

Ricerca di Sistema elettrico



Analisi e stato dell'arte di progetti e programmi che facilitano la transizione delle Autorità locali verso la neutralità climatica.

Stato dell'arte sugli indicatori di assesment dei progetti (LA1.33)



Analisi e stato dell'arte di progetti e programmi che facilitano la transizione delle autorità locali verso la neutralità climatica. Stato dell'arte sugli indicatori di assesment dei progetti(LA1.33)

Analisi e stato dell'arte di progetti e programmi che facilitano la transizione delle autorità locali verso la neutralità climatica. Stato dell'arte sugli indicatori di assesment dei progetti

T. Ferrante, T. Villani (Dipartimento Pianificazione, Design, Tecnologia dell'Architettura PDTA, Università Sapienza)

Dicembre 2024

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica - ENEA Piano Triennale di Realizzazione 2022-2024

Obiettivo: Decarbonizzazione/Digitalizzazione ed evoluzione delle reti

Progetto: Tema di ricerca 1.7 – Tecnologie per la penetrazione efficiente del vettore elettrico negli usi finali

Linea di attività: LA1.33

Responsabile del Progetto: Claudia Meloni, ENEA

Responsabile del Work Package: Angelo Frascella, ENEA

Responsabile Linea di Attività: Tiziana Ferrante, Dipartimento PDTA Sapienza Università di Roma

Mese inizio previsto: 1

Mese inizio effettivo: 1

Mese fine previsto: 36

Mese fine effettivo: 36

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Analisi e stato dell'arte di progetti e programmi che facilitano la transizione delle Autorità locali verso la neutralità climatica. Stato dell'arte sugli indicatori di assesment dei progetti". Si ringrazia per la collaborazione alle attività svolte l'arch. Federica Romagnoli e l'arch. Sophia Campioni.

Sommario

| | | |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Risultati attesi | 4 |
| 2 | Risultati ottenuti | 5 |
| 3 | Prodotti attesi | 6 |
| 4 | Prodotti sviluppati | 7 |
| 5 | Analisi degli scostamenti su attività e risultati | 8 |
| 6 | Sintesi delle attività svolte..... | 9 |
| 7 | Dettaglio delle attività svolte | 10 |
| 7.1 | Ricostruzione dello stato dell'arte..... | 10 |
| 7.1.1 | Introduzione | 10 |
| 7.1.2 | Materiali e Metodi..... | 11 |
| 7.1.3 | Risultati..... | 12 |
| 7.1.4 | Discussione e Conclusioni..... | 13 |
| 7.2 | Analisi delle città pilota e popolamento del tool PED.EF | 14 |
| 7.2.1 | Lo studio dei piani e dei programmi delle municipalità..... | 14 |
| 7.2.2 | L'individuazione e lo studio dei progetti rilevanti in chiave PED | 15 |
| 7.2.3 | I criteri di osservazione dei progetti..... | 15 |
| 7.3 | Creazione di un portfolio di soluzioni tecniche. | 15 |
| 7.3.1 | Sintesi delle attività condotte e dei principali risultati | 15 |
| 7.3.2 | Un Portafoglio di Soluzioni Edilizie a Supporto della Transizione verso i Positive Energy District: Valutazione dell'Impatto delle Certificazioni edilizie Green. Introduzione 16 | |
| 7.3.3 | Strumenti di Valutazione della Sostenibilità a scala di Quartiere e Criteri di Selezione dei Materiali | 17 |
| 7.3.4 | Obiettivi e struttura dello studio | 18 |
| 7.3.5 | Materiali e Metodi | 19 |
| 7.3.6 | Risultati | 19 |
| 7.3.7 | Discussione e Conclusioni | 23 |
| 7.4 | Individuazione di barriere e fattori abilitanti..... | 23 |
| 7.5 | Promozione della sostenibilità ambientale..... | 24 |
| 8 | Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte | 25 |
| 9 | Pubblicazioni scientifiche..... | 26 |
| 10 | Eventi di disseminazione | 27 |

Indice delle figure

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Il processo di analisi e selezione dei dati basato su VOSviewer | 12 |
| Figura 2. Analisi di co-ricorrenza delle parole chiave con frequenza ≥ 2 . I diversi colori indicano i cluster. Dopo l'analisi delle parole, abbiamo assegnato titoli a ciascun cluster con l'aiuto di ChatGPT (versione 3.5). | 14 |
| Figura 3. Scheda riepilogativa delle soluzioni tecniche in relazione ai tre obiettivi PED per l'Edificio 1 in Via Marche a Firenze | 20 |
| Figura 4. Esempificazione del portafoglio di soluzioni tecniche per l'isolamento termico dell'Edificio 1 in Via Marche a Firenze. Immagine modificata dagli autori a partire da disegni originali di © CASA SPA. | 21 |
| Figura 5. Confronto delle schede tecniche dei materiali di isolamento utilizzati e dei criteri di selezione dei materiali sostenibili tra (a) Edificio 1 Via Marche a Firenze e (b) Edificio 3 Via Brescia-Via Cagliari a Bolzano..... | 22 |

1 Risultati attesi

Nell'ambito del dibattito su come le Autorità Locali possono attuare la transizione verso modelli di neutralità climatica, gli strumenti di finanziamento Regionale (POR-FESR), nazionale (PNRR e PRIN), ed internazionale (DUT e CET Partnership) sono molti.

Mentre i finanziamenti regionali e nazionali attengono genericamente agli ambiti individuati dalla Smart Specialisation Strategy S3, la Partnership Driving Urban Transition (DUT) ha indicato tre specifici percorsi di transizione per promuovere i quali verranno destinati i finanziamenti congiunti: i Distretti ad Energia Positiva (PED-Positive Energy District), la città a 15 minuti (15mnsC – Fifteen minutes City), le Economie Circolari a scala Urbana (CUE-Circular Urban Economies).

In questo scenario, le Autorità Locali fanno fatica ad orientarsi, poiché mancano strumenti e conoscenze in grado di promuovere approcci integrati per tradurre i risultati della ricerca e dell'innovazione in azioni concrete. Tali carenze ostacolano inoltre la formazione di team composti da tecnici qualificati in grado di supportare le Autorità Locali per affrontare le sfide urbane e di tradurre le strategie globali in interventi sul territorio.

In tale scenario di riferimento, i risultati attesi dalla ricerca oggetto del presente Report hanno incluso:

- l'analisi delle città italiane che rivestono un ruolo di key player nei processi di transizione verso la neutralità climatica, identificando quegli elementi che hanno mostrato una rilevanza strategica;
- la verifica della validità del tool PED.EF (release 1.0) e l'ampliamento del set di indicatori già presenti nel tool, mettendo in risalto gli aspetti legati alla sostenibilità;
- l'analisi di un gruppo definito di progetti sulle tematiche dei PED-Positive Energy District, dei CUE-Circular Urban Economies e dei 15MN Cities-Città 15 minuti, secondo il set di indicatori per la sostenibilità (ambientale, economica, sociale e culturale) individuati dai principali network internazionali di riferimento;
- l'identificazione di gap ricorrenti (organizzativi, normativi, finanziari e tecnologici) che i progetti oggetto di studio sono riusciti a colmare, insieme alle modalità di attuazione del processo realizzativo.

2 Risultati ottenuti

I risultati ottenuti sono riassunti nei seguenti quattro punti:

- Ricostruzione dello stato dell'arte sull'evoluzione dei PED e dei programmi di finanziamento che ne promuovono l'attuazione (review della letteratura scientifica sui PED). (risultato non previsto nel capitolato ma funzionale allo sviluppo della linea di attività);
- Popolamento del tool PED.EF con i dati relativi alle città di Firenze, Padova e Prato quali tre delle nove città italiane selezionate per la EU Mission '100 Climate-Neutral Cities' (insieme alle città di Bergamo; Bologna; Milano; Parma; Roma e Torino) e individuazione delle relazioni tra i piani e i programmi delle municipalità coinvolte, rilevanti per la realizzazione di progetti di sviluppo urbano sostenibile;
- Strutturazione di un portfolio di soluzioni tecniche attraverso l'individuazione e l'analisi dei progetti rilevanti in chiave PED realizzati in Italia;
- Individuazione di gap ('barriere') ricorrenti e fattori abilitanti per l'attuazione dei progetti PED. In particolare, è stata sottolineata l'importanza della selezione di materiali e prodotti sostenibili dal punto di vista ambientale in ottica life-cycle per la realizzazione dei progetti PED.

I risultati ottenuti rappresentano un contributo significativo per l'evoluzione del sistema energetico nazionale e per la realizzazione degli obiettivi di neutralità climatica.

3 Prodotti attesi

Per la presente LA non sono attesi prodotti hardware o software.

4 Prodotti sviluppati

Non sono stati sviluppati prodotti hardware o software.

5 Analisi degli scostamenti su attività e risultati

Non ci sono stati scostamenti tecnici/economici rispetto a quanto preventivato.

6 Sintesi delle attività svolte

La ricerca ha avuto come oggetto lo studio dell'effettivo livello di permeazione del concetto Positive Energy District (PED) all'interno dei piani, programmi e strumenti attuativi delle municipalità italiane presenti nella Mission '100 Climate-Neutral Cities' e, contestualmente, l'approfondimento di progetti di riqualificazione a scala edilizia rilevanti in chiave-PED, realizzati in Italia.

Le attività specifiche hanno riguardato:

- la conduzione di una review volta a ricostruire lo stato dell'arte sui PED e sulla loro attuazione in Europa e in Italia;
- l'inserimento nel database PED.EF delle informazioni reperite dallo studio dei piani, dei programmi e dei progetti relativi alle 9 città italiane della Mission;
- l'analisi degli strumenti di pianificazione individuati (finalizzata ad osservare se e in che modo promuovano la realizzazione di PED);
- l'individuazione, mediante il portale open-data del PNRR, di progetti che hanno interessato lo stock edilizio, rilevanti ai fini della transizione energetica;
- l'analisi di casi-studio emblematici in Italia finalizzata all'elaborazione di un portfolio di soluzioni tecniche sviluppate attraverso l'adozione di materiali, prodotti e componenti edilizi a basso impatto ambientale, conformi ai sistemi di certificazione "green" negli interventi di riqualificazione edilizia per l'efficientamento energetico realizzati all'interno dei progetti PED.

7 Dettaglio delle attività svolte

Le attività principali sono state svolte in cinque ambiti e precisamente:

7.1. Ricostruzione dello stato dell'arte: Implementazione dei Positive Energy Districts nelle città Europee: Una revisione sistematica della letteratura per identificare l'efficace integrazione del concetto nei sistemi energetici esistenti.

7.2. Analisi delle città pilota e popolamento del tool PED.EF

7.2.1. Lo studio dei piani e dei programmi delle municipalità

7.2.2. L'individuazione e lo studio dei progetti rilevanti in chiave PED

7.2.3. I criteri di osservazione dei progetti

7.3. Creazione di un portfolio di soluzioni tecniche.

7.3.1. Sintesi delle attività condotte e dei principali risultati

7.3.2. Un Portafoglio di soluzioni edilizie a supporto della transizione verso i Positive Energy District: valutazione dell'Impatto delle Certificazioni edilizie Green.

Introduzione

7.3.3. Strumenti di valutazione della sostenibilità a scala di Quartiere e criteri di selezione dei materiali

7.3.4. Obiettivi e struttura dello studio

7.3.5. Materiali e Metodi

7.3.6. Risultati

7.3.7. Discussioni e Conclusioni

7.4. Individuazione di barriere e fattori abilitanti.

7.5. Promozione della sostenibilità ambientale.

7.1 Ricostruzione dello stato dell'arte.

È stata effettuata una review sistematica della letteratura scientifica per analizzare l'evoluzione del concetto di PED e dei programmi di finanziamento europei che ne sostengono l'implementazione. La ricerca ha fornito una panoramica delle migliori pratiche e delle metodologie applicate a livello europeo.

7.1.1 Introduzione

Il Positive Energy District (PED) è un concetto recente nato per supportare gli obiettivi dell'Unione Energetica europea, integrando efficienza energetica, energie rinnovabili e flessibilità energetica a scala urbana. I PED rispondono alle sfide ambientali delle città, che consumano oltre i due terzi dell'energia mondiale e generano circa il 75% delle emissioni di CO₂, pur essendo centri economici vitali.

Il concetto si inserisce nelle principali strategie internazionali ed europee per lo sviluppo sostenibile, come l'Agenda 2030, l'Accordo di Parigi, il Green Deal europeo e la Strategia

Renovation Wave. L'Europa punta a creare distretti a energia zero o positiva, promuovendo un approccio integrato su scala di quartiere che integra edifici, mobilità e sistemi digitali. Questa visione è sostenuta da programmi di finanziamento come Horizon Europe e la partnership Driving Urban Transitions (DUT), che favoriscono progetti di ricerca e innovazione per città climaticamente neutre e intelligenti.

Il concetto di PED è stato formalizzato nel 2018 all'interno del SET-Plan europeo, evolvendosi dalla priorità sulle Smart Cities verso l'ambizione di fare dell'Europa un modello per distretti urbani energeticamente positivi. Ciò significa integrare risorse rinnovabili, efficienza, coinvolgimento attivo di cittadini e tecnologie smart, con l'obiettivo di contribuire alla decarbonizzazione e alla neutralità climatica al 2050.

7.1.2 Materiali e Metodi

Lo studio ha adottato una *scoping review* secondo il protocollo PRISMA-ScR per analizzare la letteratura sui Positive Energy Districts (PED), integrando successivamente una mappatura dei dati e *text mining* tramite il software VOSviewer, utile per costruire e visualizzare reti bibliometriche.

A) Analisi Bibliometrica della Letteratura Scientifica

La ricerca si è basata su sei fasi principali:

1. Definizione di domande e obiettivi della revisione;
2. Costruzione delle stringhe di ricerca, utilizzando "Positive Energy District(s)" su Scopus e Web of Science il 27 ottobre 2023;
3. Selezione degli articoli secondo criteri predefiniti: inclusi solo articoli scientifici o contributi a convegni in inglese che contenessero il termine nel titolo, nell'abstract o nelle parole chiave. Dopo la rimozione dei duplicati, sono stati selezionati 140 articoli;
4. Creazione del database in Excel, con metadati estratti da Scopus e integrazioni da Web of Science;
5. Analisi dei dati:
 - 5a. Bibliometrica: con VOSviewer e verifica manuale dei dati;
 - 5b. Contenutistica: lettura completa degli articoli per verificare la presenza di casi studio reali e l'approccio metodologico o applicativo di ciascuno.
6. Discussione dei risultati in relazione agli obiettivi della ricerca.

B) Analisi Bibliometrica con VOSviewer

La bibliometria è stata usata per analizzare statisticamente la letteratura e visualizzare mappe tematiche attraverso VOSviewer, scelto per la sua efficacia e facilità d'uso. I Principali passaggi sono stati: Esportazione dei dati da Scopus; Creazione di reti di co-occorrenza di parole chiave, autori, Paesi, riviste e Analisi delle tendenze scientifiche e dell'evoluzione dei temi legati ai PED. L'analisi ha permesso di rispondere a tre sotto-domande chiave, individuando i concetti più associati ai PED, le connessioni principali con altri temi e la distribuzione geografica della ricerca.

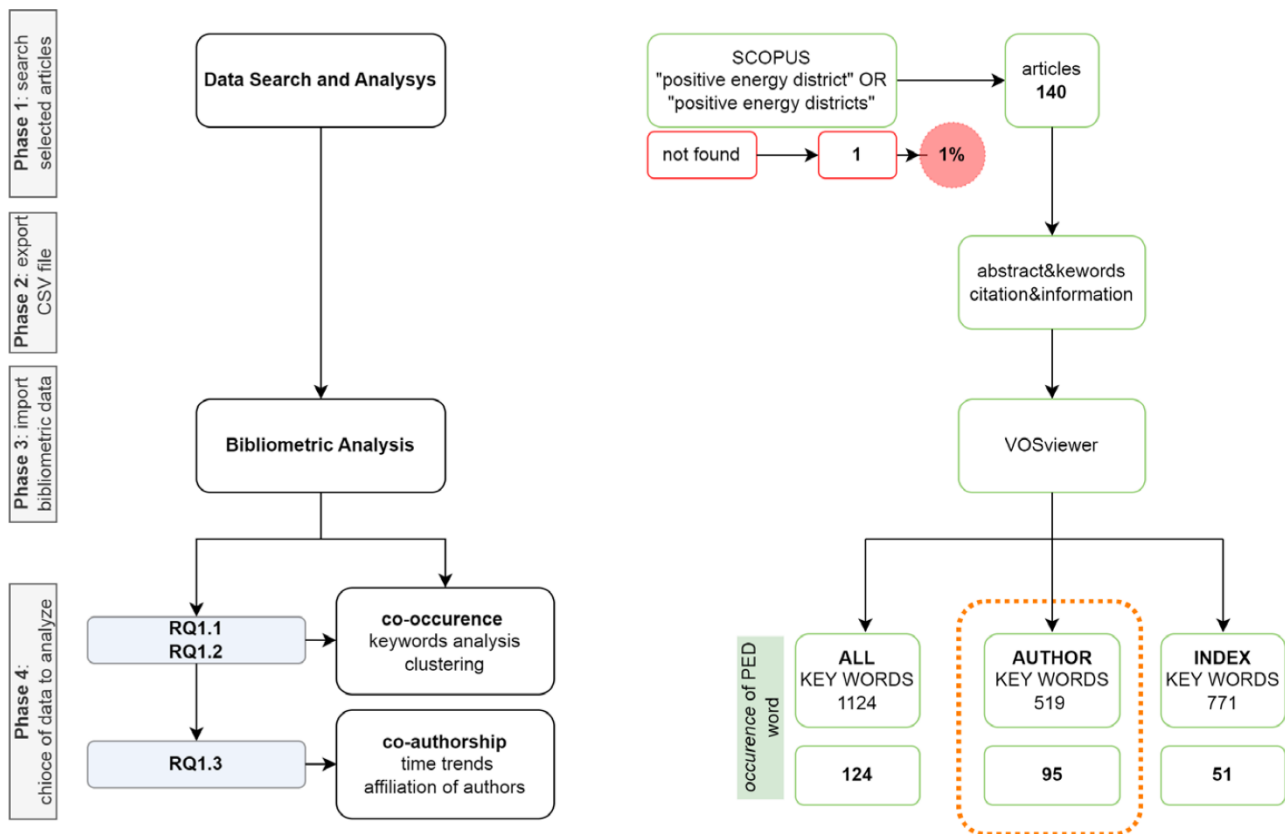


Figura 1. Il processo di analisi e selezione dei dati basato su VOSviewer

7.1.3 Risultati

A) Risultati dell'analisi bibliometrica

Sono stati selezionati 140 documenti da Scopus e 102 da Web of Science (tutti inclusi in Scopus). Dall'analisi di questi documenti la stringa "Positive Energy District(s)" è presente: 82 volte nei titoli, 120 negli abstract, 100 nelle parole chiave e 65 articoli la contengono in tutte e tre le sezioni.

Per tipologia di documento: 8% recensioni, 68% articoli scientifici, 24% atti di conferenza. Dopo l'analisi, i 125 articoli di ricerca sono stati divisi in: 59 metodologici (42%) e 66 studi di caso (47%). La pubblicazione dei documenti è cresciuta significativamente dal 2020 al 2022, in parallelo con l'evoluzione delle normative europee, come la Renovation Wave Strategy e il REPower EU. Solo il 47% degli articoli applica metodi a casi studio reali, e l'80% di questi proviene da progetti di ricerca finanziati (soprattutto europei). Il 50% dei casi studio è finanziato da progetti europei (Horizon 2020), il 30% da fondi nazionali, soprattutto Italia e Spagna e Alcuni sviluppati nell'ambito dell'IEA Annex 83. I finanziamenti provengono quasi esclusivamente dall'Unione Europea.

B) Risultati VOSviewer

Sono stati analizzati 140 articoli da Scopus esportati in formato CSV e caricati su VOSviewer. L'analisi si è concentrata sulle parole chiave degli autori per mappare le co-occorrenze tematiche. Sono state identificate 519 parole chiave, di cui 59 legate ai PED. La parola chiave più frequente è: "Positive Energy Districts" (51 occorrenze, forza 225), segue "Positive Energy District" e poi "smart cities" con meno occorrenze, ma forti collegamenti. Le parole chiave si suddividono in 44 cluster, 5 dei quali centrati sui PED. La rete generata ha mostrato

connessioni forti tra PED, smart cities ed energy efficiency, temi centrali della ricerca tra 2018 e 2023.

7.1.4 Discussione e Conclusioni

L'articolo analizza lo stato dell'arte sui PED attraverso una revisione scientifica, con l'obiettivo di chiarirne la definizione, i concetti chiave, le aree geografiche più attive, i casi studio esistenti e i principali strumenti di finanziamento. Dall'analisi emerge come il concetto di PED sia relativamente recente: il primo studio risale al 2017, ma è solo dal 2020 che le strategie europee ne riconoscono il potenziale, promuovendone lo sviluppo in chiave di rigenerazione urbana e transizione energetica. Nonostante la crescita delle pubblicazioni sul tema, gran parte della letteratura si concentra su studi metodologici e revisioni teoriche, mentre risultano ancora limitati i casi pratici di PED realizzati o in fase di implementazione. In particolare, solo due casi studio analizzati presentano tutte le caratteristiche tipiche di un PED (efficienza energetica, flessibilità e produzione di energia rinnovabile), e nessuno di questi rappresenta un vero distretto a energia positiva. L'analisi evidenzia quindi una contraddizione: da un lato ci sono politiche e programmi di finanziamento ambiziosi che spingono verso la realizzazione dei PED, dall'altro il concetto risulta ancora poco maturo e non sufficientemente testato sul campo, a differenza di quanto avvenuto con le smart cities. Rispetto agli obiettivi di ricerca, lo studio conferma che il supporto politico e normativo è forte e crescente, grazie anche ai programmi europei come Horizon 2020 ed Horizon Europe. Tuttavia, la letteratura esistente risulta frammentata e manca una definizione condivisa e operativa dei PED. Anche la distribuzione geografica degli studi si concentra prevalentemente nei principali Paesi europei, e i casi studio sono ancora pochi e poco approfonditi dal punto di vista degli indicatori di performance.

In conclusione, lo studio fornisce un primo quadro di riferimento utile per future ricerche che dovranno concentrarsi sulle barriere all'implementazione dei PED e sugli strumenti concreti per superarle, coinvolgendo non solo le città più avanzate ma anche quelle in ritardo nella transizione energetica. Un ulteriore approfondimento su fonti di finanziamento, stakeholder e casi studio sarà affrontato in un prossimo articolo.

diversi strumenti pianificatori, mostrando interdipendenze, allocazione delle risorse e progetti finanziati a livello europeo. Inoltre, si è verificato se il concetto di Positive Energy District venisse esplicitamente richiamato nella documentazione delle città.

7.2.2 L'individuazione e lo studio dei progetti rilevanti in chiave PED

Per tracciare i progetti più significativi in chiave PED a livello nazionale, sono stati consultati sia il PED Booklet che il database della COST ACTION PED-EU-NET. In questo modo, sono stati individuati 10 progetti nelle città di Bassano del Grappa, Bologna, Bolzano, Firenze, Lecce, Milano, Parma, Roma e Trento. Tuttavia, solo i progetti già realizzati o parzialmente conclusi e che prevedessero interventi sugli edifici sono stati selezionati per un ulteriore approfondimento. Alla fine, solo i casi di Bolzano e Firenze sono stati considerati nelle fasi successive della ricerca. Parallelamente, per le 9 città della Mission, è stato utilizzato anche il portale *OpenCUP* per individuare ulteriori progetti a scala edilizia. Dal database aggiornato al 5 maggio 2023, sono stati estratti tutti gli interventi legati all'efficientamento energetico, filtrando per tipologia di intervento e per Comune.

7.2.3 I criteri di osservazione dei progetti

In particolare, per le città di Firenze, Padova e Prato sono stati selezionati e approfonditi i progetti più rilevanti e meglio documentati. Tutti i dettagli di questi interventi sono stati inseriti nel tool PED.EF, compilando accuratamente i campi previsti e garantendo così una lettura chiara e sistematica delle azioni messe in campo per la transizione energetica a scala urbana.

7.3 Creazione di un portfolio di soluzioni tecniche.

7.3.1 Sintesi delle attività condotte e dei principali risultati

Nel corso della ricerca sono stati analizzati due progetti realizzati in Italia che puntano a raggiungere gli obiettivi dei Positive Energy Districts (PED), ovvero efficienza energetica, produzione di energia da fonti rinnovabili e flessibilità energetica, con interventi sugli edifici già realizzati: REPLICATE a Firenze e SINFONIA a Bolzano, entrambi finanziati dal programma Horizon2020. Per ciascun progetto è stata condotta un'indagine approfondita sulle soluzioni tecniche adottate per la riqualificazione degli edifici residenziali, con l'obiettivo di valutarne i risultati, individuare le tecnologie più ricorrenti e verificare l'eventuale attenzione rispetto alla scelta di materiali ecosostenibili lungo tutto il ciclo di vita.

Dall'analisi è emerso che, mentre il progetto REPLICATE non prevedeva criteri ambientali specifici nella scelta dei materiali, mentre il progetto SINFONIA ha seguito il protocollo KlimaHaus e sviluppato una certificazione ad hoc per l'esistente, pur senza approfondire l'impatto dei materiali. Solo applicando il protocollo KlimaHaus Nature è stato possibile valutare l'attenzione alla sostenibilità dei materiali/prodotti utilizzati. Sono stati quindi selezionati tre casi studio esemplari: un edificio a Firenze nel quartiere Le Piagge e due a Bolzano, in via Palermo e via Brescia. Per ogni edificio è stata elaborata una scheda tecnica che riassume obiettivi, tempi e finanziamenti, classificando le soluzioni adottate in base ai tre target dei PED.

L'attenzione si è poi concentrata sulle soluzioni per l'efficienza energetica, come l'isolamento delle pareti, delle coperture e la sostituzione degli infissi. Ogni intervento è stato analizzato in dettaglio, valutando i materiali e le certificazioni ambientali per comprenderne la sostenibilità

nel lungo periodo. Entrambi i progetti hanno rappresentato esempi virtuosi di applicazione di tecnologie innovative come l'isolamento termico avanzato, i pannelli fotovoltaici e i sistemi di teleriscaldamento con accumulatori termici sotterranei. I risultati di questa analisi sono stati pubblicati in un articolo scientifico dedicato al contributo delle certificazioni ambientali nella transizione verso i Positive Energy Districts.

7.3.2 Un Portafoglio di Soluzioni Edilizie a Supporto della Transizione verso i Positive Energy District: Valutazione dell'Impatto delle Certificazioni edilizie Green. Introduzione

Nel contesto della crescente urbanizzazione globale, le città ricoprono un ruolo fondamentale sia come centri di consumo energetico sia come principali responsabili delle emissioni di CO₂. Allo stesso tempo, però, esse sono veri e propri motori dello sviluppo economico, contribuendo in modo significativo alla crescita del Prodotto Interno Lordo mondiale. In questo scenario complesso, iniziative internazionali come l'Agenda 2030, la Nuova Agenda Urbana e l'Accordo di Parigi tracciano la rotta verso uno sviluppo urbano più sostenibile. In Europa, il "Pacchetto Clima ed Energia 2020" e il successivo "Quadro Clima ed Energia 2030" definiscono gli orientamenti principali per la lotta ai cambiamenti climatici, mentre la strategia a lungo termine dell'Unione Europea punta a raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. In questa visione, i Positive Energy Districts (PED) emergono come elementi chiave.

Secondo la definizione ufficiale, i PED sono aree urbane o gruppi di edifici connessi che raggiungono un bilancio netto di emissioni di gas serra pari a zero e sono in grado di produrre annualmente energia rinnovabile in eccesso a livello locale o regionale. Per funzionare, questi distretti richiedono un'integrazione tra edifici, utenti e sistemi di energia, mobilità e tecnologie digitali (ICT), mantenendo al contempo un'alta qualità della vita e promuovendo la sostenibilità ambientale, sociale ed economica.

La transizione verso i PED rappresenta quindi un obiettivo strategico per affrontare le grandi sfide globali legate al cambiamento climatico, alla sicurezza energetica e alla sostenibilità ambientale. Il raggiungimento di un bilancio energetico positivo si basa su tre pilastri fondamentali: miglioramento dell'efficienza energetica, produzione locale di energia e flessibilità dei consumi. Questo nuovo paradigma è sostenuto da politiche europee come il Green Deal e la Renovation Wave, che offrono il quadro normativo di riferimento per l'evoluzione verso i PED e pongono al centro la riqualificazione degli edifici esistenti, considerata una leva prioritaria per il miglioramento delle performance energetiche.

La Renovation Wave, in particolare, punta a raddoppiare il tasso delle ristrutturazioni energetiche, promuovendo il principio dell'"efficienza energetica prima di tutto", ovvero dando priorità agli interventi di risparmio energetico rispetto al semplice aumento della produzione. In questo percorso, il concetto di bilancio energetico positivo si allarga, includendo non solo la riduzione delle emissioni dirette, ma anche l'attenzione all'uso sostenibile dei materiali da costruzione, fondamentali nelle valutazioni energetiche.

Il settore edilizio, infatti è tra i più impattanti per consumo di energia e risorse. Migliorare le prestazioni energetiche degli edifici implica dunque adottare un approccio integrato di sostenibilità e circolarità, privilegiando materiali a basso impatto ambientale e valutandone l'intero ciclo di vita (Life Cycle Assessment - LCA). La nuova Direttiva sulla Prestazione Energetica degli Edifici introduce proprio l'LCA come strumento per calcolare l'impronta di carbonio degli edifici, da riportare nei Passaporti di Ristrutturazione.

La scelta consapevole dei materiali nei progetti di nuova costruzione o ristrutturazione è un tema consolidato nella ricerca scientifica. Questa attenzione non riguarda solo il singolo edificio, ma si estende anche alla scala del quartiere. La selezione dei materiali deve considerare diversi parametri lungo l'intero ciclo di vita e, in questo contesto, le certificazioni green degli edifici svolgono un ruolo cruciale. L'efficienza energetica deve andare di pari passo con l'utilizzo di risorse naturali rinnovabili o a basso impatto.

L'importanza della scelta dei materiali è ben riconoscibile anche nei principali sistemi di valutazione della sostenibilità edilizia (Green Building Rating Systems - GBRS), che includono la selezione di materiali sostenibili tra i criteri principali per certificare il ciclo di vita dell'edificio.

7.3.3 Strumenti di Valutazione della Sostenibilità a scala di Quartiere e Criteri di Selezione dei Materiali

Sebbene non esistano ancora protocolli di certificazione specifici per i PED, gli strumenti di valutazione della sostenibilità urbana rappresentano un'importante base di partenza per affrontare la sfida a scala di distretto. La norma ISO/TR 37121 e i risultati del progetto PED-ID hanno mappato diversi strumenti utili per valutare la sostenibilità di interventi a livello urbano e di quartiere, noti come Neighborhood Sustainability Assessment (NSA).

Negli anni, numerosi studi hanno analizzato comparativamente questi strumenti, evidenziandone punti di forza e aree di miglioramento. In particolare, nell'ambito dei PED, Volpatti et al. hanno approfondito protocolli come LEED for Neighborhood Development (LEED-ND), BREEAM Communities e CASBEE for Cities, proponendo l'integrazione di criteri più specifici per i PED. Tra questi, la gestione dell'energia in surplus, modelli di business per le comunità energetiche e la valorizzazione di soluzioni basate sulla natura.

Anche Haase e Baer hanno esaminato due framework specifici per i PED: il "2000 Watt Site" sviluppato in Svizzera e il "Zero Emission Neighborhood" (ZEN) in Norvegia. Hanno messo in relazione questi modelli con il concetto di confini planetari, ovvero quei limiti ambientali da non superare per evitare cambiamenti irreversibili a livello globale. Tra gli indicatori chiave di performance (KPI) evidenziati spiccano le emissioni totali di gas serra, la neutralità delle emissioni lungo il ciclo di vita e l'uso di materiali sostenibili, valutati tramite Dichiarazioni Ambientali di Prodotto (EPD).

Guarino et. al. hanno ulteriormente analizzato la letteratura sulle valutazioni di sostenibilità dei PED, sottolineando l'importanza di considerare sia aspetti ambientali sia sociali ed economici. Tra i KPI ambientali più rilevanti emergono le emissioni dirette, gli indicatori basati sull'LCA e quelli legati all'economia circolare. Lo studio mette in guardia sull'importanza di valutare anche le emissioni indirette di carbonio, spesso trascurate, ma fondamentali per ottenere un bilancio di carbonio realmente neutrale.

Un'ulteriore analisi dei criteri di selezione dei materiali nei diversi strumenti di valutazione è stata condotta da Yoon e Park, che hanno preso in esame BREEAM Communities, LEED-ND e CASBEE-UD, oltre a quattro linee guida di progettazione urbana. Hanno costruito un quadro di riferimento che classifica gli indicatori di sostenibilità dei materiali secondo i tre pilastri della sostenibilità—ambientale, sociale ed economica—e li hanno applicati a vari ambiti come il paesaggio e le infrastrutture.

Nel contesto edilizio, i sistemi di valutazione degli edifici verdi (GBRS) come LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) e BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) sono i principali strumenti utilizzati per valutare e

certificare le performance ecologiche degli edifici. Questi protocolli integrano criteri specifici per la selezione dei materiali, adottando principi di sostenibilità per garantire che i materiali utilizzati riducano al minimo l'impatto ambientale.

Dal 2008, le politiche europee, in particolare attraverso l'adozione dei Green Public Procurement (GPP), hanno enfatizzato l'importanza di integrare criteri ambientali nei processi di approvvigionamento pubblico. In Italia, per esempio, sono stati introdotti i Criteri Ambientali Minimi (CAM) per 18 categorie di prodotti, inclusi quelli edili, con l'obiettivo di promuovere l'efficienza energetica, la conservazione delle risorse e la riduzione delle emissioni di sostanze pericolose. I GBRS, come LEED e BREEAM, vengono utilizzati per certificare la conformità agli standard ambientali richiesti dal CAM, semplificando il processo di verifica per i progettisti. Tuttavia, è fondamentale che la documentazione rispetti pienamente tutti i requisiti ambientali, garantendo che ci sia un allineamento tra i GBRS e gli standard previsti dal CAM.

Diversi studi hanno confrontato e analizzato questi sistemi di valutazione, esaminando come ciascuno valuta gli aspetti legati ai materiali e la copertura delle tre dimensioni della sostenibilità (ambientale, sociale ed economica). Questi studi sono importanti per comprendere come le scelte materiali e le pratiche edilizie possano supportare la transizione verso lo sviluppo urbano sostenibile.

La transizione verso i Positive Energy Districts rappresenta un passo fondamentale per affrontare le sfide legate al cambiamento climatico e alla sostenibilità. Per raggiungere questo obiettivo, è necessario integrare strategie di efficienza energetica, produzione locale di energia e flessibilità energetica in modo coerente. In questo contesto, la selezione di materiali sostenibili è un elemento cruciale, poiché l'uso di materiali a basso impatto può ridurre significativamente le emissioni di gas serra e migliorare le performance energetiche degli edifici.

L'adozione di sistemi di certificazione come LEED, BREEAM e altre metodologie di valutazione della sostenibilità a livello di quartiere fornisce un quadro utile per orientare le scelte progettuali e le politiche edilizie. Tuttavia, la vera sfida è quella di integrare e armonizzare questi sistemi con gli obiettivi specifici dei PED, come la gestione dell'energia in surplus e l'adozione di modelli di business innovativi, per ottenere un impatto positivo su scala urbana e distrettuale. La ricerca continua e l'evoluzione dei protocolli di certificazione e delle pratiche di sostenibilità sono fondamentali per garantire un futuro urbano che sia realmente sostenibile, resiliente e in grado di affrontare le sfide ambientali globali.

7.3.4 Obiettivi e struttura dello studio

Lo studio si propone di esaminare l'impatto delle certificazioni degli edifici verdi e dei criteri di selezione dei materiali nel contesto della transizione verso i PED (edifici a energia quasi zero), analizzando casi studio. Studi precedenti hanno esplorato diverse soluzioni per i PED, focalizzandosi su fattori tecnologici, circostanze locali e processi di pianificazione, ma non hanno mai classificato le soluzioni tecniche in base ai tre obiettivi distintivi dei PED: efficienza energetica, produzione di energia rinnovabile e flessibilità energetica. Questo studio si concentra su alcuni obiettivi di sostenibilità, su come l'uso di materiali riciclati, la vicinanza dei siti di produzione e le certificazioni ecologiche, influenzano la selezione dei materiali necessari per raggiungere questi obiettivi.

Le due principali domande di ricerca sono: quali soluzioni tecniche possono supportare il raggiungimento dei tre obiettivi dei PED e quali materiali vengono utilizzati per queste

soluzioni? Inoltre, quanto i criteri di sostenibilità influenzano la scelta dei materiali? I risultati includono la definizione di un portafoglio di soluzioni tecniche aggiornabile nel tempo per la transizione ai PED e un confronto tra i materiali utilizzati per l'efficienza energetica e i requisiti dei principali sistemi di certificazione.

Lo studio si propone di offrire un contributo significativo al dibattito scientifico sui PED, proponendo un quadro operativo per allineare gli interventi di ristrutturazione edilizia alle certificazioni ambientali in Italia. Il documento è diviso in quattro sezioni: l'introduzione, una sezione che descrive la ricerca e i metodi di analisi, i risultati dei casi studio, e infine le conclusioni, discutendo le limitazioni e possibili sviluppi futuri dello studio.

7.3.5 Materiali e Metodi

Lo studio si è focalizzato sull'analisi di progetti PED in Italia, consultando il PED Booklet e il "PED Database" di COST ACTION PED-EU-NET. Sono stati individuati dieci progetti in diverse città italiane, selezionando quelli che rispondevano a criteri specifici come l'efficacia degli interventi di ristrutturazione, la disponibilità di documentazione tecnica e il completamento della fase di realizzazione. In particolare, sono stati scelti due progetti: REPLICATE a Firenze e SINFONIA a Bolzano, entrambi iniziative nell'ambito di Horizon 2020.

L'indagine si è concentrata su tre edifici residenziali ristrutturati in questi progetti, esaminando le soluzioni tecniche adottate per migliorare l'efficienza energetica, la flessibilità energetica e la produzione di energia rinnovabile. Un aspetto importante è stato analizzare se fossero state adottate misure per selezionare materiali ecosostenibili, valutando anche il loro ciclo di vita.

Nel progetto REPLICATE, non sono stati specificati protocolli per limitare l'impatto ambientale dei materiali all'interno dei documenti di appalto, mentre nel progetto SINFONIA, sono stati seguiti i protocolli KlimaHaus, con una certificazione dedicata agli interventi su edifici esistenti chiamata "KlimaHaus R". Tuttavia, questa certificazione non considera l'impatto ambientale dei materiali, quindi è stato utilizzato il protocollo KlimaHaus Nature, che arriva a valutare l'impatto ambientale dei materiali da costruzione.

L'analisi delle soluzioni tecniche ha incluso la categorizzazione degli interventi di efficienza energetica, come l'isolamento delle pareti esterne, del tetto, e la sostituzione degli infissi esterni. Ogni prodotto utilizzato è stato esaminato in relazione alle sue caratteristiche tecniche, certificazioni ambientali e impatto sul ciclo di vita.

Il confronto tra i materiali utilizzati e i criteri di sostenibilità ha evidenziato come i prodotti siano stati scelti per rispettare le linee guida ambientali, come quelle proposte dal protocollo KlimaHaus Nature, che considera l'impatto ambientale di materiali come l'energia primaria non rinnovabile, il potenziale di acidificazione, il potenziale effetto serra e la durabilità. La selezione dei materiali ha incluso anche vantaggi come la vicinanza dei siti di produzione e la certificazione ambientale di terze parti.

7.3.6 Risultati

L'analisi dei tre casi studio selezionati (Edificio 1 a Firenze, Edificio 2 e 3 a Bolzano) ha esaminato gli interventi di ristrutturazione per migliorare l'efficienza energetica. Le soluzioni tecniche implementate sono state valutate in base al protocollo KlimaHaus Nature.

A) Risultati dall'Analisi degli Interventi di Ristrutturazione Edilizia

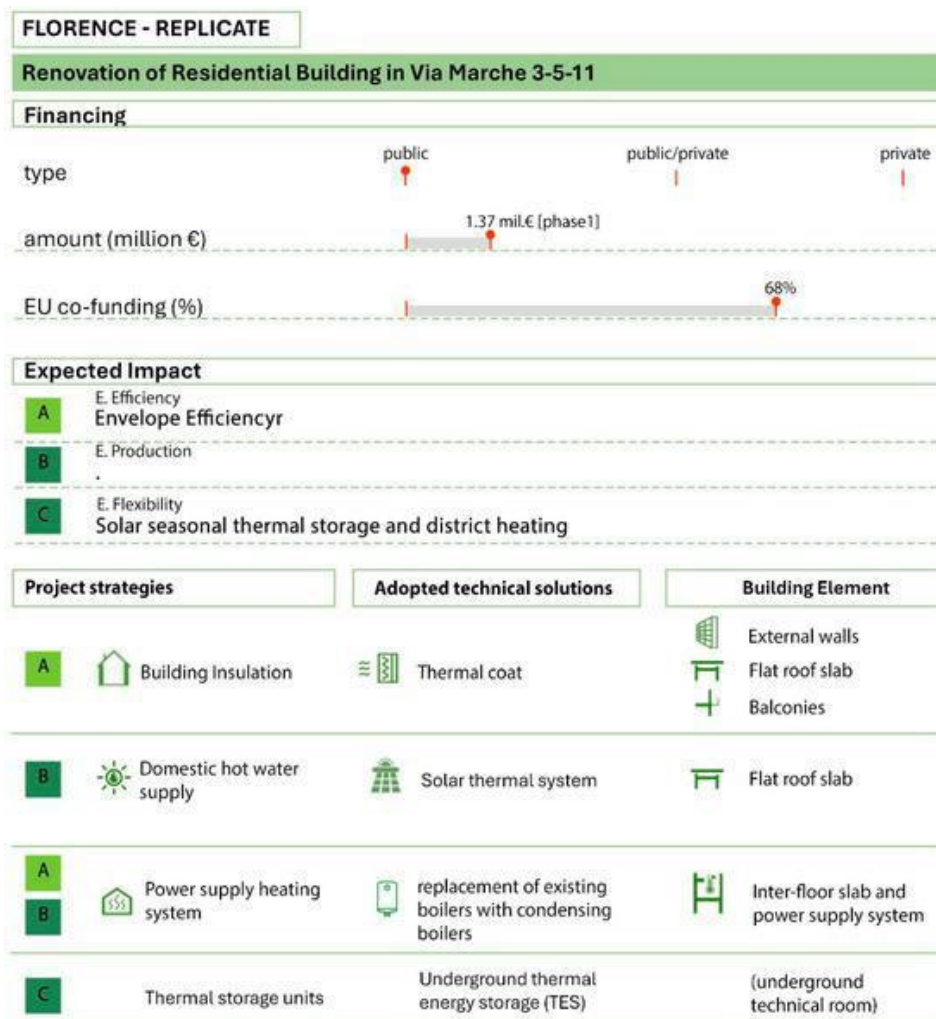


Figura 3. Scheda riepilogativa delle soluzioni tecniche in relazione ai tre obiettivi PED per l'Edificio 1 in Via Marche a Firenze

- *Edificio 1 - Via Marche, Firenze:* gli interventi hanno incluso l'isolamento termico dell'involucro edilizio e del tetto. È stato previsto l'aggiornamento dell'impianto di riscaldamento, sostituendo i generatori di calore con caldaie a condensazione e l'introduzione di teleriscaldamento ad alta prestazione. È stato installato un impianto di cogenerazione con pannelli solari sui tetti e un sistema di accumulo termico sotterraneo (TES) per migliorare la flessibilità energetica.
- *Edificio 2 - Via Palermo, Bolzano:* sono stati adottati interventi di efficienza energetica passiva, come l'isolamento termico e la sostituzione degli infissi esterni. È stato previsto anche l'uso di sistemi di ventilazione meccanica e impianti di raccolta delle acque piovane. La produzione di energia rinnovabile è stata garantita con l'installazione di pannelli fotovoltaici e solari.
- *Edificio 3 - Via Brescia/Via Cagliari, Bolzano:* L'intervento ha previsto l'isolamento termico, la sostituzione degli infissi esterni e una sopraelevazione in legno con il sistema costruttivo X-LAM. Sono stati installati pannelli fotovoltaici, un sistema solare

termico e due unità di accumulo termico collegato alla rete di teleriscaldamento di Bolzano.

B) Caratteristiche Costruttive delle Soluzioni Tecnologiche Ricorrenti

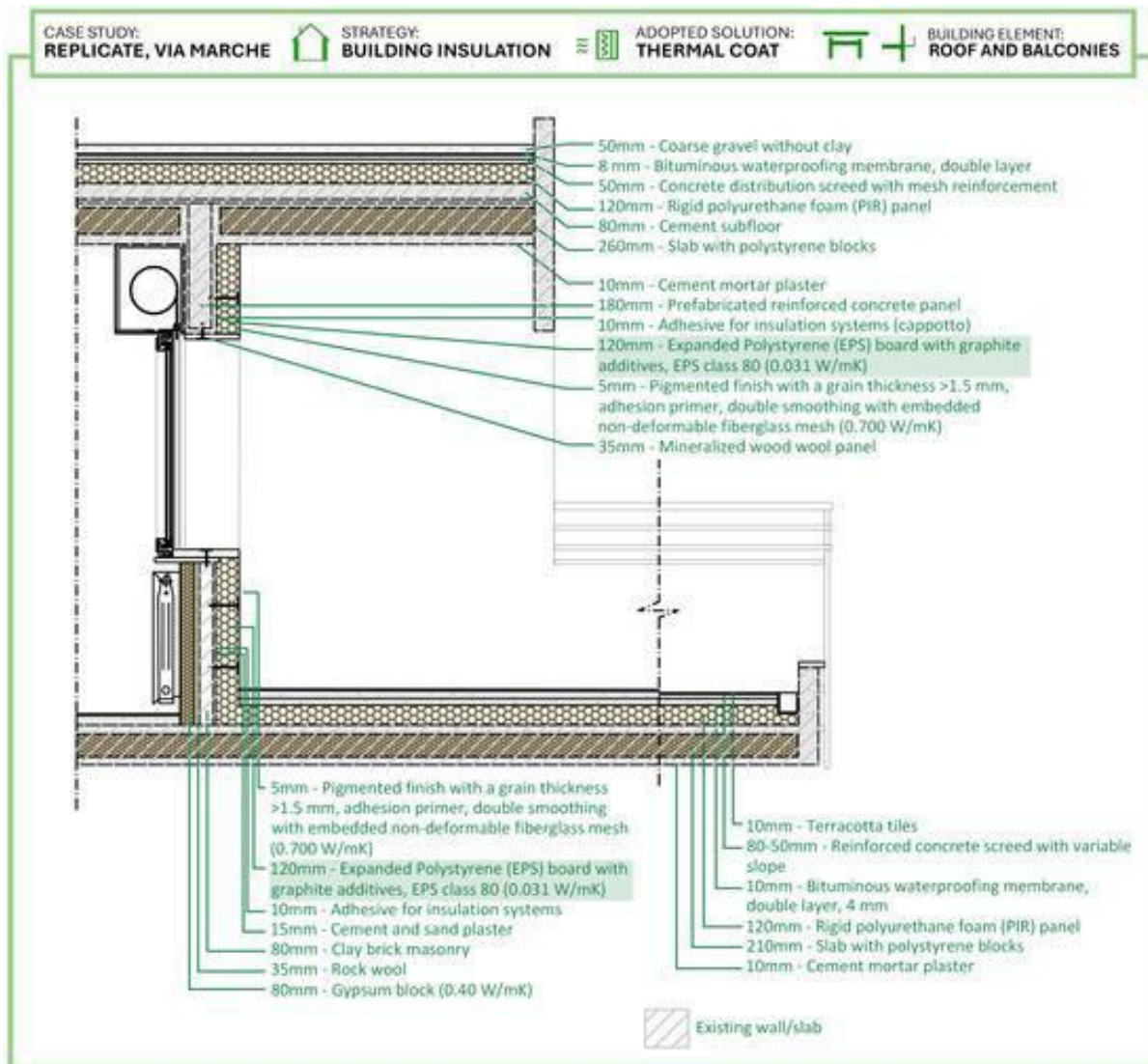


Figura 4. Esempificazione del portafoglio di soluzioni tecniche per l'isolamento termico dell'Edificio 1 in Via Marche a Firenze. Immagine modificata dagli autori a partire da disegni originali di © CASA SPA.

- *Edificio 1:* Per l'isolamento della facciata è stato utilizzato polistirene espanso con grafite, con finitura in intonaco pigmentato e lana di legno mineralizzata per gli elementi architettonici. Le terrazze sono state isolate con poliuretano espanso combinato a un sistema di impermeabilizzazione.
- *Edificio 2:* La sostituzione degli infissi esterni ha incluso una struttura prefabbricata in legno con isolamento in polistirene espanso e un sistema di schermatura solare. È stato integrato anche un sistema di ventilazione meccanica decentralizzata.

- **Edificio 3:** La facciata sud è stata isolata con lana di roccia e membrana antivento. Le altre facciate sono state trattate con un sistema di finitura in vernice silicato/silossano. I pannelli fotovoltaici sono stati integrati nella facciata e nel tetto.

C) Conformità dei Prodotti con i Criteri di Sostenibilità dei Materiali

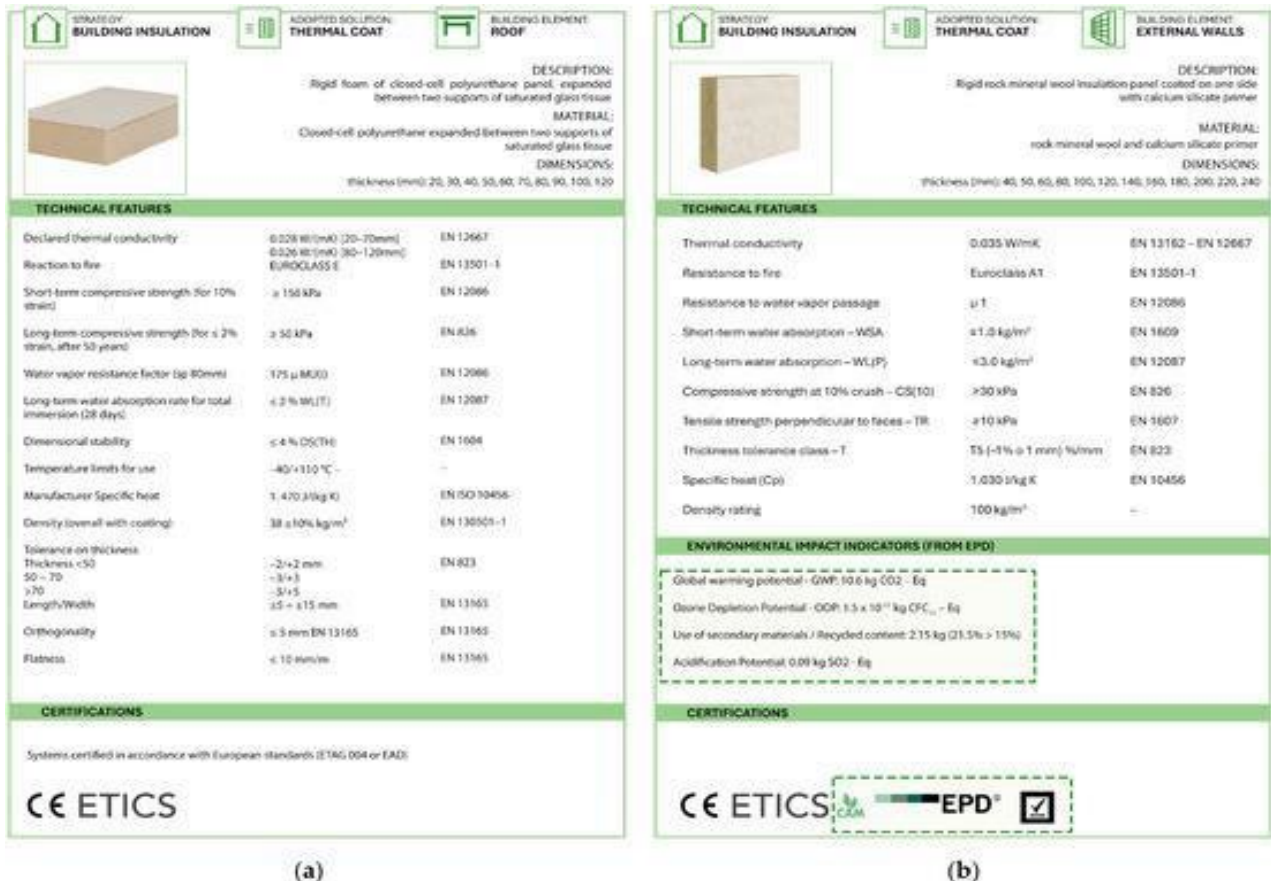


Figura 5. Confronto delle schede tecniche dei materiali di isolamento utilizzati e dei criteri di selezione dei materiali sostenibili tra (a) Edificio 1 Via Marche a Firenze e (b) Edificio 3 Via Brescia-Via Cagliari a Bolzano

Per garantire la sostenibilità, i materiali per l'isolamento sono stati scelti in base a criteri di eco-compatibilità e basso impatto ambientale.

- **Edificio 1:** i materiali dovevano rispettare le normative ETICS, con certificazione eco-compatibile per i pannelli in lana di legno mineralizzata e senza CFC nei pannelli di polistirene espanso.
- **Edificio 2 e 3:** la selezione dei materiali si è basata su risorse rinnovabili, basso consumo energetico e uso di materiali locali. È stata preferita l'uso di componenti separabili e durevoli per facilitare il recupero e la manutenzione. I materiali sono conformi al protocollo KlimaHaus Nature, dimostrando un processo di sostenibilità ambientale ben documentato e trasparente.

Il confronto tra i materiali di isolamento utilizzati nei tre edifici ha mostrato che il progetto di Bolzano è allineato con le migliori pratiche di sostenibilità, garantendo soluzioni di alta qualità che rispettano la filosofia della transizione verso i PED.

7.3.7 Discussione e Conclusioni

Questo studio ha esaminato l'importanza delle certificazioni per l'edilizia green e dei criteri di selezione dei materiali per facilitare la transizione verso i PED. Analizzando tre casi studio italiani, tra cui progetti di *retrofitting* residenziali a Bolzano e Firenze, sono state individuate soluzioni tecniche fondamentali per raggiungere gli obiettivi dei PED: efficienza energetica, produzione di energia rinnovabile e flessibilità energetica.

I risultati mostrano come le caratteristiche costruttive delle soluzioni adottate siano allineate con i criteri dei sistemi di certificazione green, evidenziando l'importanza dei protocolli volontari nel supportare la sostenibilità ambientale dei PED. Adottare criteri basati su indicatori specifici di questi protocolli ha permesso di ridurre l'impatto ambientale, in particolare grazie all'efficienza energetica passiva. Un esempio emblematico è il caso di Bolzano, dove la certificazione KlimaHaus si integra con i Criteri Minimi Ambientali (CAM), migliorando la trasparenza nella selezione dei materiali e rafforzando la credibilità delle soluzioni legate ai PED.

Le certificazioni per l'edilizia green si sono evolute, passando da semplici riconoscimenti a strumenti che incentivano la sostenibilità, influenzano le scelte progettuali, offrono vantaggi economici e migliorano il monitoraggio delle performance energetiche. I futuri sistemi di certificazione per i PED potrebbero includere criteri specifici per la selezione dei materiali, promuovendo una maggiore sostenibilità. In particolare, l'adozione di criteri di selezione basati su GBRS (Green Building Rating Systems) potrebbe garantire interventi edilizi più sostenibili nei progetti di *retrofitting*.

Lo studio, pur evidenziando questi aspetti positivi, presenta delle limitazioni. Si basa principalmente su interventi italiani e su un numero ridotto di casi studio, che riflettono solo una parte delle esperienze internazionali nei progetti PED. Inoltre, l'analisi si è concentrata sui materiali isolanti, lasciando spazio a future ricerche su altri componenti edilizi.

In conclusione, lo studio sottolinea l'importanza di seguire i criteri GBRS per facilitare la transizione verso i PED e suggerisce che le certificazioni possano svolgere un ruolo chiave nei progetti di *retrofitting*. Le future certificazioni PED dovrebbero includere criteri specifici per la selezione dei materiali, migliorando ulteriormente la sostenibilità degli interventi edilizi.

7.4 Individuazione di barriere e fattori abilitanti.

L'implementazione dei PED in Italia presenta numerose sfide, tra cui:

- Complessità normativa e frammentazione delle regolamentazioni.
- Mancanza di risorse finanziarie adeguate e competenze tecniche specifiche.
- Difficoltà nella gestione integrata tra stakeholder.

Sono stati però identificati anche fattori abilitanti, come:

- Il supporto economico e tecnico offerto dai programmi europei (Horizon, PNRR).
- L'adozione di strumenti come il Documento di Indirizzo alla Progettazione (DIP).
- Il ruolo strategico delle Comunità Energetiche Rinnovabili (CER), che promuovono la partecipazione civica e la gestione sostenibile delle risorse energetiche.

7.5 Promozione della sostenibilità ambientale.

Le certificazioni ambientali volontarie GBRS (Green Building Rating Systems), come LEED, BREEAM e KlimaHaus, sono fondamentali per garantire che i materiali da costruzione soddisfino i requisiti di sostenibilità. Questi protocolli hanno promosso pratiche edilizie eco-compatibili, ridotto l'impatto ambientale dei materiali e favorito soluzioni integrate per migliorare l'efficienza energetica. L'importanza di considerare l'impatto ambientale dei materiali durante la progettazione di nuovi edifici o ristrutturazioni ha reso necessario l'uso dell'Analisi del Ciclo di Vita (LCA), un metodo che supporta la selezione dei materiali sin dalle prime fasi progettuali. Questo approccio ha acquisito rilevanza nelle politiche europee a partire dal 2008 con l'introduzione del Green Public Procurement (GPP), che in alcuni paesi, come l'Italia, ha portato a leggi obbligatorie, tra cui i Criteri Ambientali Minimi (CAM) per vari gruppi di prodotti, tra cui quelli edilizi.

Questi criteri obbligatori hanno reso i progettisti più consapevoli dell'importanza di scelte tecniche sostenibili, spingendo anche le aziende a produrre materiali conformi ai CAM. Con la transizione verso i PED (Piani Energetici Decentralizzati), è essenziale che gli edifici esistenti vengano riqualificati per migliorarne le prestazioni energetiche. L'industria delle costruzioni è una delle principali responsabili delle emissioni di energia e del consumo di materie prime, quindi la selezione dei materiali secondo il ciclo di vita diventa cruciale per un impatto ambientale positivo nelle riqualificazioni edilizie.

La maturità raggiunta nella selezione dei materiali è evidente nell'uso dei sistemi GBRS e degli strumenti di valutazione della sostenibilità degli edifici, che integrano la scelta di materiali a basso impatto ambientale nei loro criteri di valutazione. Tuttavia, è necessario un approfondimento per capire se nei progetti PED italiani siano stati inclusi criteri di selezione dei materiali sostenibili. In particolare, lo studio dell'impatto ambientale dei materiali da costruzione si è concentrato sulla loro conformità agli indicatori dei principali sistemi di classificazione degli edifici verdi (GBRS). L'analisi ha esplorato come questi protocolli abbiano influenzato lo sviluppo dei progetti PED, che non solo mirano a migliorare l'efficienza energetica degli edifici, ma anche a promuovere la produzione locale di energia rinnovabile e la flessibilità energetica.

8 Contributo delle eventuali consulenze alle attività sopra descritte

Per la presente LA non sono state attivate consulenze.

9 Pubblicazioni scientifiche

- Clerici Maestosi P, Salvia M, Pietrapertosa F, Romagnoli F, Pirro M. (2024) Implementation of Positive Energy Districts in European Cities: A Systematic Literature Review to Identify the Effective Integration of the Concept into the Existing Energy Systems. *Energies*, 17(3):707. <https://doi.org/10.3390/en17030707>
- Ferrante, T., Clerici Maestosi, P., Romagnoli, F., Villani, T. (2024). "A Portfolio of Building Solutions Supporting Positive Energy District Transition: Assessing the Impact of Green Building Certifications", 19th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES), 8-12 Settembre 2024, Roma.
- Ferrante, T.; Clerici Maestosi, P.; Villani, T.; Romagnoli, F. A Portfolio of Building Solutions Supporting Positive Energy District Transition: Assessing the Impact of Green Building Certifications. *Sustainability* 2025, 17, 400. <https://doi.org/10.3390/su17020400>

10 Eventi di disseminazione

Le attività svolte hanno incluso la partecipazione ai seguenti eventi di disseminazione:

- partecipazione alla Conferenza 'Energy in Built Environment', 29-30 Giugno, Lisbona, organizzata nell'ambito della COST ACTION PED-EU-NET per la quale è stato elaborato il contributo (poster): Romagnoli, F.; Tommasino, M.C.; Ferrante, T.; Villani, T.; Maestosi, P. C. (2023). "Positive Energy District Assessment Tool – Padova case study".
- partecipazione al Workshop DUT a Rotterdam (18-19 settembre 2023) "Climate Neutral Districts. Translating local action into sustainable impact"