionale, la componente Embodied non è normata e non è soggetta a nessun tipo di limite di legge. Questo può dar vita ad una contraddizione per cui possono essere costruiti edifici nZEB, a basso consumo ed operational carbon, ma con un alto valore di Embodied Carbon inglobato nei

Categoria	Tipologia	Materiale	Baseline [kg-CO <sub>2</sub> e/kg]	Progetto [kg-CO <sub>2</sub> e/kg]
Struttura portante	Struttura in Legno	XLAM	0.29	0.29
		MDF	1.83	0.51
	Struttura in CLS	Cemento	0.96	0.4
		Armatura in acciaio	0.77	0.55
	Struttura in Acciaio	Acciaio da carpenteria	0.71	0.68
Tamponamenti	Isolanti	Lana di vetro	1.98	1.13
		Lana di roccia	1.35	1.31
		XPS	4.24	1.66
		EPS	4.37	3.07
		Fibra di legno	0.88	0.44
	Vetrate	Vetro	2.38	1.75
		Telaio in alluminio	7.81	2.71
		Telaio in PVC	4.43	3.02
	Muratura	Mattoni	0.33	0.17
	Divisori	Cartongesso	0.29	0.23
	Pavimentazioni	Sottofondo	Calcio Silicato	0.4
Rivestimento		Ceramica	1.36	0.53
		Legno	2.44	1.85
		Materiali vinilici	3.65	2.8
		Linoleum	5.16	2.41
		Moquette (kg-CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )	9.87	4.76
Resina	2.5	2.22		

Tabella 28 – Contenuto di CO<sub>2</sub>e dei principali materiali da costruzione impiegati in edilizia

materiali da costruzione poco sostenibili utilizzati.

Sebbene non vi siano imposizioni a livello normativo, esistono delle metodologie di calcolo e degli strumenti che possono essere utilizzati per svolgere l'analisi delle emissioni legate all'utilizzo dei diversi materiali, come LCA e le etichette ambientali.

A livello legislativo, LCA è inquadrato dalle norme ISO 14040 e ISO 14044, che descrivono come applicare la metodologia per qualsiasi tipologia di prodotti, riportando una serie di requisiti generali applicabili a tutti i prodotti, indipendentemente dalla loro natura. Nello specifico, la UNI EN ISO 14040 specifica la struttura dell'analisi LCA, elencandone i principi ed i requisiti ma non entrando nel merito dei dettagli specifici delle tecniche di valutazione. La UNI EN ISO 14044 definisce gli obiettivi dello studio LCA e della successiva fase di analisi dell'inventario dei flussi in entrata ed in uscita dal sistema.

A livello europeo l'importanza strategica dell'utilizzo dell'analisi LCA come strumento di base per l'identificazione di aspetti ambientali significativi è espressa nella COM 2001/68/CE e nella COM 2003/302/CE sulla Politica Integrata dei Prodotti.

Le norme di riferimento per le etichette ambientali variano a seconda della tipologia di etichetta:

- Etichette ambientali di tipo I regolate dalla norma UNI EN ISO 14024;
- Etichette ambientali di tipo II regolate dalla norma UNI EN ISO 14021;
- Etichette ambientali di tipo III regolate dalla norma UNI EN ISO 14025.

Per i principi generali inerenti alle etichette ambientali la norma di riferimento è la UNI EN ISO 14020.

### 6.1.3 Commenti

#### Considerazioni generali

- Gli EPD (Environmental Product Declarations) riportano una sezione che quantifica le emissioni legate alla produzione e allo smaltimento del materiale. È però complicato confrontare gli EPD di diversi prodotti, perché non esiste uno schema standard che garantisca la confrontabilità delle ipotesi secondo le quali i valori sono stati quantificati.
- È auspicabile l'introduzione di limiti di legge minimi per le prestazioni dei materiali, come avviene per l'aspetto energetico.
- Va inoltre sottolineato che i principali strumenti di certificazione (es. LEED), non valutano la qualità dei materiali usati, ma solo la presenza (o meno) degli EPD. È quindi possibile ottenere il punteggio massimo utilizzando materiali poco performanti.

### 6.1.4 Caso studio

Di seguito è riportato a titolo esemplificativo uno studio condotto su nove edifici ad uso residenziale di recente costruzione, per i quali è stata adottata un'analisi volta a ridurre la quantità di Embodied Carbon. Lo studio ha visto l'applicazione della metodologia LCA per l'analisi dei diversi materiali con l'utilizzo del software OneClickLCA<sup>43</sup>.

L'analisi, volta alla quantificazione del carbonio incorporato nei materiali, è stata suddivisa in tre fasi principali: (1) analisi del Business as Usual; (2) creazione degli scenari di riferimento e; (3) analisi dello stato di progetto. La fase iniziale ha visto la creazione del Business as Usual, ovvero dell'edificio di riferimento, costruito secondo le pratiche edilizie ed i materiali tradizionali. Gli edifici di baseline sono stati costruiti considerando una struttura portante in calcestruzzo armato e altri materiali comunemente usati in edilizia, non particolarmente performanti dal punto di vista delle emissioni di carbonio. L'analisi ha portato ad

individuare i kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> incorporati nell'edificio di riferimento, e la relativa classe di carbonio, come mostrato a titolo esemplificativo in Figura 54. Lo stesso tipo di analisi è stata svolta ipotizzando molteplici scenari scegliendo diversi tipi di materiali e combinandoli tra loro (fase 2). Infine è stato individuato ed analizzato lo scenario di progetto (fase 3), caratterizzato da buone performance dal punto di vista dell'Embodied Carbon (Figura 55). L'analisi è stata svolta tenendo conto dell'intero ciclo di vita dei materiali, e quindi considerando le emissioni di carbonio dovute alla lavorazione e all'assemblamento, trasporto, sostituzione e allo smaltimento della materia prima. Confrontando i risultati ottenuti dall'analisi condotta sul Business and Usual e sul model di progetto, è stato inoltre possibile identificare i KgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> risparmiati. In Tabella 28 sono riportati i materiali utilizzati nei due modelli, con il relativo peso di incidenza in termini di CO<sub>2</sub>e. La percentuale riportata è complessiva, e non è normata in base alla quantità di materiale utilizzato.

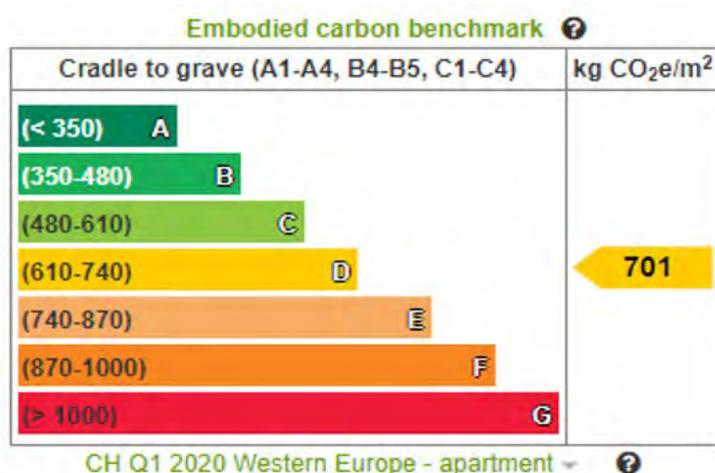


Figura 56 – Embodied Carbon benchmark per il Business as Usual

<sup>43</sup> <https://www.oneclicklca.com/>

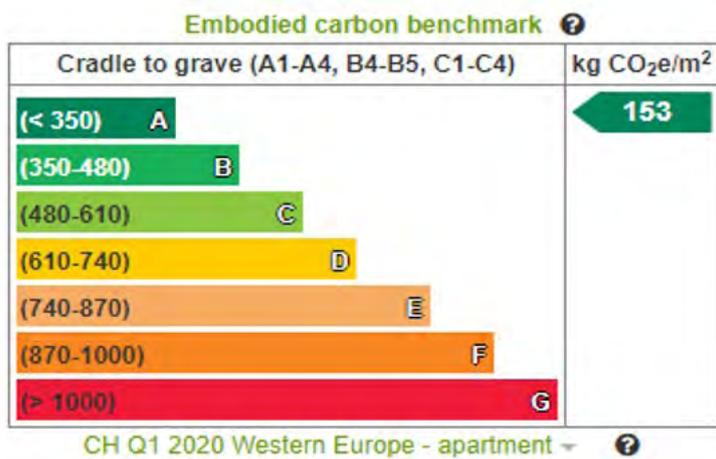


Figura 57 – Embodied Carbon benchmark per l’edificio di progetto

Materiale [kg/m <sup>3</sup> ]	Baseline	Progetto
Concrete	31%	20%
Glass	19%	6%
Flooring	15%	-
Steel and metals	14%	13%
Gypsum, plaster, cement	8%	7%
Brick and ceramics	5%	7%
Doors and windows	3%	4%
Plastic membrane	3%	4%
Coating and pastes	1%	5%
Altro	1%	2%
Wood	-	32%
Insulation	-	3%

Tabella 29 – Elenco materiali per quantità di CO<sub>2</sub> sul totale

## 7. Conclusioni

Il “Tavolo Decarbonizzazione” ha analizzato, nel corso di una serie di incontri tematici, tutte le opzioni possibili per ridurre l’impatto ambientale degli edifici. A ciascun incontro hanno partecipato esperti del settore. Il presente rapporto riporta in dettaglio le soluzioni tecnologiche analizzate e i relativi casi studio che ne dimostrano l’applicabilità. Le tecnologie qui riportate sono già disponibili sul mercato, pur essendo più rare e, generalmente, più onerose in termini di costo di investimento. Ciò significa che si tratta di alternative percorribili già oggi e, quindi, a maggior ragione nel medio termine.

Per ciascuna delle soluzioni tecnologiche analizzate sono riportati, al termine del capitolo di appartenenza, i principali punti emersi durante le discussioni: si tratta di osservazioni tecniche, barriere individuate dai partecipanti e suggerimenti legislativi. In sintesi, le posizioni emerse durante gli incontri tematici sono riportate qui di seguito.

### Energy Efficiency First

Negli edifici monofamiliari si può già oggi ottenere una copertura totale del fabbisogno residuo da fonti rinnovabili. Per edifici di grandi dimensioni ciò è più difficile. Esistono tuttavia significative barriere legate agli edifici storici, che non possono essere facilmente coibentati e che in Italia rappresentano una fetta molto rilevante del patrimonio edilizio. L’utilizzo di energia carbon-free dalle reti (termiche, elettriche, gas) rappresenta in questo senso una soluzione plausibile. Anche negli NZEB il fabbisogno energetico residuo è spesso, contrariamente a quanto spesso si crede, tutt’altro che trascurabile e si tende ad utilizzare impianti RES (soprattutto il fotovoltaico) per compensarlo.

### Nature Based Solutions

Le NBS hanno verosimilmente una elevata potenzialità di implementazione grazie alle loro caratteristiche palesemente “green”. Va però sempre ricordato, anche per evitare fenomeni di “green washing”, che esse rappresentano un compendio alle misure – attive e passive – che vengono analizzate negli altri capitoli di questa pubblicazione. Le criticità maggiori relative alle NBS sono comunque dovute agli elevati costi e al fatto che i benefici sono prevalentemente per la collettività e non per gli investitori.

Ad oggi risulta ancora difficile quantificare l’apporto atteso delle NBS attraverso metodi di calcolo. Si affacciano tuttavia sul mercato software dedicati.

### Fonti rinnovabili

Nella valutazione del potenziale di decarbonizzazione di ciascuna tecnologia RES va considerato che alcuni sistemi, come le pompe di calore, richiedono per il loro funzionamento consistenti quantità di energia (elettrica), che ad oggi è solo parzialmente decarbonizzata. Altri sistemi, quali il solare termico e le caldaie a biomasse, sono al contrario quasi completamente rinnovabili. È quindi necessario distinguere tra due fasi temporali: in una fase transitoria l’energia elettrica non è completamente rinnovabile, nello scenario futuro essa sarà al 100% rinnovabile. Tale distinzione dovrebbe conferire livelli di priorità diverse alle varie tecnologie nella due fasi.

È inoltre importante considerare che la maggior parte delle tecnologie RES oggi disponibili per installazione negli edifici fornisce calore a temperature relativamente basse, ovvero necessita di sistemi di distribuzione del calore a bassa temperatura.

### **Smart Grid, Comunità energetiche e Positive Energy Districts**

Se da un lato è indubbio che l'elettrificazione è uno strumento imprescindibile nel percorso verso la decarbonizzazione, dall'altro va considerata la necessità di potenziare le linee di trasmissione e gli elevati costi associati (economici e sociali). In questo senso l'elettrificazione deve quindi essere un obiettivo primario in quei settori dove, per loro natura, è difficile raggiungere elevati livelli di decarbonizzazione. In altri ambiti, quale quello dell'ambiente costruito, è consigliabile puntare, ove possibile, su impianti RES termici installati localmente e sul TLR/TLRaff/.

Uno dei limiti principali è ad oggi l'eccessiva complessità normativa. I distributori di energia elettrica, per esempio, sono ancora oggi restii a fornire dati di dettaglio e in tempo reale sui consumi.

Sul fronte tecnologico ed economico i temi più urgenti sono le relazioni economiche con gli enti erogatori di energia elettrica operanti sulla rete nazionale, la disponibilità delle tecnologie necessarie, le barriere finanziarie che necessitano di incentivi per essere superate e il livello di informazione e di consapevolezza della popolazione e della maggior parte dei portatori di interesse, che è ancora basso.

Quanto elencato sopra richiede un supporto politico molto maggiore di quello visto fino ad oggi.

### **Teleriscaldamento**

Nell'ambito del teleriscaldamento le azioni tecnologiche più rilevanti sono considerate la riduzione delle temperature di mandata e di ritorno

delle reti di distribuzione del calore, così come, per le reti di TLRaff, il loro incremento. Vengono ritenute importanti anche le tecnologie del solare termico e del geotermico a media entalpia accoppiati a reti di teleriscaldamento.

### **Carbon Offset**

Il carbon offset è considerato un'opzione interessante in particolari contesti, quali gli edifici tutelati. Dovrebbe comunque essere utilizzato come ultima scelta, per coprire quanto non è stato eventualmente possibile ridurre e coprire tramite RES e reti energetiche rinnovabili. Si sottolinea come sia necessario definire un perimetro geografico per il quale si possa parlare di carbon offset.

La carbon tax può essere vista come un'alternativa al carbon offset per guidare gli investimenti immobiliari, ma, trattandosi di una tassa aggiuntiva, non vi è uniformità di pareri in questo senso.

### **Embodied Carbon**

Il tema dell'Embodied Carbon è già parzialmente adottato nel settore dei materiali da costruzione. Gli EPD (Environmental Product Declarations) riportano infatti una sezione che quantifica le emissioni legate alla produzione e allo smaltimento del materiale. Il protocollo LEED, per esempio, attribuisce un punteggio in caso un materiale sia accompagnato da un EPD. Tali dichiarazioni non sono però facilmente confrontabili, perché non esiste uno schema standard da seguire.

È quindi auspicabile l'introduzione di limiti di legge minimi per le prestazioni dei materiali, come avviene per l'aspetto energetico.

### **L'approccio di GBC Italia**

Al di là dei commenti specifici visti sopra, l'approccio di GBC Italia alla decarbonizzazione degli edifici prevede priorità precise, che si intende trasmettere ai decisori politici e all'industria: le misure di efficientamento sono prioritarie e devono essere pensate per ridurre il più possibile il fabbisogno energetico di un edificio. Il fabbisogno restante dovrebbe innanzitutto essere coperto tramite fonti energetiche rinnovabili locali. Ove in

questo modo non fosse possibile soddisfare l'intero fabbisogno, si considerano le reti energetiche, che in futuro forniranno energia via via più sostenibile. L'ultima azione in ordine di priorità è quella del Carbon Offset.

# Metodo di lavoro e temi principali

## Obiettivi della ricerca

L'obiettivo del presente lavoro è quello di definire un quadro generale sulla transizione energetica globale e sul cammino da intraprendere per decarbonizzare il patrimonio edilizio.

## Metodologia della ricerca

L'approccio utilizzato è stato di tipo analitico, suddiviso in più fasi, come riportato di seguito:

1. Analisi del contesto relativo alla transizione energetica;
2. Selezione delle tematiche principali;
3. Sviluppo delle tematiche scelte;
4. Tavoli di lavoro su ciascuno dei temi scelti;
5. Conclusioni e stesura del documento.

La prima fase ha visto l'analisi del contesto energetico e climatico in Italia, sia da un punto di vista generale, sia da un punto di vista legislativo, attraverso lo studio dei piani per il clima ed i piani energetici vigenti. Questa fase di studio preliminare dello stato dell'arte ha permesso di definire il quadro generale di riferimento, entro il quale muoversi per l'individuazione delle misure da approfondire successivamente nella "Roadmap" che GBC produrrà nell'ambito del progetto BuildnigLife, e di comprendere quali sono gli obiettivi numerici fissati dalle normative vigenti. Successivamente sono state individuate quattro tematiche principali da approfondire ed analizzare più nel dettaglio: (1) misure di efficientamento passivo; (2) produzione energetica da RES; (3) reti elettriche e termiche e; (4) misure di compensazione e Carbon Offset. Definite le macro-tematiche principali, è stato svolto un lavoro di ricerca

bibliografica, volto a considerare i punti di forza, di debolezza e le potenzialità delle diverse soluzioni tecnologiche identificate all'interno di ciascuna tematica. Sono stati quindi realizzati dei tavoli di lavoro tecnici con esperti del settore, per dibattere e commentare le varie soluzioni individuate. Infine, tenendo in considerazione quanto emerso dai gruppi di lavoro, sono state individuate le soluzioni con le maggiori potenzialità, descrivendone limiti, punti di forza e possibili sviluppi futuri.

## Temi principali

Come anticipato nel capitolo precedente, per migliorare le prestazioni energetiche dei singoli edifici è necessario agire riducendo inizialmente la loro domanda energetica, compensando i bisogni residui con forme di energia pulita e prevedendo un uso sostenibile dei materiali durante l'intero ciclo di vita. Ad oggi risulta inoltre sempre più necessario non limitarsi alla scala di edificio, ma spingersi oltre e puntare sulla scala di quartiere per raggiungere gli obiettivi prefissati al 2050. Per questo, oltre a nZEB e NZEB, si parla di Positive Energy Districts (PED), distretti ad energia positiva che complessivamente producono più energia di quella consumata e che quindi possiedono un bilancio energetico positivo. La nascita di PED potrebbe segnare una svolta nel percorso verso il taglio delle emissioni. Con i PED si sposta l'attenzione su un nuovo livello di sviluppo urbano sostenibile e di transizione energetica nelle Smart Cities, reso possibile dallo sviluppo tecnologico che ad oggi consente un'integrazione tra edifici, utenti e rete di energia, mobilità e sistemi IT.

Accorpendo tutti i temi ritenuti di particolare importanza per il raggiungimento della decarbonizzazione al 2050 sono state identificate tre macro-tematiche:

1. misure di efficientamento passivo;

2. produzione energetica da RES;
3. reti elettriche e termiche;
4. compensazione e Carbon Offset.

Le misure di **efficientamento passivo** includono quelle soluzioni che permettono di ridurre il fabbisogno termico dell'edificio agendo passivamente sull'involucro, e quindi sui singoli componenti edilizi. Rientrano in questo primo gruppo: soluzioni sull'involucro opaco e trasparente, Building Integrated Systems, schermature solari e le Nature Based Solutions (NBS). Il concetto che sta dietro a questo tipo di intervento è quello dell'Energy Efficiency First, ovvero la riduzione dei fabbisogni energetici prima di qualsiasi altro intervento.

Le **RES** sono i pilastri per una transizione verso l'energia pulita e la decarbonizzazione, e assumeranno un ruolo sempre crescente negli anni futuri. Rientrano in questa categoria sia sistemi per la produzione energetica, come il fotovoltaico, il solare termico, la cogenerazione e le caldaie a biomassa, sia sistemi ad altissima efficienza e basso dispendio energetico, come le pompe di calore, anche geotermiche.

Il gruppo delle **reti** fa riferimento alla condivisione in ottica intelligente ed efficiente dell'energia, sia termica che elettrica, e dello scambio di dati su vasta scala. L'approccio moderno alle reti è quello di collegare tra loro una molteplicità di sistemi, sia piccoli, sia di grandi dimensioni, passando così da modelli di distribuzione centralizzati a modelli decentralizzati. Rientrano in questo macro-gruppo temi come la flessibilità e il "Demand Side Management", il Prosumer, le Smart Grid, il teleriscaldamento, i PED e le comunità energetiche.

Le misure di **compensazione energetica** includono quelle soluzioni volte a compensare in modo sostenibile l'eventuale fabbisogno energetico coperto da fonti non rinnovabili. Lo strumento principale è il **Carbon Offset**, ovvero l'utilizzo di misure di decarbonizzazione (quali la piantumazione di alberi) in zone geograficamente diverse da quella nella quale viene realizzato un edificio. Il Carbon Offset, a differenza delle misure precedenti, deve essere visto come risorsa ultima, da utilizzare solo in caso non sia più possibile ridurre ulteriormente le emissioni di CO<sub>2</sub> degli edifici con misure di efficientamento passivo o con l'installazione di impianti a fonti rinnovabili.

La Figura 56 e la Figura 57 mostrano il rapporto esistente tra le diverse tematiche selezionate e come esse siano strettamente interconnesse e necessarie per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione.

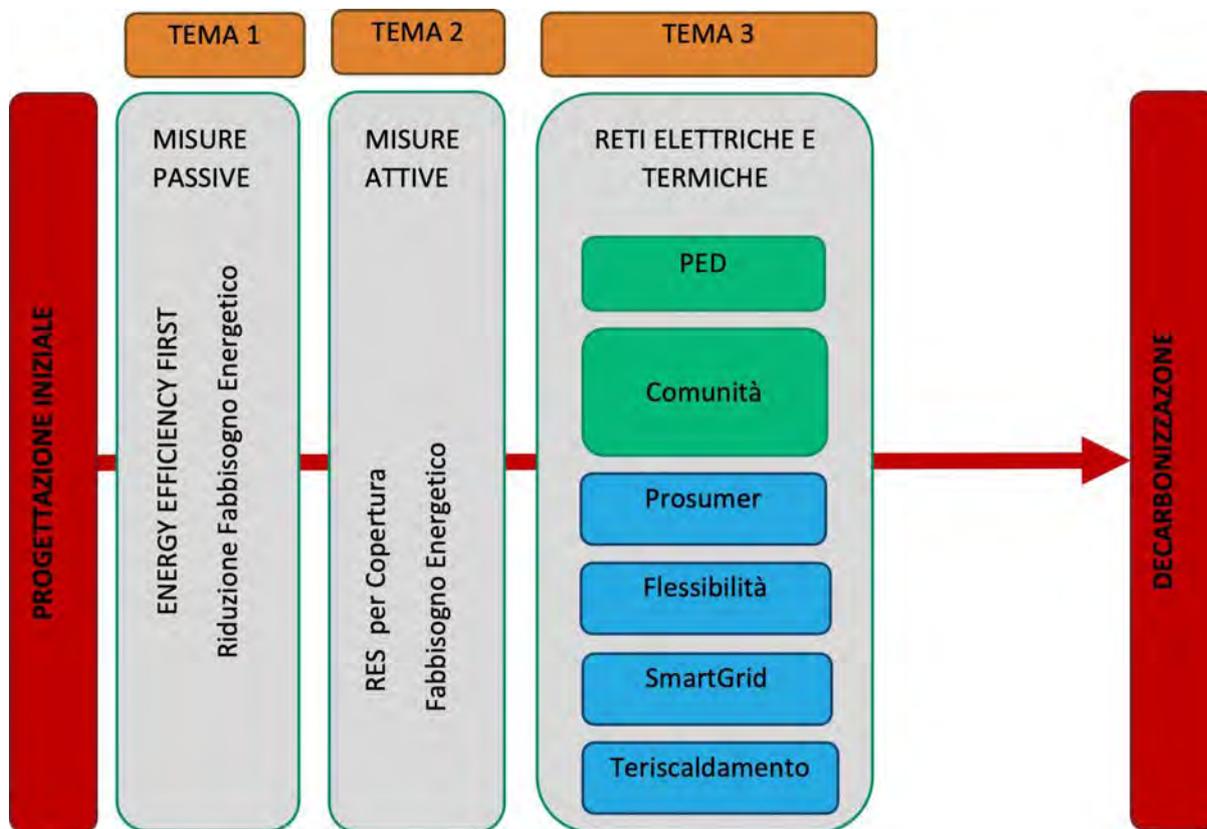


Figura 58 Relazione tra le tematiche selezionate

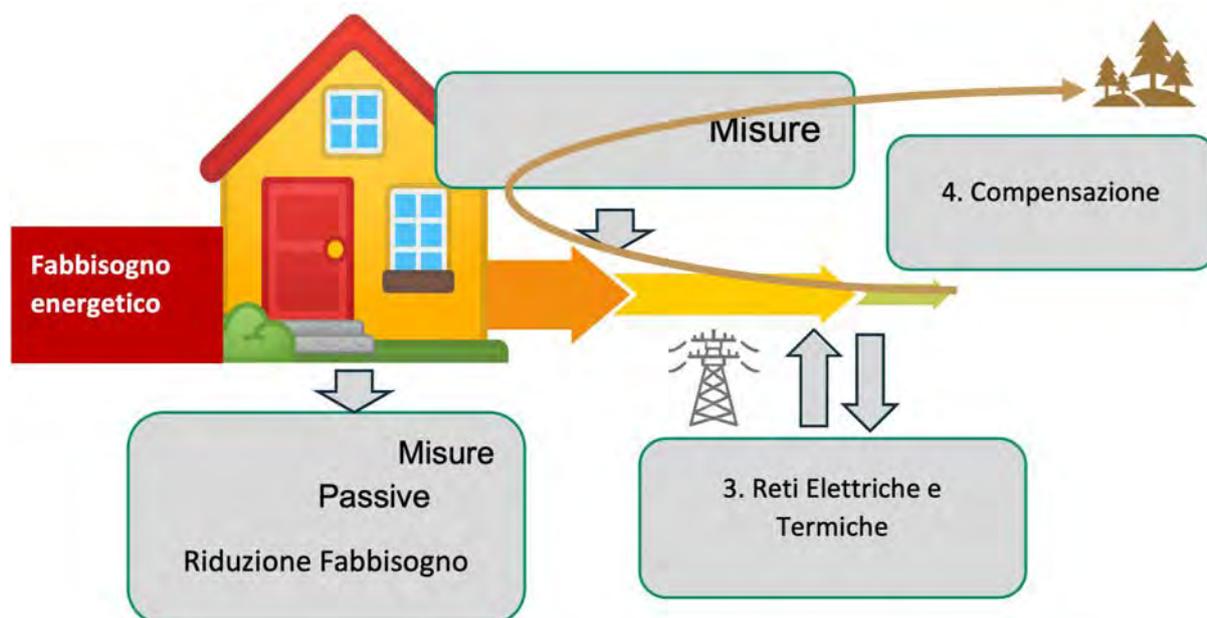


Figura 59 – Relazione tra le tematiche selezionate

## Gruppi di lavoro

I tavoli di lavoro hanno visto il coinvolgimento di figure professionali diverse, esperte del mondo del real estate e dell'efficientamento energetico degli edifici. Le considerazioni emerse hanno gettato le basi per la stesura dei capitoli seguenti. In totale sono stati organizzati cinque tavoli di lavoro tra settembre e dicembre 2021, tre tavoli di lavoro per trattare il tema delle reti termiche ed elettriche, ed un tavolo di lavoro ciascuno per i temi dell'energy efficiency first e della compensazione energetica, come riportato in Tabella 29. Gli incontri sono stati tenuti in maniera virtuale.

Ogni incontro è stato condotto seguendo lo stesso schema:

1. Introduzione generale degli obiettivi del progetto e del lavoro svolto;
2. Presentazione generale della tematica ed analisi della normativa (a scala europea e nazionale);
3. Presentazione delle diverse soluzioni, con una prima analisi dei limiti e delle potenzialità;
4. Presentazione di alcune best-practices di applicazione nel contesto nazionale ed europeo;
5. Dialogo strutturato con i partecipanti, volto a capire i punti di debolezza e le potenzialità dell'utilizzo delle diverse soluzioni presentate, e ad individuarne un livello di priorità.

Tavoli di lavoro	Data	Partecipanti
Reti elettriche e termiche Comunità Energetiche	04/10/2021	Alessia Peluchetti – R2M Solution Marco Calderoni – R2M Solution Alessandro Lodigiani – R2M Solution Valentina Marino – GBC Italia Marco Caffi – GBC Italia Paolo Baggio – UNITN Nicola Carofano – Jacobs Claudio Bonalda – Jacobs Stefano Cera - FIVRA Antonio Princigallo – Italcementi Mattia Mariani – Deerns Giambattista Brizzi - Manens-Tifs Piercarlo Romagnoni – IUAV Marco Filippi – POLITO Luigi Laterza – SINLOC Cristina Boaretto – SINLOC Mario Zambrini – Ambiente Italia

Reti elettriche e termiche	Smart Grid e Teleriscaldamento	28/10/2021	<p>Alessia Peluchetti – R2M Solution                  Marco Calderoni – R2M Solution                  Valentina Marino – GBC Italia                  Giambattista Brizzi – Manens-Tifs                  Antonio Princigallo – Italcementi                  Claudio Bonalda – Jacobs                  Stefano Cera – FIVRA                  Chiara Wolter – Ambiente Italia                  Chiara Lazzari – Ambiente Italia                  Riccardo Battisti – Ambiente Italia                  Elena Gonzi – Planex                  Marco Filippi – POLITICO</p>
Energy Efficiency First	Misure di efficientamento passivo ed NBS	26/11/2021	<p>Alessia Peluchetti – R2M Solution                  Marco Calderoni – R2M Solution                  Alessandro Lodigiani – R2M Solution                  Valentina Marino – GBC Italia                  Marco Caffi – GBC Italia                  Nicola Carofano – Jacobs                  Claudio Bonalda – Jacobs                  Antonio Princigallo – Italcementi                  Stefano Cera – FIVRA                  Chiara Wolter – Ambiente Italia                  Marco Filippi – POLITICO</p>
Compensazione energetica	RES e Carbon Footprint	13/12/2021	<p>Alessia Peluchetti – R2M Solution                  Marco Calderoni – R2M Solution                  Valentina Marino – GBC Italia                  Marco Caffi – GBC Italia                  Claudio Bonalda – Jacobs                  Giambattista Brizzi – Manens-Tifs                  Paolo Baggio – UNITN</p>

Tabella 30 – Tavoli di Lavoro

# Gli Autori

## R2M Solution

R2M Solution è una società di ingegneria specializzata in consulenza integrata e multidisciplinare. La nostra mission consiste nel colmare il divario tra le attività di ricerca nell'ambito del real estate, promosse dalla Commissione Europea in particolar modo attraverso i programmi Horizon 2020 e Horizon Europe, e la loro applicazione sul mercato.

L'azienda opera come acceleratore per migrare tecnologie e servizi nel mercato, nei settori dell'innovazione, della sostenibilità, dell'ingegneria, dell'energy e dell'Ict, anche attraverso prodotti innovativi. La sua forza risiede nel saper individuare e supportare organizzazioni, imprese,

istituzioni pubbliche e università nello sviluppo di progetti interregionali, europei e di cooperazione internazionale dei quali sono membri.

R2M Solution offre supporto nei processi di policy-making, programmazione socioeconomica, governance e nella costituzione di partnership strategiche pubblico-privato. Nell'ambito di questi progetti, la società spesso affianca i suoi partner nella gestione degli aspetti logistici, amministrativi e finanziari, sia in qualità di consulente esterno che come capofila.

R2M Solution può contare su un team giovane, multispecialistico e altamente qualificato, con oltre 10 anni di esperienza nella realizzazione, gestione, coordinamento e valutazione di vasti programmi di ricerca a livello europeo.

## Breve CV e foto degli autori



**Marco Calderoni** opera nell'ambito della ricerca dal 2003, anno in cui si è laureato in Ingegneria Meccanica con indirizzo energetico presso il Politecnico di Milano. È da sempre impegnato nel settore delle energie rinnovabili, in particolare delle rinnovabili termiche. Dal 2012 si occupa anche di teleriscaldamento, quale vettore energetico ideale per la raccolta di fonti rinnovabili disponibili localmente.

Ha lavorato per sei anni presso Ambiente Italia s.r.l., dove si è occupato soprattutto di solare termico, sia sotto il profilo tecnologico, sia nell'ambito della divulgazione e del trasferimento di conoscenza tra paesi europei.

Dal 2009 al 2018 è stato ricercatore presso il Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano, dove è stato responsabile del gruppo di ricerca su solare termico e teleriscaldamento. Ha inoltre completato le proprie conoscenze con progetti legati alle pompe di calore, a compressione di vapore e ad assorbimento.

Nell'arco della sua carriera professionale Marco è stato coinvolto in numerosi progetti europei, dalla concezione e scrittura della proposta fino alla fase realizzativa. Ha concepito e realizzato numerosi progetti di cooperazione con paesi a basso reddito (prevalentemente in Nord Africa e in Medio Oriente), incentrati sul

trasferimento di conoscenza in materia di fonti rinnovabili. È stato membro di diversi “Task” della International Energy Agency, anche in qualità di subtask leader, nonché delle piattaforme tecnologiche europee (ETIP) sul solare termico (ESTTP) e sul teleriscaldamento (DHC+). È attualmente presidente di ESTTP e membro del consiglio direttivo della piattaforma RHC sulle rinnovabili termiche. Ha inoltre prestato consulenza ad amministrazioni pubbliche locali e ad enti pubblici nazionali nella concezione di bandi di finanziamento alle fonti rinnovabili.

Marco si occupa regolarmente della revisione di articoli scientifici per conferenze e journals e partecipa in qualità di relatore e moderatore ad eventi sul solare termico e sul teleriscaldamento.



**Alessia Peluchetti** si è laureata in Ingegneria Edile-Architettura presso l’Università degli studi di Brescia. Durante gli studi ha approfondito ed analizzato le performance termiche ed idrologiche dei tetti verdi ed il loro effetto sugli edifici.

Il background accademico le ha permesso di sviluppare diverse competenze legate al mondo della progettazione e dell’ambiente costruito, in particolare alle infrastrutture green ed alla modellazione/analisi energetica degli edifici. Attraverso l’esperienza maturata presso lo studio GREENPASS a Vienna, si è specializzata nell’ambito delle Nature Based Solutions, delle Green Infrastructures e delle simulazioni microclimatiche.

In R2M Solution si occupa di simulazioni energetiche su scala urbana e di edificio e di simulazioni microclimatiche a scala di quartiere. Svolge inoltre attività di ricerca per progetti europei H2020 legati soprattutto a green e smart cities. Ha esperienza nella realizzazione di audit energetici, in conformità al D.Lgs 102/2014.



**Alessandro Lodigiani** è Leed AP dal 2009, BREEAM Assessor dal 2016, opera come segretario del Chapter Lombardia e formatore del Green Building Council Italia, ed è promotore nella community del Real Estate italiano della trasformazione della filiera dell’edilizia in ottica green building.

Laureato in scienze Ambientali dal 2007 al 2018 ha lavorato in Duff & Phelps REAG, società leader nel mondo delle valutazioni e due diligence immobiliari, ricoprendo il ruolo di Director del dipartimento Professional Services e supervisionando le aree legate alla sostenibilità, alla gestione degli aspetti energetici, ambientali, impiantistici, e di sicurezza. Alessandro supervisiona e coordina il gruppo di Research to Market in Italia ed è responsabile

dell’area Sustainability Services, divisione che sviluppa in R2M i servizi legati alla creazione di valore nel mondo del Real Estate migliorando la sostenibilità ambientale ed energetica di patrimoni immobiliari per Fondi di Investimento, SGR, Banche e assicurazioni attraverso l’implementazione di due diligence di sostenibilità,

l'adozione di protocolli certificativi Green Building (LEED, BREEAM) e l'uso di tecnologie innovative sviluppate nei progetti EU per il mercato del Real Estate.



**Eva** si occupa di ricerca finanziata su diversi programmi dal 2002, si è occupata di bandi di gara per tender sia Italiani che Europei ed è stata consulente della Commissione per l'eProcurement nel 2007-2009 e poi direttrice della ricerca e dell'innovazione in diverse aziende dal 2014. Ha un background in ICT ed è appassionata delle tecnologie ICT e del loro potenziale di innovazione in molti settori. Ha un dottorato di ricerca in Informatica presso l'Università di Genova. Dopo gli studi, ha iniziato a lavorare per TXT e-solutions dal 2000 al 2014 come IT e PM per progetti ICT. Dal 2014 al 2019 è stata Direttore della divisione Ricerca e Innovazione di Holonix s.r.l. ed è stata coinvolta in attività di ricerca che toccano non solo l'ICT per il settore industriale, ma anche l'ICT per l'efficienza energetica e l'innovazione aperta.

Attualmente è responsabile dell'area Innovazione di R2M in cui supervisiona le attività dell'azienda e dell'offerta di servizi ai partner per l'acquisizione di finanziamenti alla ricerca.



Green  
Building  
Council  
Italia

[www.gbcitalia.org/building-life/](http://www.gbcitalia.org/building-life/)  
[www.worldgbc.org/buildinglife/](http://www.worldgbc.org/buildinglife/)

**#BUILDINGLIFE**  
**#ROADMAP2050**

Contatti:

[valentina.marino@gbcitalia.org](mailto:valentina.marino@gbcitalia.org)  
[direttore@gbcitalia.org](mailto:direttore@gbcitalia.org)  
[internazionale@gbcitalia.org](mailto:internazionale@gbcitalia.org)