



**Politecnico
di Torino**

Corso di Laurea in
Architettura per la Sostenibilità
A.a. 2024/2025

Sostenibilità ambientale in edilizia

Guida al retrofit energetico e proposte per un nuovo modello
normativo

Relatori:
Prof. Vincenzo Corrado
Prof. Giacomo Chiesa

Candidati:
Romeo Myrtaj

*"Everything will be ok in the end.
if it's not okay,
it's not the end."*

John Lennon

La tesi si propone di affrontare il tema della sostenibilità edilizia con un duplice obiettivo: da un lato, creare una guida pratica per il retrofit energetico degli edifici, rivolta sia ai professionisti che ai cittadini privi di competenze tecniche; dall'altro, analizzare criticamente le normative europee e italiane, evidenziandone criticità e proponendo soluzioni migliorative. La struttura dell'elaborato è articolata in cinque capitoli, ciascuno mirato ad approfondire aspetti chiave dell'efficienza energetica, delle emissioni e della normativa vigente.

Il primo capitolo introduce i gas serra, analizzandone origini, impatti e ruolo cruciale nel cambiamento climatico. Viene esaminata la distinzione tra energia primaria e secondaria, insieme ai processi di trasformazione, evidenziando come la produzione energetica influisca sulle emissioni globali. Particolare attenzione è rivolta al settore edilizio, responsabile di una parte significativa delle emissioni di CO₂, per delineare il contesto nel quale si inserisce la riqualificazione energetica.

Il secondo capitolo approfondisce le principali direttive sulla sostenibilità edilizia a livello internazionale, europeo e nazionale, analizzandone punti di forza e limiti. La complessità normativa, spesso frammentata e poco chiara, costituisce una barriera per l'applicazione pratica, ostacolando non solo i professionisti del settore ma anche i privati cittadini interessati a intraprendere interventi di riqualificazione.

Nel terzo capitolo viene eseguita un'analisi statistica finalizzata alla scelta del caso studio. Questa selezione consente di identificare un campione rappresentativo, utile per testare diverse strategie di intervento.

Il quarto capitolo si concentra sull'analisi energetica ed economica del caso studio, mettendo a confronto diverse opzioni di retrofit. Ogni intervento è valutato in termini di efficienza energetica, riduzione delle emissioni e rapporto costi-benefici, offrendo una panoramica delle soluzioni più efficaci e sostenibili.

Il quinto e ultimo capitolo mette in evidenza i limiti dell'approccio normativo attuale in Italia e in Europa. Le incongruenze, come i limiti legislativi e le difficoltà di applicazione pratica emergono come ostacoli significativi al raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità. Vengono quindi avanzate proposte concrete per un'adeguata revisione delle direttive, finalizzate a rendere il sistema normativo più chiaro, accessibile e orientato a risultati tangibili.

ABSTRACT 1

01

GAS SERRA: ORIGINI ED EFFETTI

1.1 GAS A EFFETTO SERRA	7
1.1.1 Classificazione e contributi dei gas serra	8
1.1.2 Anidride carbonica (CO ₂)	8
1.1.3 Metano (CH ₄)	9
1.1.3 Gas fluorurati a effetto serra	9
1.1.4 Protossido di azoto (N ₂ O)	10
1.2 ENERGIA PRIMARIA	10
1.2.1 Combustibili fossili	11
1.2.2 Energia nucleare	11
1.2.3 Fonti rinnovabili: un'alternativa pulita	11
1.3 ENERGIA SECONDARIA	12
1.3.1 Energia elettrica	12
1.3.2 Energia termica	12
1.3.3 Carburanti raffinati	13
1.3.4 Energia meccanica	13
1.4 PROCESSI DI TRASFORMAZIONE	13
1.4.1 Conversione termica	13
1.4.2 Conversione meccanica	13
1.4.3 Conversione chimica	14
1.4.4 Conversione elettrochimica	14
1.4.5 Conversione fotovoltaica	15
1.4.6 Conversione geotermica	15
1.5 PERDITE E EFFICIENZA	15

02

QUADRO LEGISLATIVO INTERNAZIONALE, EUROPEO E NAZIONALE

2.1 QUADRO INTERNAZIONALE	19
2.1.1 UNFCCC	20
2.1.2 Protocollo di Kyoto	20
2.1.3 Accordo di Parigi	21
2.2 QUADRO EUROPEO	22
2.2.1 Direttiva europea 2002/91/CE	23
2.2.2 Politica 20-20-20	24
2.2.3 Direttiva europea 2010/31/UE	24
2.2.3 Direttiva europea 2012/27/UE	25
2.2.4 Direttiva europea 2018/844/EU	27
1.2.6 Direttiva (UE) 2023/1791	29
2.2.5 Direttiva europea 2024/1275	30
2.2.6 Direttiva 2009/28/EC	33
2.2.7 Direttiva 2018/2001/EU	34
2.3 QUADRO ITALIANO	34
2.3.1 Incentivi fiscali	35
2.3.2 Finanziamenti	36
2.3.3 Promozione e informazione	37
2.3.4 Ricerca e innovazione	37
2.3.5 Normative	37

03

SCELTA DEL CAMPIONE

3.1 CARATTERIZZAZIONE DEL CAMPIONE	47
3.2 SCREMATURA DEL CAMPIONE	49
3.3 SELEZIONE FINALE	53
3.4 INQUADRAMENTO FOTOGRAFICO	56

04

ANALISI ENERGETICA

4.1 INQUADRAMENTO PROGETTUALE	59
4.2 FASE PRELIMINARE	62
4.3 STATO DI FATTO	63
4.3.1 Componenti involucro opachi	63
4.3.2 Componenti involucro trasparenti	67
4.3.3 Zone termiche	68
4.3.4 Impianti	70
4.3.5 Verifiche Decreto Ministeriale 26/06/2015	71
4.4 STATO IN PROGETTO	73
4.4.1 Componenti involucro opachi	73
4.4.2 Componenti involucro trasparenti	78
4.4.3 Scelta dell'isolante	80
4.4.4 Ponti termici	81
4.4.5 Impianti	82
4.4.6 Verifiche Decreto Ministeriale 26/06/2015	85
4.4.7 Confronto opzioni di progetto	94
4.5 ANALISI ECONOMICA	97
4.6 PROVA SENZA PONTI TERMICI	100

05

CRITICITÀ NORMATIVE E SOLUZIONI

5.1 CULTURA ITALIANA	103
5.2 TEMPISTICHE	104
5.3 VINCOLI	105
5.4 SOFTWARE	107
5.5 NUOVE TECNOLOGIE	108
5.6 CONCLUSIONI	110

CONCLUSIONI 112

ELENCO FIGURE 114

ELENCO GRAFICI 115

ELENCO TABELLE 115

ELENCO SIGLE 116

BIBLIOGRAFIA 118

GAS SERRA: ORIGINI ED EFFETTI

Il primo capitolo ha il fine di offrire un quadro generale sul tema delle emissioni, analizzando i concetti di gas a effetto serra e i principali fattori responsabili della loro produzione. Verranno esaminati, inoltre, i concetti di energia primaria e secondaria, approfondendo i processi necessari per la trasformazione delle risorse energetiche primarie in forme utilizzabili. Questi elementi sono strettamente correlati e consequenziali, fornendo una visione d'insieme essenziale per comprendere le interazioni tra produzione energetica e impatti ambientali. L'obiettivo del capitolo è duplice: da un lato, spiegare le basi concettuali necessarie per capire il perché di certe scelte operative e strategiche che verranno esposte nel corso della tesi; dall'altro, fornire una solida introduzione anche a coloro che non appartengono al settore, rendendo più accessibili i temi trattati. Questo approccio permette di costruire un ponte tra conoscenze tecniche e un'analisi più ampia, favorendo una comprensione integrata dei legami tra energia, trasformazioni e impatti sulle emissioni globali.

L'**energia** è uno degli elementi fondamentali per il progresso economico e sociale, rappresentando il motore principale delle attività produttive, dell'innovazione tecnologica e del miglioramento delle condizioni di vita. Tuttavia, il suo utilizzo indiscriminato e spesso inefficiente si è rivelato una delle principali cause della crisi ambientale che stiamo affrontando. La crescente domanda di energia, alimentata dall'aumento della popolazione globale e da un processo di industrializzazione sempre più intensivo, ha portato a un massiccio sfruttamento delle **risorse energetiche primarie**, in particolare dei **combustibili fossili**. Queste risorse, pur avendo garantito per decenni un accesso abbondante e relativamente economico all'energia, sono oggi al centro di un acceso dibattito internazionale a causa del loro impatto devastante sul clima e sugli ecosistemi. L'utilizzo dei combustibili fossili, infatti, è strettamente legato all'emissione di **gas a effetto serra**, responsabili del **riscaldamento globale** e delle profonde **alterazioni climatiche** che ne derivano. Le conseguenze di questo modello energetico basato su risorse non rinnovabili sono visibili su scala globale: scioglimento dei ghiacciai, aumento delle temperature medie, eventi climatici estremi e perdita di biodiversità sono solo alcune delle manifestazioni più evidenti. In questo contesto, la gestione delle fonti di energia primaria diventa una priorità strategica per il futuro del pianeta. Sebbene carbone, petrolio e gas naturale continuano a dominare il mix energetico globale, le fonti rinnovabili, come: l'energia solare, eolica, idroelettrica e geotermica si pongono come una soluzione promettente per affrontare le sfide ambientali e climatiche. Queste fonti, oltre a essere praticamente inesauribili, hanno un impatto ambientale nettamente inferiore rispetto ai combustibili fossili, contribuendo così a ridurre le emissioni di gas serra e a preservare le risorse naturali. La transizione verso un sistema energetico più sostenibile, però, non è un processo semplice né immediato. Essa richiede una profonda trasformazione dei paradigmi attuali, supportata da innovazioni tecnologiche avanzate, politiche coraggiose e lungimiranti, e un impegno globale condiviso. È necessario promuovere investimenti mirati nelle infrastrutture per le energie rinnovabili, incentivare l'efficienza energetica e sviluppare tecnologie di accumulo e distribuzione dell'energia che possano garantire stabilità e affidabilità al sistema. Solo attraverso un approccio integrato e collaborativo sarà possibile ridurre progressivamente la dipendenza dai combustibili fossili, adottando un modello energetico sostenibile e resiliente, capace di soddisfare i bisogni attuali senza compromettere le risorse e le opportunità delle generazioni future.

1.1 GAS A EFFETTO SERRA

I **gas a effetto serra**, noti in inglese come **Greenhouse Gases (GHG)**, sono composti atmosferici che giocano un ruolo cruciale nel bilancio energetico della Terra. La loro funzione può essere paragonata a quella del vetro di una serra: intrappolano parte dell'energia solare sotto forma di calore, impedendone la completa dispersione nello spazio, e contribuiscono così all'innalzamento della temperatura globale. Questo fenomeno, noto come **effetto serra**, è fondamentale per la vita

sulla Terra, in quanto consente di mantenere una temperatura media superficiale di circa 15 °C, anziché i -18 °C che si avrebbero in assenza di questi gas.

Tuttavia, a partire dall'era industriale, l'attività umana ha notevolmente alterato l'equilibrio naturale, causando un rapido e preoccupante aumento della concentrazione di gas serra nell'atmosfera. Questo incremento è all'origine di un'intensificazione dell'effetto serra, il cosiddetto **effetto serra antropogenico**, che ha come conseguenze principali: il riscaldamento globale, l'alterazione dei modelli climatici, la maggiore frequenza di eventi meteorologici estremi, lo scioglimento dei ghiacciai, l'innalzamento del livello del mare, la desertificazione e l'impatto diretto sulla biodiversità e sugli ecosistemi.

1.1.1 Classificazione e contributo dei gas serra

I gas serra possono essere classificati in due categorie principali: naturali e antropogenici. Sebbene molti di essi siano presenti naturalmente nell'atmosfera e siano fondamentali per mantenere un clima stabile, l'attività umana ha introdotto nuovi composti e aumentato drasticamente la concentrazione di quelli già esistenti. Il loro contributo al riscaldamento globale è misurato attraverso il **Potenziale di Riscaldamento Globale (Global Warming Potential, GWP)**, un parametro che valuta quanto calore un gas può intrappolare nell'atmosfera rispetto alla CO₂ nell'arco di un determinato periodo, solitamente 100 anni.

1.1.2 Anidride carbonica (CO₂)

- Origine naturale: processi di respirazione, vulcanismo e decomposizione organica.
- Origine antropogenica: combustione di combustibili fossili (carbone, petrolio e gas naturale), deforestazione, produzione di cemento e altri processi industriali.
- Impatto: pur avendo un GWP relativamente basso rispetto ad altri gas serra, la CO₂ è il principale responsabile del riscaldamento globale a causa delle sue elevate emissioni e della sua lunga permanenza in atmosfera.

Nel 2021, le emissioni di gas a effetto serra derivanti dalle attività economiche nell'Unione Europea hanno raggiunto un totale di 3,6 miliardi di tonnellate di CO₂ equivalente, segnando una riduzione del 22% rispetto ai livelli del 2008. Questo calo riflette gli sforzi dell'UE verso la decarbonizzazione, in linea con gli obiettivi del Green Deal Europeo e delle leggi sul clima, che puntano a raggiungere la neutralità climatica entro il 2050. Tra queste emissioni, l'anidride carbonica (CO₂) ha rappresentato quasi l'80% del volume totale, consolidando il suo ruolo di principale contributore al riscaldamento globale¹.

1. <https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20230316STO77629/cambiamento-climatico-gas-a-effetto-serra-che-causano-il-riscaldamento-globale>

1.1.3 Metano (CH₄)

- Origine naturale: processi anaerobici nei suoli, nelle zone umide e durante la decomposizione organica.
- Origine antropogenica: allevamento intensivo di bestiame (emissioni enteriche), gestione dei rifiuti, estrazione e trasporto di combustibili fossili.
- Impatto: il metano (CH₄) ha un GWP circa 28-36 volte superiore a quello della CO₂ su un periodo di 100 anni, rendendolo un contributore significativo al riscaldamento globale nonostante la sua minore concentrazione.

Nella totalità delle emissioni di gas a effetto serra derivanti dalle attività economiche nell'Unione Europea del 2021 un contributo rilevante è stato dato anche dal metano (CH₄), che ha costituito oltre il 12% delle emissioni totali di gas a effetto serra. Il metano, sebbene abbia una vita atmosferica media di circa 12 anni, è circa, come detto in precedenza, 28-36 volte più potente della CO₂ nel trattenere il calore su un periodo di 100 anni. Inoltre, il metano non è solo un potente gas serra, ma anche un inquinante atmosferico pericoloso, che contribuisce alla formazione di ozono troposferico, con effetti negativi sulla salute umana e sugli ecosistemi. Le perdite non controllate di metano possono inoltre comportare rischi significativi, come esplosioni in aree ad alta concentrazione².

1.1.3 Gas fluorurati a effetto serra

I gas fluorurati, tra cui idrofluorocarburi (HFC), perfluorocarburi (PFC), esafluoruro di zolfo (SF₆) e trifluoruro di azoto (NF₃), sono composti di origine esclusivamente artificiale.

- Origine: utilizzati principalmente nei sistemi di refrigerazione, nell'elettronica e in alcuni processi industriali.
- Impatto: questi gas hanno un GWP estremamente elevato, che può superare di migliaia di volte quello della CO₂, e una lunga durata atmosferica, per esempio i perfluorocarburi (PFC) possono arrivare fino a 50.000 anni, rendendoli particolarmente pericolosi per il clima nonostante le loro basse concentrazioni.

I gas fluorurati a effetto serra (HFC, PFC, SF₆, NF₃) rappresentano una quota relativamente modesta delle emissioni complessive dell'UE del 2021, pari a circa il 2,5%. Questi gas, come detto poc'anzi, si distinguono per il loro altissimo potenziale di riscaldamento globale, che può essere migliaia di volte superiore a quello della CO₂. Ad esempio, l'esafluoruro di zolfo (SF₆) ha un GWP superiore a 23.500 volte quello della CO₂ e una permanenza atmosferica di oltre 3.200 anni. Sebbene la loro emissione sia relativamente contenuta, il loro impatto sul clima è particolarmente critico, motivo per cui l'UE ha introdotto regolamenti rigorosi per limitarne l'uso,

2. <https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20230316STO77629/cambiamento-climatico-gas-a-effetto-serra-che-causano-il-riscaldamento-globale>

come il Regolamento (UE) n. 517/2014 sui gas fluorurati³.

1.1.4 Protossido di azoto (N₂O)

- Origine naturale: processi microbici nei suoli e negli oceani.
- Origine antropogenica: uso intensivo di fertilizzanti azotati in agricoltura, combustione di biomassa e alcuni processi industriali.
- Impatto: il N₂O ha un GWP circa 265-298 volte superiore a quello della CO₂, oltre a contribuire alla distruzione dello strato di ozono (strato che protegge la vita sulla Terra dai raggi solari ultravioletti)⁴.

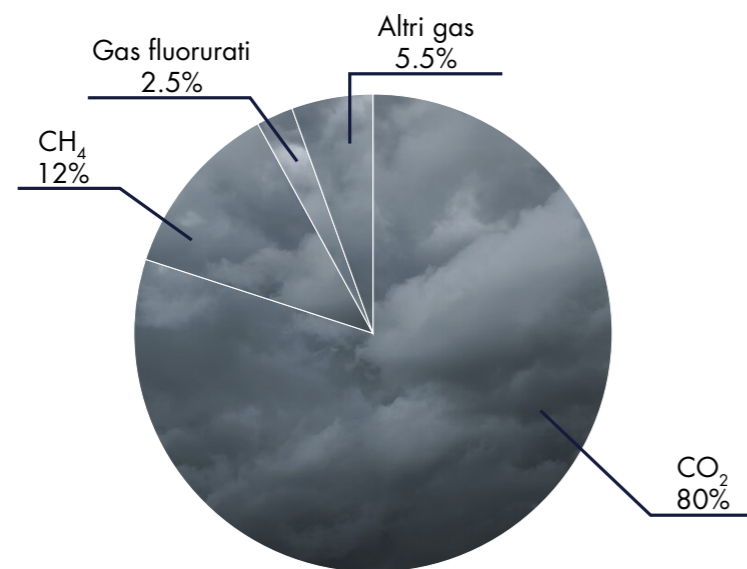


Grafico N.1 Emissioni gas a effetto serra UE 2021.

1.2 ENERGIA PRIMARIA

L'energia primaria rappresenta la forma originaria di energia presente in natura, nella sua condizione non trasformata, prima che subisca qualsiasi processo di conversione o trasformazione in forme di energia utilizzabili dall'uomo. Essa comprende risorse naturali come i combustibili fossili (petrolio, gas naturale, carbone), l'energia nucleare, e le fonti rinnovabili (energia solare, eolica, idrica e geotermica). Queste risorse costituiscono la base fondamentale per la produzione di **energia secondaria**, ossia l'energia che, attraverso opportuni processi tecnologici di trasformazione (come la raffinazione del petrolio o la generazione elettrica), assume forme utilizzabili, come elettricità e combustibili raffinati. Questi ultimi sono destinati all'industria, ai trasporti e ai consumi domestici.

3. <https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20230316STO77629/cambiamento-climatico-gas-a-effetto-serra-che-causano-il-riscaldamento-globale>

4. <https://www.geopop.it/buco-dellozono-cose-quali-sono-le-cause-e-le-conseguenze/>

1.2.1 Combustibili fossili

I combustibili fossili (carbone, petrolio e gas naturale) sono le principali fonti di energia utilizzate globalmente, ma la loro combustione ha impatti ambientali significativi: emissioni di gas serra.

La combustione di carbone, petrolio e gas naturale produce grandi quantità di anidride carbonica (CO₂), che, come visto, è il principale gas serra responsabile del riscaldamento globale. A queste si aggiungono anche emissioni di metano (CH₄) e protossido di azoto (N₂O); come se non bastasse durante la combustione dei combustibili fossili vengono rilasciati anche ossidi di azoto (NO₂), ossidi di zolfo (SO₃) e particolato fine, che contribuiscono alla formazione di smog, piogge acide e causano gravi problemi respiratori nelle aree urbane. Questi inquinanti atmosferici non solo danneggiano la salute umana, ma influenzano negativamente anche gli ecosistemi, in particolare le foreste e le risorse idriche.

L'impatto ambientale derivante dai combustibili fossili non si limita alla combustione ma va all'origine del combustibile con l'insieme dei processi di estrazione. L'estrazione di petrolio e carbone ha impatti devastanti sull'ambiente: la deforestazione, la perdita di biodiversità e la contaminazione delle acque sotterranee sono alcune delle principali conseguenze. Ad esempio, le fuoriuscite di petrolio possono contaminare interi ecosistemi marini e terrestri, causando danni irreversibili alla flora e fauna locale. Inoltre, le miniere di carbone possono rilasciare sostanze tossiche nell'ambiente, contribuendo all'inquinamento delle acque e del suolo.

1.2.2 Energia nucleare

L'energia nucleare è una fonte che, pur essendo a bassa emissione di CO₂ durante la produzione di elettricità, presenta numerosi rischi e problematiche ambientali, primo tra tutti la produzione di scorie radioattive.

I reattori nucleari generano rifiuti altamente radioattivi, che necessitano di una gestione sicura per migliaia di anni. La scarsa gestione di questi rifiuti può comportare contaminazioni ambientali e rischi per la salute. Nonostante siano stati sviluppati siti di stoccaggio come il deposito finale per scorie nucleari, la gestione a lungo termine rimane una delle sfide principali dell'industria nucleare. Inoltre, altra problematica è legata al rischio di incidenti, esempio, gli incidenti nucleari, di Chernobyl (1986) e Fukushima (2011) hanno dimostrato l'entità delle conseguenze ambientali e umane derivanti da guasti tecnologici o errori umani. L'esposizione alle radiazioni può avere effetti a lungo termine sulla salute delle persone e degli ecosistemi, e le aree circostanti possono restare inabitabili per decenni.

1.2.3 Fonti rinnovabili: un'alternativa pulita

Le fonti rinnovabili, come l'energia solare, eolica, idrica e geotermica, sono considerate le opzioni più ecologiche e sostenibili per la produzione di energia.

Le energie rinnovabili non producono emissioni significative di gas serra durante il loro utilizzo. L'energia solare ed eolica, ad esempio, non richiedono combustione e non generano inquinamento atmosferico. La produzione di energia idroelettrica sfrutta il movimento dell'acqua senza emettere CO₂, mentre l'energia geotermica utilizza il calore terrestre senza inquinare l'aria o l'acqua. Sebbene le energie rinnovabili abbiano impatti ambientali inferiori, la loro produzione e installazione comportano alcuni effetti collaterali. La costruzione di impianti fotovoltaici e turbine eoliche può richiedere l'uso di materiali come metalli rari e risorse naturali. Tuttavia, rispetto ai combustibili fossili e all'energia nucleare, questi impatti sono molto più contenuti e, soprattutto, le risorse rinnovabili si rigenerano naturalmente, garantendo una sostenibilità a lungo termine senza esaurire il capitale naturale del pianeta.

1.3 ENERGIA SECONDARIA

L'energia secondaria è una forma di energia che risulta dalla trasformazione di energia primaria. In altre parole, è energia che è stata trattata o convertita in una forma più utile o accessibile per applicazioni specifiche. Esempi comuni di energia secondaria includono: elettricità, carburanti raffinati (come benzina, diesel, gasolio), e calore utilizzabile per il riscaldamento domestico o per processi industriali. L'energia secondaria è progettata per essere immediatamente utilizzata in vari settori economici, come i trasporti, l'industria, e per i consumi domestici. Essa è essenziale per soddisfare le esigenze energetiche quotidiane, poiché permette di immagazzinare, distribuire e consumare l'energia in modo più efficiente rispetto alle risorse naturali in stato grezzo.

1.3.1 Energia elettrica

L'energia elettrica è una delle forme più comuni e versatili di energia secondaria. Viene prodotta principalmente attraverso la conversione di energia meccanica (ad esempio, tramite turbine idroelettriche o centrali eoliche), energia chimica (come nelle centrali a combustibili fossili o nelle celle a combustibile) ed energia solare (pannelli fotovoltaici). L'elettricità è utilizzata in quasi tutti i settori, dalla domotica agli impianti industriali, ed è fondamentale per il funzionamento della maggior parte dei dispositivi tecnologici moderni. È anche il mezzo più comune per la distribuzione di energia attraverso le reti elettriche. Inoltre, l'energia elettrica può essere generata da fonti rinnovabili, che contribuiscono a diversificare il mix energetico e a ridurre le emissioni di gas serra.

1.3.2 Energia termica

L'energia termica è un'altra forma di energia secondaria che può essere utilizzata per il riscaldamento degli edifici o per processi industriali ad alta temperatura. La produzione di energia termica avviene principalmente attraverso la combustione di combustibili fossili, ma può anche derivare da fonti rinnovabili come l'energia solare termica o la geotermica.

1.3.3 Carburanti raffinati

I carburanti raffinati sono prodotti energetici derivati dalla lavorazione del petrolio greggio nelle raffinerie. Attraverso processi come la distillazione frazionata e il cracking, il greggio viene trasformato in combustibili di uso quotidiano come benzina, diesel, cherosene e GPL. Questi carburanti sono fondamentali per alimentare veicoli, macchinari e sistemi di riscaldamento.

1.3.4 Energia meccanica

L'energia meccanica è una forma di energia secondaria che può essere utilizzata per trasformare l'energia in movimento o lavoro meccanico. Viene spesso prodotta tramite turbine, motori elettrici, o macchinari industriali che convertono energia elettrica o termica in energia meccanica. Questa forma di energia è fondamentale in applicazioni industriali, come nei motori dei veicoli, nei macchinari di produzione, e in sistemi di trasporto.

1.4 PROCESSI DI TRASFORMAZIONE

L'energia primaria viene convertita in energia secondaria attraverso i cosiddetti processi di trasformazione. Questi processi sono essenziali per trasformare le risorse naturali in forme di energia utilizzabili. Ogni tipo di trasformazione implica l'utilizzo di una risorsa primaria, che viene modificata tramite tecnologie specifiche per ottenere energia sotto forma di elettricità, calore o carburanti. Di seguito sono descritti alcuni dei processi di trasformazione più importanti e conosciuti.

1.4.1 Conversione termica

La conversione termica implica l'utilizzo di risorse come: carbone, petrolio, gas naturale, biomassa, o energia nucleare per produrre calore.

- **Processo:** La combustione di combustibili fossili o la fissione nucleare generano calore, che riscalda un fluido (solitamente acqua) trasformandolo in vapore. Il vapore ad alta pressione aziona una turbina, che è collegata a un generatore elettrico per produrre elettricità.
- **Esempio:** Centrali termoelettriche alimentate da combustibili fossili (carbone, gas naturale) o biomassa (legna, residui agricoli). La centrale nucleare rappresenta un altro esempio di conversione termica, con il vantaggio di non emettere gas a effetto serra durante il processo di generazione.

1.4.2 Conversione meccanica

La conversione meccanica sfrutta fonti di energia cinetica⁵ come il vento o l'acqua in movimento per produrre energia meccanica.

5. L'energia cinetica è quella posseduta da ogni corpo che si muove: più un corpo è veloce, maggiore è la sua energia cinetica. Fonte: Treccani, Enciclopedia. Istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani, Roma, 2017.

- Processo: L'energia cinetica viene trasformata in energia meccanica attraverso il movimento di una turbina, che sfrutta l'energia di un fluido in movimento, come il vento o l'acqua. Quando il vento o l'acqua colpiscono le pale della turbina, la loro forza provoca la rotazione di quest'ultima. Questo movimento rotatorio è un esempio di energia cinetica (l'energia associata al movimento di un corpo) che viene trasferita alla turbina. La turbina, in questo caso, funziona come un trasduttore, ovvero un dispositivo che converte una forma di energia in un'altra. In particolare, l'energia cinetica delle particelle del fluido (vento o acqua) viene trasformata in energia meccanica sotto forma di rotazione. Questa energia meccanica viene poi utilizzata per azionare un generatore, che converte il movimento rotatorio in energia elettrica, il generatore sfrutta un campo magnetico e un sistema di bobine per produrre corrente elettrica, completando così la trasformazione dell'energia cinetica in elettricità.
- Esempio: Parco eolico, che utilizza turbine per convertire l'energia del vento in elettricità, e centrale idroelettrica, che sfrutta l'energia cinetica dell'acqua in movimento per generare energia.

1.4.3 Conversione chimica

La conversione chimica riguarda le risorse energetiche chimiche⁶, come carbone, petrolio, gas naturale e biomassa, che subiscono trasformazioni per ottenere carburanti o altre forme di energia.

- Processo: Quando questi materiali vengono bruciati o sottoposti ad altre reazioni chimiche, i legami tra gli atomi vengono rotti, liberando energia sotto forma di calore o luce. Questo processo di combustione, ad esempio, trasforma l'energia chimica immagazzinata in una forma utilizzabile, come il calore per riscaldamento o per generare elettricità, per esempio il processo di raffinazione del petrolio separa i suoi componenti tramite distillazione frazionata, ottenendo frazioni come benzina, diesel, e kerosene. Inoltre, il gas naturale può essere trasformato in idrogeno per alimentare celle a combustibile.
- Esempio: Raffinerie di petrolio e impianti di gassificazione, che trasformano combustibili fossili in carburanti o altre forme di energia utile.

1.4.4 Conversione elettrochimica

La conversione elettrochimica utilizza reazioni chimiche per produrre direttamente energia elettrica.

- Processo: Il processo di conversione elettrochimica si riferisce alla trasformazione dell'energia chimica in energia elettrica attraverso reazioni chimiche che avvengono in un dispositivo chiamato celle elettrochimiche. Queste celle sono in grado di generare elettricità grazie

⁶Le risorse energetiche chimiche si riferiscono a materiali che immagazzinano energia sotto forma di legami chimici, che possono essere liberati attraverso reazioni chimiche.

alla separazione di cariche (ioni) che avviene durante una reazione redox⁷ (ossidazione-riduzione) tra due materiali, solitamente un anodo (polo negativo) e un catodo (polo positivo), immersi in un elettrolita.

- Esempio: Le celle a combustibile sono usate in veicoli elettrici a idrogeno e in applicazioni industriali dove è necessaria una fonte di energia pulita e altamente efficiente.

1.4.5 Conversione fotovoltaica

La conversione fotovoltaica trasforma direttamente l'energia solare in elettricità.

- Processo: Il processo di conversione dell'energia solare in elettricità nei pannelli fotovoltaici sfrutta l'effetto fotovoltaico: quando la luce solare colpisce le celle solari, i fotoni trasferiscono la loro energia agli elettroni nel materiale semiconduttore, liberandoli dai legami atomici. Questo genera un flusso di elettroni che, grazie a un campo elettrico interno, viene diretto verso un circuito esterno, producendo corrente elettrica. La corrente continua così ottenuta può essere utilizzata direttamente o convertita in corrente alternata tramite un inverter, rendendola idonea per l'uso domestico o per l'immissione nella rete elettrica⁸.
- Esempio: Impianti solari fotovoltaici che vengono installati su tetti o in ampi parchi solari per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile.

1.4.6 Conversione geotermica

La conversione geotermica sfrutta il calore naturale proveniente dal sottosuolo terrestre.

- Processo: Il calore geotermico, che proviene dalle profondità della Terra, viene utilizzato per riscaldare acqua o altri fluidi in appositi impianti geotermici. Questo calore naturale, generato dalla radioattività delle rocce e dal magma sotterraneo, viene trasferito al fluido attraverso serbatoi geotermici o scambiatori di calore. Il fluido riscaldato raggiunge temperature elevate e, in molti casi, si trasforma in vapore. Questo vapore, sotto pressione, viene canalizzato per far girare le pale di una turbina. La turbina è collegata a un generatore elettrico, che converte l'energia meccanica del movimento rotatorio in energia elettrica.
- Esempio: Centrali geotermiche che sfruttano il calore terrestre per produrre energia elettrica o per scopi diretti di riscaldamento.

1.5 PERDITE E EFFICIENZA

Ogni processo di trasformazione energetica è inevitabilmente soggetto a perdite, determinate principalmente dalle

⁷Fonte per approfondire il tema: https://www.chimica-online.it/download/reazioni_di_ossidazione_riduzione.htm

⁸Fonte per approfondire il tema: <https://www.geopop.it/come-fa-l-energia-solare-a-trasformarsi-in-elettricit%C3%A0-il-funzionamento-dei-pannelli-fotovoltaici/>

PRIMO CAPITOLO

Gas serra: origini ed effetti

limitazioni imposte dal secondo principio della termodinamica⁹. Tali perdite si manifestano prevalentemente sotto forma di calore disperso nell'ambiente. Le perdite energetiche variano in funzione della tecnologia utilizzata e della fonte primaria di energia. Nei sistemi termodinamici, come le centrali termoelettriche, il rendimento è limitato dalla differenza di temperatura tra la sorgente calda (ad esempio, il vapore ad alta pressione) e il pozzo freddo (ad esempio, il condensatore), secondo l'efficienza massima teorica descritta dal ciclo di Carnot¹⁰. Tuttavia, le inefficienze reali, come la conduzione di calore attraverso le superfici, l'attrito meccanico nelle turbine o nei compressori e le perdite fluidodinamiche nei condotti, riducono ulteriormente il rendimento.

Ad esempio, nei generatori elettrici, una parte dell'energia meccanica si disperde sotto forma di calore a causa delle perdite nei cuscinetti, nei magneti e nel sistema di raffreddamento.

In conclusione, le perdite di energia nei processi di trasformazione derivano sia dai limiti termodinamici che da inefficienze tecnologiche specifiche. Migliorare i materiali, ottimizzare i design dei sistemi di conversione e implementare tecnologie avanzate è fondamentale per aumentare l'efficienza complessiva e ridurre gli sprechi energetici.

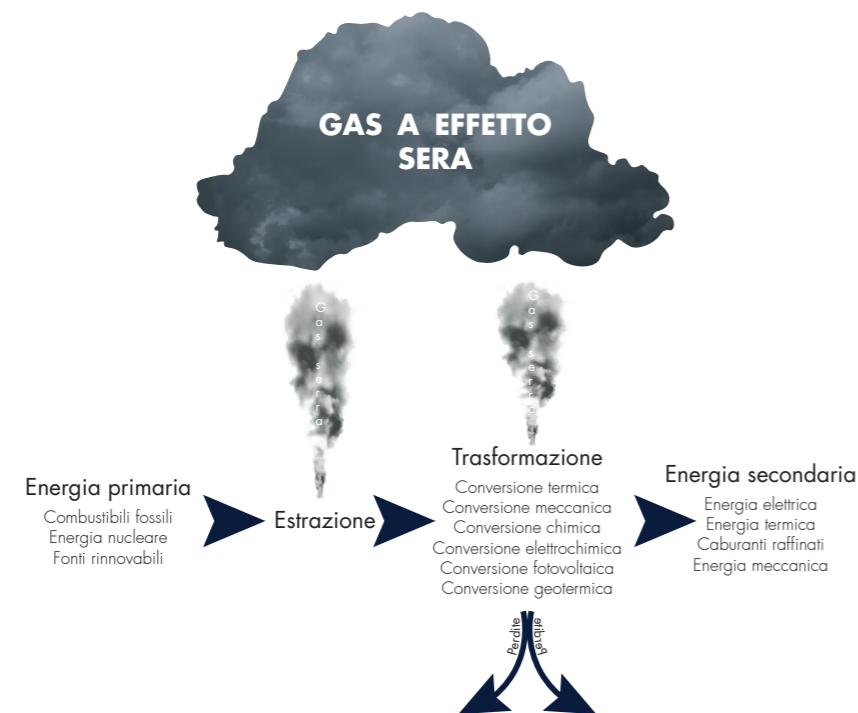


Figura N.1 Schema riassuntivo processo conversione da energia primaria a secondaria.

⁹ "L'energia cinetica è quella posseduta da ogni corpo che si muove: più un corpo è veloce, maggiore è la sua energia cinetica." enunciato di Clausius.

¹⁰ Fonte per approfondire il tema: <https://www.chimica-online.it/download/ciclo-di-carnot.htm>

QUADRO LEGISLATIVO INTERNAZIONALE, EUROPEO E NAZIONALE

Il secondo capitolo analizza il quadro legislativo sulla sostenibilità edilizia a livello internazionale, europeo e nazionale, evidenziando come le normative abbiano influenzato l'efficienza energetica, la riduzione dell'impatto ambientale e la promozione di edifici sostenibili. L'intento non è quello di fornire un elenco esaustivo di ogni singola norma o direttiva esistente, ma piuttosto di evidenziare i punti più significativi e rilevanti per gli obiettivi specifici della tesi. Questa selezione mirata consente di focalizzarsi sugli aspetti legislativi che hanno un impatto diretto o indiretto sul tema trattato, offrendo una base chiara e strutturata per sviluppare le successive analisi e considerazioni. Attraverso questa panoramica, sarà possibile mettere in luce le principali dinamiche evolutive del quadro normativo, evidenziando le connessioni tra i diversi livelli legislativi e il ruolo che queste regolamentazioni rivestono nel guidare l'innovazione e la sostenibilità nel settore edilizio.

2.1 QUADRO INTERNAZIONALE

La questione energetica, da molti anni, ricopre un ruolo estremamente importante nella lotta per la salvaguardia del pianeta e delle risorse. Perché, allora, si pone l'attenzione sul settore delle costruzioni?

Il settore delle costruzioni è responsabile di circa il 42% delle emissioni annuali totali di CO₂. Di tale valore, come mostra la Graf.2, le operazioni edili incidono per circa il 27%, mentre l'embodied carbon¹¹ di soli quattro dei principali materiali utilizzati nel settore edile: cemento, ferro, acciaio e alluminio è responsabile del restante 15%¹².

Inoltre, considerando che due terzi delle superfici urbane globali esistenti oggi saranno ancora in uso nel 2040 e che si prevede un raddoppio della superficie destinata alle costruzioni entro il 2060¹³, per far fronte alla crescita della popolazione mondiale, diventa necessario intervenire con decreti e leggi specifici. Questi provvedimenti devono regolamentare il settore delle costruzioni con l'obiettivo di ridurre le emissioni di CO₂.

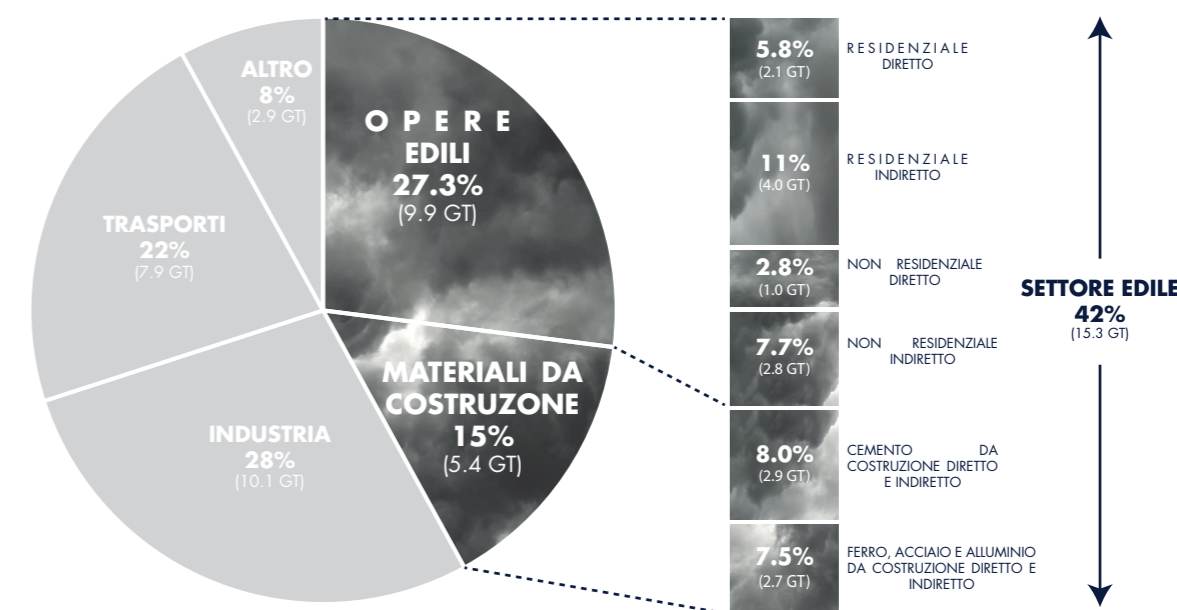


Grafico N.2 Incidenza e emissioni dei settori principali.

¹¹.Il carbonio incorporato (in inglese, embodied carbon) si riferisce alle emissioni di gas a effetto serra associate all'intero ciclo di vita dei materiali da costruzione.

Fonte: <https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2023/10/Embodied-Carbon-2023.pdf>

¹².<https://www.architecture2030.org/why-the-built-environment/>

¹³.Ibidem

2.1.1 UNFCCC

Il primo passo compiuto dalla comunità internazionale per affrontare la crescente crisi climatica risale a circa 30 anni fa, nel 1992, con l'adozione della United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Si tratta di un trattato internazionale giuridicamente non vincolante, sottoscritto durante il Vertice della Terra di Rio de Janeiro. Questo documento, firmato da 154 Paesi, rappresenta una pietra miliare nella cooperazione globale contro il cambiamento climatico, fornendo il quadro legale e politico per future iniziative climatiche.

L'UNFCCC stabilisce come obiettivo principale la stabilizzazione delle concentrazioni di gas serra nell'atmosfera a livelli tali da prevenire interferenze pericolose con il sistema climatico. Contestualmente, garantisce che gli ecosistemi possano adattarsi naturalmente, che la sicurezza alimentare non venga compromessa e che lo sviluppo economico sostenibile possa proseguire.

Le nazioni firmatarie riconoscevano ufficialmente che il cambiamento climatico fosse attribuibile all'attività antropica, in particolare alle emissioni di gas serra derivanti dall'uso di combustibili fossili, dalla deforestazione, dall'agricoltura intensiva e dall'industrializzazione. Tra gli impatti identificati vi erano l'innalzamento del livello del mare, la perdita di biodiversità, l'acidificazione degli oceani e l'aumento di eventi climatici estremi.

Un elemento chiave del trattato è il principio delle "responsabilità comuni ma differenziate". I Paesi sviluppati (inclusi nell'Allegato I dello stesso) si impegnavano a guidare la riduzione delle emissioni, riconoscendo la loro storica responsabilità per l'inquinamento atmosferico. I Paesi in via di sviluppo, pur non essendo inizialmente obbligati a riduzioni specifiche, furono incoraggiati a intraprendere azioni di mitigazione, con la promessa di supporto tecnico e finanziario.

Pur non imponendo obiettivi vincolanti, l'UNFCCC ha posto le basi per accordi successivi, come il **Protocollo di Kyoto (1997)**, che introdusse obiettivi di riduzione delle emissioni per i Paesi sviluppati, e l'**Accordo di Parigi (2015)**, che estese l'impegno globale coinvolgendo tutte le nazioni. Questo trattato continua a rappresentare un punto di riferimento centrale per le azioni globali sul clima¹⁴.

2.1.2 Protocollo di Kyoto

Il Protocollo di Kyoto, adottato nel 1997 durante la **Conferenza delle Parti (COP3)** a Kyoto, rappresenta un passo successivo e concreto rispetto all'UNFCCC. Si tratta di un accordo internazionale giuridicamente vincolante, concepito per attuare gli obiettivi del trattato quadro. È entrato in vigore solo nel 2005, dopo la ratifica da parte di un numero sufficiente di Paesi che rappresentassero almeno il 55% delle emissioni globali di gas serra.

L'obiettivo principale del Protocollo è la riduzione delle emissioni di sei gas serra ritenuti tra i più impattanti per il riscaldamento globale: biossido di carbonio (CO₂), metano (CH₄), protossido di azoto (N₂O), idrofluorocarburi (HFC), perfluorocarburi (PFC) ed esafluoruro di zolfo (SF₆).

¹⁴<https://unfccc.int/>

Questo impegno mira a tutelare il sistema climatico, garantendo benefici per l'ambiente e per le generazioni presenti e future, con un approccio che integra sostenibilità ambientale e sviluppo economico.

Il Protocollo ribadisce il principio delle "responsabilità comuni ma differenziate", distinguendo i ruoli tra Paesi sviluppati e Paesi in via di sviluppo.

I Paesi sviluppati, elencati nell'Allegato I dell'UNFCCC, sono soggetti a vincoli più stringenti, impegnandosi collettivamente a ridurre le emissioni globali di gas serra di almeno il 5,2% rispetto ai livelli del 1990 entro il primo periodo di attuazione (2008-2012). Al contrario, i Paesi in via di sviluppo non sono obbligati a riduzioni vincolanti ma sono incoraggiati ad adottare misure volontarie per mitigare i cambiamenti climatici, con il supporto tecnico e finanziario dei Paesi avanzati.

Per garantire maggiore flessibilità nell'attuazione degli obiettivi, il Protocollo introdusse strumenti innovativi come il **meccanismo di sviluppo pulito (CDM)**, che permette ai Paesi sviluppati di investire in progetti di riduzione delle emissioni nei Paesi in via di sviluppo, e il commercio delle emissioni, che consente lo scambio di crediti di emissione tra Paesi.

Tuttavia, il Protocollo affrontò diverse difficoltà, tra cui la mancata adesione di alcuni grandi emettitori, come gli Stati Uniti, e l'esclusione di vincoli per economie emergenti come Cina e India. Questi limiti ne ridussero l'efficacia complessiva¹⁵.

2.1.3 Accordo di Parigi

L'Accordo di Parigi è un trattato internazionale giuridicamente vincolante, adottato nel 2015 durante la **21ª Conferenza delle Parti (COP21)** a Parigi. Rappresenta una svolta storica nella lotta contro il cambiamento climatico, coinvolgendo per la prima volta quasi tutti i Paesi del mondo in un impegno globale. L'obiettivo principale dell'Accordo è limitare l'aumento della temperatura globale ben al di sotto di 2°C rispetto ai livelli preindustriali, puntando idealmente a non superare 1,5°C entro la fine del secolo (2100), soglia critica per evitare gli effetti più devastanti del riscaldamento globale.

L'Accordo si distingue per il suo approccio inclusivo: tutte le nazioni firmatarie, sia sviluppate che in via di sviluppo, sono tenute a presentare i propri **Contributi Determinati a Livello Nazionale (NDC)**. Questi piani delineano come ciascun Paese intende ridurre le proprie emissioni e adattarsi agli impatti climatici. Gli NDC vengono rivisti ogni cinque anni, con l'impegno di aumentare progressivamente l'ambizione degli obiettivi.

L'Unione Europea ha avuto un ruolo chiave nell'Accordo di Parigi, firmandolo sia come entità autonoma sia attraverso l'impegno dei singoli Stati membri. L'UE è stata la prima grande potenza economica a presentare un piano concreto e ambizioso per la riduzione delle emissioni,

¹⁵https://unfccc.int/kyoto_protocol?gad_source=1&gclid=Cj0KCCQiA3sq6BhD2ARIsAJ8MRwWVYS-cRWraDnZrBZLPat7iA7kqijxA bmrQqD0bnzVlG8mflitNzsgsaAu_vEAlw_wcB

proponendosi di tagliare i gas serra di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990. Questo piano, integrato nella strategia del **Green Deal Europeo**, punta a raggiungere la neutralità climatica entro il 2050.

L'Accordo riconosce inoltre l'importanza di sostenere i Paesi più vulnerabili, prevedendo meccanismi di finanziamento, trasferimento tecnologico e sviluppo di capacità per aiutare le nazioni in via di sviluppo ad affrontare il cambiamento climatico e adattarsi ai suoi impatti.

Nonostante il ritiro temporaneo degli Stati Uniti nel 2020, seguiti dal loro rientro nel 2021 l'Accordo di Parigi resta il fulcro della cooperazione globale sul clima. Promuove un modello di azione collettiva e solidale per affrontare quella che è considerata la più grande sfida ambientale del nostro tempo.

2.2 QUADRO EUROPEO

Tutto quanto esposto finora rappresenta l'evoluzione di dinamiche globali. Ciò che si analizzerà ora sarà più incentrato sulla situazione europea. In particolare, a partire dal 2002, le normative sono diventate sempre più articolate e stringenti, con l'obiettivo di apportare un cambiamento radicale nel settore delle costruzioni, al fine di contrastare il cambiamento climatico e ridurre la spesa energetica delle famiglie, e più in generale degli edifici.

Questo approccio risulta naturale se si considerano i dati presentati all'inizio del capitolo e, in aggiunta, il fatto che il 75% degli edifici nell'Unione Europea è tuttora inefficiente dal punto di vista energetico. Il gas naturale, utilizzato principalmente per il riscaldamento degli edifici, rappresenta circa il 39% del consumo energetico legato al riscaldamento nel settore residenziale. Seguono il petrolio, con l'11%, e il carbone, con circa il 3%¹⁶.

Di conseguenza, la riduzione del consumo energetico e l'aumento dell'utilizzo di energia proveniente da fonti rinnovabili nel settore edilizio costituiscono misure fondamentali per abbattere le emissioni di gas a effetto serra e contrastare la povertà energetica all'interno dell'Unione Europea.

Si precisa che i paragrafi successivi dedicati alla legislazione europea non intendono offrire un'analisi dettagliata dell'intero apparato normativo in materia di efficienza energetica. L'obiettivo è, piuttosto, quello di estrapolare le informazioni più rilevanti e coerenti con la legislazione italiana e con gli scopi della tesi, fornendo al contempo una panoramica dello sviluppo storico e procedurale delle politiche europee in questo settore.

¹⁶ Direttiva europea 2024/1275 del 24 Aprile 2024 sulla prestazione energetica nell'edilizia.

2.2.1 Direttiva europea 2002/91/CE

In data 16 dicembre 2002 è stata pubblica sulla Gazzetta Ufficiale dell'UE la Direttiva europea sull'efficienza energetica negli edifici, abbreviato EPBD (Energy performance of Building Directive) 2002/91/CE, entrata in vigore il 4 gennaio 2003.

Nell'Articolo 1 della stessa si definiscono i seguenti obiettivi:

- *"il quadro generale di una metodologia per il calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici.*
- *l'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione.*
- *l'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico degli edifici esistenti di grande metratura sottoposti a importanti ristrutturazioni.*
- *la certificazione energetica degli edifici.*
- *l'ispezione periodica delle caldaie e dei sistemi di condizionamento d'aria negli edifici, nonché una perizia del complesso degli impianti termici le cui caldaie abbiano più di quindici anni.*¹⁷

Requisiti minimi:

Come definito nell'Art. 4 gli Stati membri sono tenuti ad adottare le misure necessarie per garantire l'istituzione di requisiti minimi di rendimento energetico per gli edifici, calcolati in conformità con le modalità stabilite nel medesimo decreto.

Tali requisiti devono essere soggetti a revisioni periodiche, che non dovrebbero superare i cinque anni, e, qualora necessario, essere aggiornati in base ai progressi tecnologici nel settore edilizio¹⁸.

Classificazione interventi edilizi:

- Nuova costruzione: secondo quanto stabilito dall'Art. 5, gli Stati membri assicurano che i nuovi edifici rispettino i requisiti minimi di efficienza energetica. Inoltre, per i nuovi edifici con una superficie utile totale superiore a 1000 m², gli Stati membri garantiscono che venga valutata e considerata, prima dell'avvio dei lavori, la fattibilità tecnica, ambientale ed economica di soluzioni alternative
- Edifici esistenti: come previsto dall'Art. 6, gli Stati membri garantiscono che, in caso di ristrutturazioni importanti di edifici con una superficie totale superiore a 1000 m², il loro rendimento energetico venga migliorato per rispettare i requisiti minimi, laddove ciò sia tecnicamente, funzionalmente ed economicamente realizzabile¹⁹.

Da quanto detto finora, emerge che a livello europeo vengono fornite solo linee guida sulla

¹⁷ Direttiva europea 2002/91/CE del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico

¹⁸ Cfr. ibidem

¹⁹ Cfr. ibidem

procedura e sull'applicazione della direttiva. Gli Stati membri dovranno definire e attuare i contenuti della direttiva in base alle specifiche caratteristiche climatiche e territoriali dei rispettivi Paesi. Questa ampia libertà di scelta è voluta per evitare che restrizioni troppo rigide ostacolino lo sviluppo sostenibile, rendendolo invece flessibile e adattabile a ogni contesto. È importante sottolineare che gli Stati membri dovevano adottare le necessarie disposizioni legislative, regolamentari e amministrative per conformarsi alla direttiva entro il 4 gennaio 2006, informando tempestivamente la Commissione.

2.2.2 Politica 20-20-20

Il 10 gennaio 2007 la Commissione europea ha adottato un piano per l'efficienza energetica, denominato Politica 20-20-20, una serie di obiettivi ambiziosi destinati a migliorare la sostenibilità del continente in ambito energetico e ambientale.

Obiettivi della politica:

Gli obiettivi principali della politica 20-20-20 erano tre, tutti con scadenza nel 2020:

1. Ridurre le emissioni di gas serra del 20% rispetto ai livelli del 1990. Questo obiettivo si inserisce in un quadro più ampio di lotta contro il cambiamento climatico, con l'intento di abbattere le emissioni nocive e contribuire agli accordi internazionali come l'Accordo di Parigi.
2. Aumentare la quota di energie rinnovabili al 20% del totale dell'energia consumata nell'UE. L'Europa si è impegnata ad accelerare la transizione verso fonti di energia rinnovabili, come il solare, l'eolico, l'idroelettrico e la geotermia. L'obiettivo non solo intende ridurre la dipendenza da fonti fossili, ma anche favorire lo sviluppo di tecnologie innovative e promuovere l'indipendenza energetica dell'UE.
3. Migliorare l'efficienza energetica del 20%, riducendo i consumi di energia attraverso interventi mirati nella produzione, nel consumo e nella distribuzione dell'energia. Questo obiettivo include una vasta gamma di iniziative, dalla promozione di tecnologie a basso consumo energetico, all'efficienza nei trasporti, all'ottimizzazione dell'uso energetico nelle abitazioni e nelle imprese.

2.2.3 Direttiva europea 2010/31/UE

Il passo successivo per la sostenibilità degli edifici è stata la Direttiva 2010/31/UE, abbreviata EPBD 2010, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale UE il 18 giugno 2010 ed entrata in vigore il 9 luglio 2010.

La direttiva riprende gli stessi obiettivi e argomenti della precedente; infatti, promuove il miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici all'interno dell'Unione, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e

all'efficacia sotto il profilo dei costi.

Ovviamente, la direttiva non solo riprende i punti della precedente, ma aggiunge anche altri aspetti innovativi che meritano un approfondimento.

Quadro metodologico comparativo:

Come stabilito nell'Art. 5: " entro il 30 giugno 2011, la Commissione deve definire, attraverso atti delegati in conformità con gli articoli 23, 24 e 25, un quadro metodologico comparativo per calcolare i livelli ottimali dei requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi, in base ai costi. Vanno considerati parametri rilevanti come le condizioni climatiche e l'accessibilità delle infrastrutture energetiche.²⁰"

Ristrutturazioni:

Come riportato nell'Art. 7, nel caso degli edifici esistenti, è stato rimosso il vincolo dei 1000 m² che escludeva una vasta parte del patrimonio edilizio. Inoltre, viene introdotto il concetto di ristrutturazione importante, dando libertà agli Stati membri di definire una ristrutturazione come tale, in base a un criterio, cioè la percentuale di involucro ristrutturato o il costo complessivo dell'intervento²¹.

Edifici a energia quasi zero:

Si introduce un concetto completamente nuovo, gli edifici a energia quasi zero (ZNEB), cioè edifici dal fabbisogno energetico molto basso coperto interamente da fonti rinnovabili.

Nell'Art. 9 vengono stabilite due date di grande importanza:"

- 31 dicembre 2018: a partire da tale data gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi siano edifici a energia quasi zero.
- 31 dicembre 2020: entro questa data gli edifici di nuova costruzione siano edifici a energia quasi zero.²²

2.2.4 Direttiva europea 2012/27/UE

Nonostante le direttive precedenti abbiano posto le basi per migliorare l'efficienza energetica, i progressi compiuti dagli Stati membri si sono dimostrati insufficienti per colmare il divario rispetto all'obiettivo del 20%. Per questo motivo, si è resa necessaria l'adozione di un nuovo strumento. Il 25 ottobre 2012, la Direttiva europea 2012/27/UE è stata pubblicata nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea. Questa è entrata in vigore il 4 dicembre 2012, con un termine per il recepimento da parte degli Stati membri fissato al 5 giugno 2014.

La direttiva rappresenta il risultato di due Consigli europei che ne hanno delineato i contenuti.

²⁰.Direttiva europea 2010/31/UE del 18 giugno 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.

²¹.Cfr. ibidem

²².Direttiva europea 2010/31/UE del 18 giugno 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.

Il primo, svoltosi il 4 febbraio 2011, ha evidenziato l'assenza di progressi significativi rispetto agli obiettivi di efficienza energetica precedentemente stabiliti per l'Unione Europea, sottolineando la necessità di adottare misure più incisive. In quell'occasione, è stato previsto anche un ulteriore riesame della questione per il 2013, con l'eventualità di introdurre misure aggiuntive nel caso in cui la situazione non fosse migliorata.

Il secondo Consiglio, tenutosi il 10 giugno 2011, ha ribadito l'importanza del consumo energetico degli edifici, suggerendo che gli Stati membri sviluppassero una strategia che andasse oltre gli obiettivi del 2020, con particolare attenzione alle ristrutturazioni. In tale contesto, la direttiva ha introdotto l'obbligo di stabilire un tasso annuo di ristrutturazione per gli edifici di proprietà del governo centrale degli Stati membri, con l'obiettivo di migliorarne l'efficienza energetica. Queste ristrutturazioni dovrebbero essere effettuate seguendo i principi degli edifici a energia quasi zero (nZEB), come definiti nell'Art. 9 dalla Direttiva Europea 2010/31/UE.

Strategia a lungo termine:

Nell'Art. 1 della stessa si definisce una strategia a lungo termine:

“Gli Stati membri stabiliscono una strategia a lungo termine per mobilitare investimenti nella ristrutturazione del parco nazionale e di edifici residenziali e commerciali, sia pubblici che privati.

Tale strategia comprende:

- *Una rassegna del parco immobiliare nazionale fondata, se del caso, su campionamenti statistici.*
- *L'individuazione di approcci alle ristrutturazioni efficaci in termini di costi, pertinenti al tipo di edificio e alla zona climatica.*
- *Politiche e misure volte a stimolare ristrutturazioni degli edifici profonde ed efficaci in termini di costi, comprese profonde ristrutturazioni per fasi.*
- *Una prospettiva rivolta al futuro per guidare le decisioni di investimento dei singoli individui, del settore dell'edilizia e delle istituzioni finanziarie.*
- *Una stima fondata su prove del risparmio energetico atteso, nonché dei benefici in senso lato.*

Una prima versione della strategia è pubblicata entro il 30 aprile 2014 e successivamente aggiornata ogni tre anni e trasmessa alla Commissione nel quadro dei piani d'azione nazionali per l'efficienza energetica.²³

Ristrutturazioni:

Come definito nell'Art. 5, la direttiva lascia agli Stati membri la libera scelta riguardo alle misure per la ristrutturazione, tuttavia, a partire dal 1° gennaio 2014, almeno il 3% della superficie coperta utile degli edifici pubblici riscaldati o/e raffrescati, superiori a 500 m² (di proprietà del

²³.Direttiva 2012/27/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica.

coperta utile degli edifici pubblici riscaldati o/e raffrescati, superiori a 500 m² (di proprietà del governo o occupati da esso), dovrà essere ristrutturata per rispettare almeno i requisiti minimi di prestazione energetica stabiliti in applicazione dell'Art. 4 della direttiva 2010/31/UE (purtroppo, non ancora recepita dall'Italia), mentre a partire dal 9 luglio 2015, tale soglia passerà da 500 m² a 250 m².²⁴

Prodotti ad alta efficienza:

Viene raccomandato di investire esclusivamente in prodotti ad alta efficienza (valutando un rapporto costi-benefici).

Agevolazioni fiscali:

Per quanto riguarda le agevolazioni fiscali, gli Stati membri dovrebbero usare pienamente i fondi strutturali e il Fondo di Coesione per promuovere gli investimenti nelle misure volte a migliorare l'efficienza energetica. In tale contesto è previsto anche l'intervento della Commissione stessa per supportare gli Stati membri, sempre se necessario. Inoltre, gli Stati membri potranno creare un fondo destinato a sostenere le iniziative nazionali in materia di efficienza energetica, alimentato anche dai contributi necessari per finanziare gli investimenti richiesti per soddisfare i diversi obblighi²⁵.

2.2.5 Direttiva europea 2018/844/EU

Il 30 maggio 2018 la Commissione europea ha emanato una nuova direttiva, la Direttiva 2018/844/EU, che modifica i contenuti della Direttiva 2010/31/UE e della Direttiva 2012/27/UE. È stata pubblicata nella Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea il 19 giugno 2018 ed è entrata in vigore il 9 luglio 2018. La necessità di apportare modifiche alle direttive precedenti nasce dal fatto che la Direttiva 2010/31/UE ha prescritto alla Commissione di procedere a una revisione della direttiva stessa entro il 1° gennaio 2017, alla luce dell'esperienza acquisita e dei progressi compiuti durante la sua applicazione e, se necessario, di presentare proposte di revisione.

Per effettuare questa revisione, la Commissione ha avviato una serie di iniziative per raccogliere dati sulle modalità di attuazione della Direttiva 2010/31/UE negli Stati membri, evidenziandone i punti di forza e le carenze. Dalla revisione e dalla valutazione d'impatto della Commissione è emersa la necessità di introdurre una serie di modifiche volte a rafforzare le disposizioni vigenti della Direttiva 2010/31/UE e a semplificare taluni aspetti.

Le modifiche sono le seguenti:

²⁴. Cfr. Direttiva 2012/27/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica.

²⁵.Ibidem.

- **Strategia di ristrutturazione a lungo termine (Art. 2 bis - introdotto):**

Direttiva europea 2010/31/EU: Non includeva strategie specifiche per ristrutturazioni a lungo termine.

Direttiva europea 2018/844/EU: Introduce l'Articolo 2 bis, obbligando gli Stati membri a elaborare strategie nazionali per decarbonizzare gli edifici entro il 2050, con tappe intermedie al 2030 e 2040.

- **Automazione e controllo degli edifici (Art. 14 e Art. 15 - modificati):**

Direttiva europea 2010/31/EU: Prevedeva ispezioni periodiche di sistemi di riscaldamento e raffrescamento.

Direttiva europea 2018/844/EU: Modifica gli Articoli 14 e 15, promuovendo:

Installazione di sistemi di automazione e controllo per edifici non residenziali di grandi dimensioni.

Esenzione dalle ispezioni per sistemi con automazione avanzata.

- **Introduzione dell'Indicatore di Prontezza Intelligente (SRI):**

Direttiva europea 2010/31/EU: Nessuna menzione.

Direttiva europea 2018/844/EU: Introduce l'Indicatore di Prontezza Intelligente (SRI) per valutare la capacità di edifici e impianti di migliorare il comfort e l'efficienza energetica attraverso tecnologie avanzate.

- **Obiettivi per il parco edilizio (Art. 1 e Art. 2 bis - modificati):**

Direttiva europea 2010/31/EU: Obiettivo generico di migliorare la performance energetica.

- **Fonti rinnovabili e integrazione (Art. 6 e Art. 7 - modificati):**

Direttiva europea 2010/31/EU: Promuoveva l'uso di energie rinnovabili, senza requisiti specifici.

Direttiva europea 2018/844/EU: Rafforza l'integrazione di rinnovabili negli edifici nuovi e ristrutturati, migliorando la coerenza con la Direttiva 2012/27/EU.

Mentre rispetto alla direttiva 2012/27/EU le modifiche più significative sono le seguenti:

- **Sistemi di riscaldamento e raffrescamento (Art. 14 - modificato):**

Direttiva europea 2012/27/EU: L'Articolo 14 richiedeva valutazioni complete del potenziale di efficienza dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento.

Direttiva europea 2018/844/EU: Migliora il focus sull'uso di sistemi ad alta efficienza e sull'integrazione con fonti rinnovabili. Incoraggia l'adozione di sistemi di riscaldamento urbano e pompe di calore.

- **Automazione degli edifici (Art. 9 e Art. 14 - modificati):**

Direttiva europea 2012/27/EU: Si concentrava su contatori intelligenti per la misurazione dei consumi energetici.

Direttiva europea 2018/844/EU: Aggiunge requisiti per sistemi di automazione e controllo per edifici non residenziali con impianti tecnici grandi, riducendo la necessità di ispezioni.

- **Riqualificazione energetica degli edifici (Art. 4 - modificato):**

Direttiva europea 2012/27/EU: Richiedeva piani nazionali di ristrutturazione per migliorare l'efficienza degli edifici pubblici.

Direttiva europea 2018/844/EU: Amplia l'ambito alle strategie di ristrutturazione a lungo termine per l'intero parco immobiliare, con scadenze intermedie al 2030, 2040 e obiettivo 2050²⁶.

2.2.6 Direttiva (UE) 2023/1791

In data 13 settembre 2023 l'Unione Europea emana la Direttiva (UE) 2023/1791 del parlamento europeo e del consiglio del 13 settembre 2023 sull'efficienza energetica e che modifica il regolamento (UE) 2023/955 (rifusione), quest'ultima a sua volta andava a modificare il regolamento UE 2021/1060, entrata in vigore il 10/10/2023 e da recepire entro il 11/10/2025. Sebbene la direttiva non sia specificamente incentrata sulla sostenibilità edilizia, affronta il tema in modo trasversale, fornendo un quadro normativo che incide anche sulle politiche di riqualificazione degli edifici. L'efficienza energetica, infatti, è un elemento chiave nella transizione verso un sistema più sostenibile e meno dipendente dalle fonti fossili, motivo per cui questa direttiva rappresenta un passo importante nel contesto delle politiche edilizie europee. La direttiva si pone l'obiettivo di divulgare un quadro comune per promuovere l'efficienza energetica UE (Art. 1)²⁷.

Secondo quanto definito dall'Art. 4 gli stati membri garantiscono una riduzione del consumo di energia dell'11.7% entro il 2030, stando di conseguenze sotto la soglia di energia finale pari a 763 Mtep²⁸.

Nell'Art. 6 si parla di edilizia e più in particolar modo del ruolo degli edifici pubblici, in particolar modo ogni stato membro assicura che almeno il 3% della superficie totale utile degli edifici riscaldati e/o raffreddati, di proprietà delle amministrazioni pubbliche, venga ristrutturato annualmente per convertirli in edifici a zero emissioni o, almeno, in edifici a energia quasi zero, in linea con quanto stabilito dall'articolo 9 della Direttiva 2010/31/UE²⁹.

In generale, la Direttiva 2023/1791 introduce un insieme di disposizioni finalizzate alla riduzione dei consumi energetici in tutti quei settori in cui l'uso dell'energia ha un impatto significativo, contribuendo così agli obiettivi di sostenibilità e decarbonizzazione dell'Unione Europea, tra questi, oltre all'edilizia, figurano l'industria, i trasporti.

²⁶.Cfr. Direttiva 2018/844/EU DEL Parlamento europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la Direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.

²⁷.Cfr. Direttiva (UE) 2023/1791 del Parlamento europeo e del Consiglio del 13 settembre 2023.

²⁸.Ibidem.

²⁹.Ibidem.

2.2.7 Direttiva europea 2024/1275

La Direttiva europea 2024/1275 rappresenta un passo fondamentale nell'evoluzione delle politiche energetiche dell'Unione Europea, rispondendo alle sfide globali imposte dall'Accordo di Parigi e dal Green Deal Europeo. L'Accordo di Parigi³⁰, come visto in precedenza, con il suo obiettivo di limitare l'aumento della temperatura globale a ben al di sotto dei 2°C, preferibilmente a 1,5°C, ha spinto la comunità internazionale a impegnarsi in azioni concrete per ridurre le emissioni di gas serra. Allo stesso modo, il Green Deal Europeo stabilisce l'ambizioso obiettivo di rendere l'Europa il primo continente a emissioni nette zero entro il 2050, con una riduzione delle emissioni di almeno il 55% entro il 2030.

In questo contesto, la revisione della Direttiva 2010/31/UE, attraverso la Direttiva 2024/1275, diventa cruciale per accelerare la transizione verso edifici a emissioni zero, che rappresentano una parte significativa della riduzione complessiva delle emissioni. La nuova direttiva prevede l'introduzione di standard più severi, politiche di ristrutturazione profonda e incentivi per l'adozione di tecnologie verdi, mirando a rendere il settore edilizio non solo più efficiente, ma anche resiliente agli impatti dei cambiamenti climatici.

Dato l'elevata distanza temporale tra la Direttiva europea 2024/1275 e la sua precedente versione 2010/31/UE, si ritiene utile citare l'oggetto della presente direttiva così come riportato nell'Art. 1 della stessa:"

1. *La presente direttiva promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici e la riduzione delle emissioni dei gas a effetto serra provenienti dagli edifici all'interno dell'Unione per conseguire un parco immobiliare a emissioni zero entro il 2050, tenendo conto delle condizioni locali, delle condizioni climatiche esterne, delle prescrizioni relative alla qualità degli ambienti interni e dell'efficacia sotto il profilo dei costi.*
2. *Le disposizioni della presente direttiva riguardano:*
 - *il quadro comune generale di una metodologia per il calcolo della prestazione energetica integrata degli edifici e delle unità immobiliari.*
 - *L'applicazione di requisiti minimi di prestazione energetica di edifici e unità immobiliari di nuova costruzione.*
 - *L'applicazione di requisiti minimi di prestazione energetica a:*
 - i. *edifici esistenti e unità immobiliari esistenti sottoposti a ristrutturazioni importanti.*
 - ii. *Elementi edilizi che fanno parte dell'involucro dell'edificio e che hanno un impatto significativo sulla prestazione energetica dell'involucro dell'edificio quando sono rinnovati o sostituiti.*
 - iii. *Sistemi tecnici per l'edilizia qualora siano installati, sostituiti o siano oggetto di un intervento di miglioramento.*

³⁰.Op. cit.

- *L'applicazione di norme minime di prestazione energetica agli edifici esistenti e alle unità immobiliari esistenti, in conformità degli articoli 3 e 9.*
 - *Il calcolo e la comunicazione del potenziale di riscaldamento globale nel corso del ciclo di vita degli edifici.*
 - *L'energia solare negli edifici.*
 - *I passaporti di ristrutturazione.*
 - *I piani nazionali di ristrutturazione degli edifici.*
 - *Le infrastrutture di mobilità sostenibile all'interno e in prossimità degli edifici.*
 - *Gli edifici intelligenti.*
 - *La certificazione della prestazione energetica degli edifici o delle unità immobiliari.*
 - *L'ispezione periodica degli impianti di riscaldamento, degli impianti di ventilazione e degli impianti di condizionamento d'aria negli edifici.*
 - *I sistemi di controllo indipendenti per gli attestati di prestazione energetica, i passaporti di ristrutturazione, gli indicatori della predisposizione degli edifici all'intelligenza e i rapporti di ispezione.*
 - *le prestazioni relative alla qualità degli ambienti interni degli edifici.*
3. *I requisiti stabiliti dalla presente direttiva sono requisiti minimi e non impediscono ai singoli Stati membri di mantenere o prendere provvedimenti più rigorosi, a condizione che tali provvedimenti siano compatibili con il diritto dell'Unione. Essi sono notificati alla Commissione.³¹*

Edifici nuova costruzione:

Come definito nell'Art. 7 gli Stati membri provvedono affinché gli edifici di nuova costruzione siano a emissioni zero:

- a decorrere dal 1° gennaio 2028, gli edifici di nuova costruzione di proprietà di enti pubblici.
- a decorrere dal 1° gennaio 2030, tutti gli edifici di nuova costruzione.

Vien da sé che lo step intermedio deve prevedere, entro tale data, il raggiungimento di edifici a emissione quasi zero³².

Energia solare:

Per la prima volta, una direttiva di tale importanza affronta in modo specifico il tema dell'energia solare. In particolare, come dice l'Art. 10: "*Gli Stati membri provvedono affinché tutti i nuovi edifici siano progettati in modo da ottimizzare il loro potenziale di produzione di energia solare sulla base dell'irraggiamento solare del sito, consentendo l'installazione successiva di tecnologie solari efficienti sotto il profilo dei costi.*

In particolar modo, gli Stati membri assicurano l'installazione di impianti solari adeguati, laddove

³¹.Direttiva europea 2024/1275 del 24 Aprile 2024 sulla prestazione energetica nell'edilizia.

³².Cfr. Direttiva europea 2024/1275 del 24 Aprile 2024 sulla prestazione energetica nell'edilizia.

tecnicamente appropriato ed economicamente e funzionalmente fattibile, come segue:

- *entro il 31 dicembre 2026, su tutti i nuovi edifici pubblici e non residenziali con una superficie coperta utile superiore a 250 m²*
- *su tutti gli edifici pubblici con superficie coperta utile superiore a:*
 - i. *2000 m² entro il 31 dicembre 2027*
 - ii. *750 m² entro il 31 dicembre 2028*
 - iii. *250 m² entro il 31 dicembre 2030*
- *entro il 31 dicembre 2027, sugli edifici non residenziali esistenti con una superficie coperta utile superiore a 500 m², se l'edificio è sottoposto a una ristrutturazione importante o a un'azione che richiede un'autorizzazione amministrativa per ristrutturazioni edilizie, lavori sul tetto o l'installazione di un sistema tecnico per l'edilizia.*
- *entro il 31 dicembre 2029, su tutti i nuovi edifici residenziali.³³*

Edifici a emissioni zero:

Secondo l'Art. 11: *"Si introduce un nuovo concetto, quello degli edifici a emissioni zero, si tratta di un edificio che non genera emissioni in loco di carbonio da combustibili fossili. Gli Stati membri adottano le misure necessarie affinché la domanda di energia di un edificio a emissioni zero rispetti una soglia massima. Tale soglia massima per la domanda di energia di un edificio a zero emissioni è inferiore di almeno il 10 % alla soglia relativa al consumo totale di energia primaria stabilita a livello di Stato membro per gli edifici a energia quasi zero al 28 maggio 2024. Tuttavia, per gli edifici ristrutturati gli stati membri possono adeguare la soglia per la domanda di energia di un edificio a zero emissioni per gli edifici ristrutturati, nel rispetto delle corrispondenti disposizioni sui livelli ottimali in funzione dei costi e, qualora siano state stabilite soglie per gli edifici a energia quasi zero ristrutturati.*

Gli stati membri provvedono affinché il consumo totale annuo di energia primaria di un edificio a emissioni zero, nuovo o ristrutturato, sia coperto da:

- *Energia da fonti rinnovabili generata in loco o nelle vicinanze che soddisfa i criteri di cui all'articolo 7 della direttiva (UE) 2018/2001.*
- *Energia da fonti rinnovabili fornita da una comunità di energia rinnovabile ai sensi dell'articolo 22 della direttiva (UE) 2018/2001;*
- *Energia proveniente da un sistema efficiente di teleriscaldamento e teleraffrescamento a norma dell'articolo 26, paragrafo 1, della direttiva (UE) 2023/1791.*
- *Energia da fonti prive di carbonio.*

Laddove non sia tecnicamente o economicamente fattibile soddisfare i requisiti stabiliti nel presente paragrafo, il consumo totale annuo di energia primaria può essere coperto anche da altra energia

³³.Direttiva europea 2024/1275 del 24 Aprile 2024 sulla prestazione energetica nell'edilizia.

della rete conforme ai criteri stabiliti a livello nazionale.³⁴

Intelligenza negli edifici:

Da Art. 13: *"Gli Stati membri impongono che i nuovi edifici, laddove tecnicamente ed economicamente fattibile, siano dotati di dispositivi autoregolanti che controllino separatamente la temperatura in ogni vano o, quando giustificato, in una determinata zona riscaldata o raffreddata dell'unità immobiliare e, se del caso, di bilanciamento idronico. L'installazione di tali dispositivi autoregolanti e, se del caso, del bilanciamento idronico negli edifici esistenti è richiesta al momento della sostituzione dei generatori di calore o di freddo, laddove tecnicamente ed economicamente fattibile.³⁵"*

2.2.8 Direttiva 2009/28/CE

In data 23 aprile 2009 l'UE emana la Direttiva 2009/28/CE (sulle energie rinnovabili), i quali punti principali sono i seguenti:

Obiettivi vincolanti (Art. 3):

- *L'UE deve raggiungere il 20% di energia rinnovabile nel consumo finale entro il 2020.*
- *Obiettivo specifico del 10% di energia rinnovabile nei trasporti.*

Piani d'azione nazionali (Art. 4):

- *Gli Stati membri devono sviluppare Piani d'Azione Nazionali per stabilire obiettivi settoriali (elettricità, riscaldamento/raffrescamento, trasporti).*

Cooperazione tra Stati membri (Art. 6):

- *Possibilità di trasferire statisticamente energia rinnovabile tra Stati o creare progetti comuni.*

Procedure amministrative semplificate (Art. 13):

- *Riduzione degli ostacoli burocratici per l'autorizzazione di progetti rinnovabili.*

Garanzia di origine (Art. 15):

- *Certificati che dimostrano la provenienza rinnovabile dell'energia.*

Sostenibilità dei biocarburanti (Art. 18):

- *Criteri ambientali obbligatori per garantire che i biocarburanti abbiano un impatto positivo sulla riduzione delle emissioni di CO₂³⁶.*

³⁴.Direttiva europea 2024/1275 del 24 Aprile 2024 sulla prestazione energetica nell'edilizia.

³⁵.Ibidem

³⁶.Cfr. Direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.

2.2.9 Direttiva 2018/2001/EU

In data 11/12/2018 l'UE emana la Direttiva 2018/2001/EU sulla promozione dell'uso dell'energia da energia rinnovabile, i punti salienti sono i seguenti:

Obiettivi 2030 (Art. 3):

- L'UE deve raggiungere almeno il 32% di energia rinnovabile nel consumo finale lordo entro il 2030.

Riscaldamento e raffrescamento (Art. 23):

- Incremento annuo di almeno il 1,3% nella quota di energia rinnovabile utilizzata per riscaldamento e raffrescamento.
- Incremento annuo di almeno il 1,3% nella quota di energia rinnovabile utilizzata per riscaldamento e raffrescamento.

Trasporti (Art. 25):

- Obbligo per i fornitori di carburante di raggiungere almeno il 14% di rinnovabili nei trasporti entro il 2030.
- Limite all'uso di biocarburanti ad alto rischio di cambiamento indiretto di uso del suolo (ILUC).

Sostenibilità e criteri di emissione per biocarburanti (Art. 26-30):

- Introduzione di criteri più stringenti per la sostenibilità di biocarburanti e biomassa:
- Riduzione delle emissioni di gas serra rispetto ai combustibili fossili: 50-65%.
- Protezione di ecosistemi sensibili.

Autoconsumo e comunità energetiche (Art. 21-22):

- Diritto all'autoconsumo di energia rinnovabile senza oneri sproporzionati.
- Promozione delle comunità energetiche rinnovabili per produrre, consumare e condividere energia.

Procedure amministrative semplificate (Art. 16):

- Procedure rapide e semplificate per autorizzare nuovi impianti di energia rinnovabile e loro connessione alla rete³⁷.

2.3 QUADRO ITALIANO

L'analisi condotta finora si è focalizzata principalmente su un contesto europeo, che, come evidenziato, è spesso rimasto piuttosto generico, evitando di fornire indicazioni specifiche ai singoli Stati membri. Questo approccio, forse giustificabile, ha lasciato agli Stati la responsabilità di adattarsi al meglio delle proprie possibilità, tenendo conto di fattori climatici, territoriali ed

³⁷Cfr. Direttiva (UE) 2018/2001 del Parlamento europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2018 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili (rifusione).

economici. Alla luce di ciò, l'attenzione si sposta ora sul patrimonio italiano e sulla cornice legislativa nazionale, al fine di delineare un quadro più chiaro e dettagliato della situazione nel Lo stock edilizio nazionale, stimato al 2022, è di 12.539.173 edifici residenziali che ospitano un totale di 32.302.242 abitazioni di cui il 78,4% circa (25.324.854 abitazioni) è occupato da famiglie residenti. Un numero considerevole che rende l'Italia primo paese in Europa per numero di case per 1000 abitanti: se si utilizza i dati dello stock abitativo dell'ISTAT, in Italia risultano 599 abitazioni ogni mille abitanti contro una media europea di 506, seguono Portogallo (582), Norvegia (579), Finlandia (576) e Francia (566). Un primato che evidenzia la centralità delle politiche per la casa nel nostro Paese, soprattutto alla luce di una graduale perdita di valore dello stock edilizio, specialmente nelle aree periferiche, dovuta al fatto che il 72% degli edifici ha più di 43 anni ed è stato costruito prima della legge sull'efficienza energetica (L. n.373/76) e che il 68,5% delle abitazioni hanno una classe energetica compresa tra la E e la G.

Il Rapporto dimostra che basterebbe far salire di sole 2 classi energetiche il patrimonio edilizio residenziale per consentire la riduzione media del 40% della bolletta di una famiglia, pari a un risparmio annuo di 1.067 euro ai costi del 2022 e allo stesso tempo un incremento del valore delle abitazioni. Una casa ristrutturata, come evidenziato nella ricerca, vale infatti mediamente il 44,3%

in più di una casa da ristrutturare. Incremento che arriva al 50,8% fuori dalle aree metropolitane in luoghi non turistici, mentre nelle periferie, nelle corone delle aree metropolitane le case ristrutturate valgono il 40,5% in più di quelle non ristrutturate. Si tratta di aree dove si concentra la fascia più debole dal punto di vista energetico del patrimonio edilizio ed economicamente più fragile della popolazione³⁸.

Lo Stato italiano, in risposta alle direttive europee e alla crescente urgenza dettata dalla crisi climatica, ha implementato un insieme articolato di interventi mirati alla riduzione delle emissioni di gas serra generate dal settore edilizio. Questi interventi possono essere raggruppati in cinque principali macrocategorie: Incentivi Fiscali, Normative, Finanziamenti, Promozione e informazione e Ricerca e innovazione.

2.3.1 Incentivi fiscali

- **SUPERBONUS:** Il Superbonus, regolato dall'articolo 119 del Decreto-Legge n. 34/2020 (Decreto Rilancio), rappresenta una misura fiscale che consente una detrazione fino al 110% delle spese sostenute per interventi finalizzati al miglioramento dell'efficienza energetica e alla riduzione del rischio sismico degli edifici, applicabile dal 1° luglio 2020. Gli interventi principali ("trainanti") includono l'isolamento termico delle superfici opache, la sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con soluzioni più efficienti e interventi antisismici. Tra

³⁸Fonte: <https://www.regionieambiente.it/patrimonio-edilizio-rapporto/>

quelli secondari ("trainati"), rientrano l'installazione di impianti fotovoltaici e sistemi di ricarica per veicoli elettrici³⁹.

- **ECOBONUS:** è un'agevolazione fiscale dedicata a incentivare interventi di efficientamento energetico sugli edifici esistenti. Introdotto dal Decreto Legge n. 63/2013, è destinato sia a soggetti privati che a titolari di reddito d'impresa. L'agevolazione permette una detrazione dall'IRPEF o dall'IRES delle spese sostenute per lavori volti a migliorare le prestazioni energetiche, come la coibentazione, la sostituzione di serramenti, l'installazione di impianti solari termici o pompe di calore. Le percentuali di detrazione variano dal 50% all'85%, a seconda della natura e dell'estensione degli interventi⁴⁰.
- **BONUS CASA:** Il Bonus Casa è un'agevolazione fiscale prevista per interventi di recupero del patrimonio edilizio e disciplinata dall'articolo 16-bis del D.P.R. 917/86 (Testo Unico delle Imposte sui Redditi - TUIR). Consente una detrazione IRPEF del 50% sulle spese sostenute fino al 31 dicembre 2024, con un limite massimo di spesa di 96.000 euro per unità immobiliare. Tale detrazione è ripartita in 10 rate annuali di pari importo⁴¹.

2.3.2 Finanziamenti

- **Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR):** prevede uno stanziamento complessivo di 191,5 miliardi di euro, con 59,47 miliardi destinati alla transizione ecologica e alla rivoluzione verde. Questi fondi sono finalizzati a finanziare interventi per la decarbonizzazione del settore edilizio, comprendenti misure come l'installazione di impianti fotovoltaici, l'adozione di soluzioni per l'isolamento termico degli edifici e la promozione di sistemi di riscaldamento e raffrescamento ad alta efficienza energetica. Tali azioni sono strategiche per ridurre le emissioni di gas serra e migliorare l'efficienza energetica del patrimonio edilizio italiano, allineandosi con gli obiettivi di sostenibilità previsti dal Green Deal europeo e dalle normative nazionali in materia di cambiamento climatico⁴².
- **Il Fondo Nazionale per l'Efficienza Energetica:** è uno strumento volto a incentivare gli interventi necessari per il raggiungimento degli obiettivi nazionali di efficienza energetica, come definiti nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC). Questo fondo promuove la partecipazione attiva di istituti finanziari nazionali ed europei, nonché di investitori privati, incentivando la realizzazione di progetti di miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici e delle infrastrutture. L'iniziativa si basa su un modello di condivisione dei rischi tra

39. Cfr. <https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/superbonus-110%25>

40. Cfr. <https://ecobonus.mise.gov.it/>

41. Cfr. <https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/web/guest/aree-tematiche/casa/agevolazioni/agevolazioni-per-le-ristrutturazioni-edilizie>

42. Cfr. <https://www.mimit.gov.it/it/pnrr/piano>

pubblico e privato, al fine di favorire l'accesso a finanziamenti per interventi che contribuiscano alla decarbonizzazione e all'efficienza energetica⁴³.

2.3.3 Promozione e informazione

- **Campagne di sensibilizzazione:** l'ENEA e altri enti pubblici realizzano campagne di sensibilizzazione e sulle misure disponibili per ridurre le emissioni delle loro abitazioni.
- **Sportelli informativi:** esistono sportelli informativi presso i comuni e le associazioni di categoria.

2.3.4 Ricerca e innovazione

- **Finanziamenti alla ricerca:** lo Stato italiano finanzia progetti di ricerca e sviluppo per la creazione di nuove tecnologie che possano contribuire al miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici.
- **Sostegno alle imprese:** l'Agenzia per l'energia elettrica e le reti gas (ARERA) fornisce supporto alle imprese che sviluppano e commercializzano tecnologie per l'efficienza energetica degli edifici.

2.3.5 Normative

Tra i vari decreti e interventi legislativi dello Stato in ambito di efficienza energetica, il D.M. 26/06/2015 (la cui entrata in vigore è avvenuta il 1° ottobre 2015) è il decreto che meglio risponde alle richieste avanzate su tale tema da parte della Commissione Europea attraverso le diverse direttive. Inoltre, rappresenta il punto di riferimento più completo per progettisti e professionisti, offrendo linee guida dettagliate per una corretta progettazione.

Quindi, la disamina di tale Decreto sarà più approfondita rispetto a quelle viste precedentemente.

il D.M. è strutturato come segue:

- **Articolo 1:** Ambito di intervento e finalità.
- **Articolo 2:** Definizioni.
- **Articolo 3:** Criteri e metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici.
- **Articolo 4:** Criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici.
- **Articolo 5:** Criteri generali in materia di esercizio, conduzione, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti.
- **Articolo 6:** Funzioni delle regioni e province autonome
- **Articolo 7:** Strumenti di calcolo
- **Articolo 8:** Abrogazioni e disposizioni finali
- **Articolo 9:** Entrata in vigore

43. Cfr. <https://www.mase.gov.it/energia/efficienza-energetica/fondo-nazionale-efficienza-energetica#:~:text=Cos%27A8,un%20adeguata%20condivisione%20dei%20rischi.>

Il decreto definisce:"

- Le modalità di applicazione della metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, incluso l'utilizzo delle fonti rinnovabili, nonché le prescrizioni e i requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici e unità immobiliari.
- Le prescrizioni e i requisiti minimi in materia di prestazione energetica degli edifici e unità immobiliari.

Nel rispetto dei criteri generali di cui all'articolo 4, comma 1, del decreto legislativo 19 agosto 2005.⁴⁴

Infine il D.M. si costituisce anche di due allegati

- Allegato 1: riporta i criteri generali e i requisiti minimi delle prestazioni energetiche degli edifici
- Allegato 2: riporta le norme tecniche di riferimento per il calcolo della prestazione energetica degli edifici

Quadro comune per il calcolo:

Come definito dall'Art. 1 del D.M.:

"Con riferimento a quanto disposto dall'articolo 4, comma 1, lettera a), del decreto legislativo, la prestazione energetica degli edifici è determinata sulla base della quantità di energia necessaria annualmente per soddisfare le esigenze legate a un uso standard dell'edificio e corrisponde al fabbisogno energetico annuale globale in energia primaria per il riscaldamento, il raffrescamento, per la ventilazione, per la produzione di acqua calda sanitaria e, nel settore nonresidenziale, per l'illuminazione, gli impianti ascensori e scale mobili. In particolare:

- *La prestazione energetica degli edifici è determinata in conformità alla normativa tecnica UNI e CTI in materia. Dette norme sono allineate con le norme predisposte dal CEN a supporto della direttiva 2010/31/UE.*
- *il fabbisogno energetico annuale globale si calcola come energia primaria per singolo servizio energetico, con intervalli di calcolo mensile.*
- *è consentito tenere conto dell'energia da fonte rinnovabile o da cogenerazione prodotta nell'ambito del confine del sistema (in situ) alle seguenti condizioni:*
 - solo per contribuire ai fabbisogni del medesimo vettore energetico (elettricità con elettricità, energia termica con energia termica, ecc).*
 - fino a copertura totale del corrispondente fabbisogno o vettore energetico utilizzato per i servizi considerati nella prestazione energetica. L'eccedenza di energia rispetto al fabbisogno mensile, prodotta in situ e che viene esportata, non concorre alla prestazione energetica dell'edificio. In relazione alla cogenerazione, l'energia utilizzata dal cogeneratore*

44.Cfr. Decreto Ministeriale 26/06/2015 Requisiti Minimi.

viene allocata all'energia elettrica e termica prodotta dallo stesso secondo quanto segue, considerando un rendimento di riferimento del sistema elettrico nazionale pari a 0,413 ed un rendimento di riferimento termico $\eta_{th,ref}$ pari a 0,9.

iii. *Indicando quindi a_w e a_q rispettivamente i fattori di allocazione all'energia elettrica e termica prodotta si ha che⁴⁵:*

$$a_w = \frac{\frac{\eta_{el}}{\eta_{el,ref}}}{\frac{\eta_{el}}{\eta_{el,ref}} + \frac{\eta_{th}}{\eta_{th,ref}}}$$

$$a_q = \frac{\frac{\eta_{th}}{\eta_{th,ref}}}{\frac{\eta_{el}}{\eta_{el,ref}} + \frac{\eta_{th}}{\eta_{th,ref}}}$$

Conversione in energia primaria:

Per le verifiche progettuali relative al rispetto dei requisiti minimi, si calcola sia l'energia primaria totale sia quella non rinnovabile, utilizzando i rispettivi fattori di conversione: $f_{p,tot}$ per l'energia primaria totale e $f_{p,nren}$ per l'energia primaria non rinnovabile.

Per la classificazione degli edifici, invece, si effettua il calcolo dell'energia primaria non rinnovabile, applicando i pertinenti fattori di conversione in energia primaria non rinnovabile ($f_{p,nren}$), il fattore di conversione in energia primaria totale è pari a⁴⁶:

$$f_{p,tot} = f_{p,nren} + f_{p,ren}$$

tali valori, riportati nel D.M. sono presenti nel Graf.3, per quanto riguarda il teleriscaldamento e teleraffrescamento i fattori riportati, 1.5 e 0.5, sono assunti come riferimento in assenza della dichiarazione tecnica del fornitore.

45.Decreto Ministeriale 26/06/2015 Requisiti Minimi.

46.Cfr. Decreto Ministeriale 26/06/2015 Requisiti Minimi.

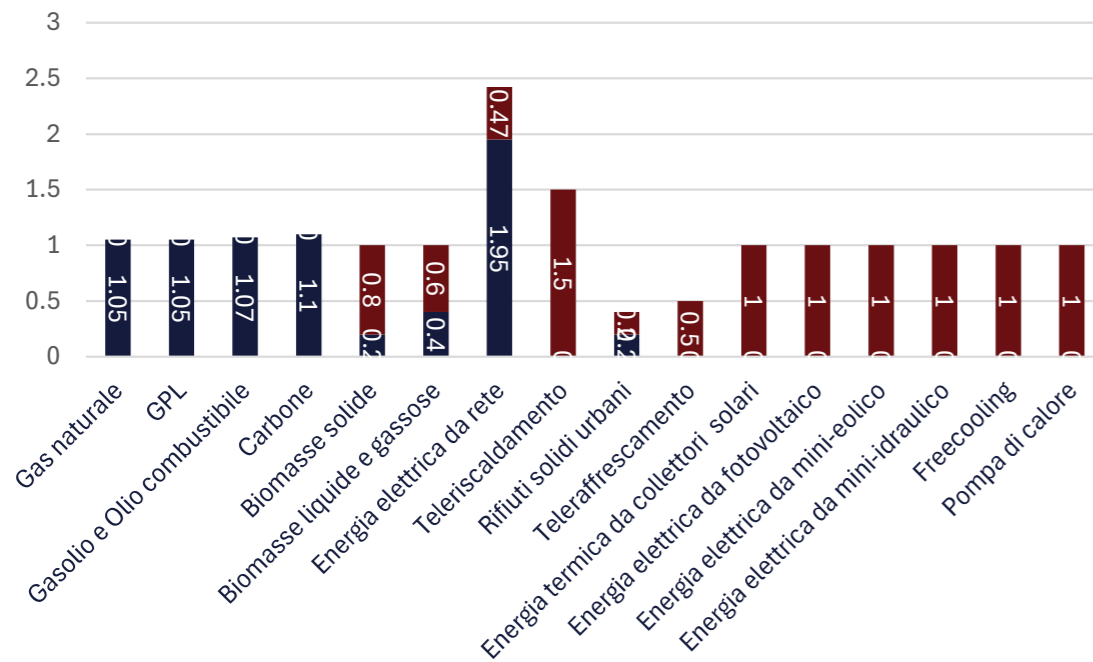


Grafico N.3 Fattori di conversione per energia primaria.

Classificazione degli edifici e degli interventi edilizi:

Gli edifici vengono suddivisi in categorie, definite dall'articolo 3 del D.P.R. 412/93, in base alla loro destinazione d'uso. Se un edificio è composto da parti che appartengono a categorie differenti, per il calcolo della prestazione energetica ciascuna parte deve essere considerata separatamente nella propria specifica categoria. L'intero edificio viene poi classificato in funzione della destinazione d'uso predominante, determinata dal volume climatizzato prevalente.

- Edificio nuovo : si intende l'edificio il cui titolo abilitativo sia stato richiesto dopo l'entrata in vigore del presente provvedimento. (sono annoverati in edifici nuovi anche le demolizione e costruzione, e l'ampliamento e sopraelevazione di edificio esistente capire se scrivere le condizioni)
- Ristrutturazione importante di primo livello: l'intervento, oltre a interessare l'involucro edilizio con un'incidenza superiore al 50 per cento della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio, comprende anche la ristrutturazione dell'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva asservito all'intero edificio.
- Ristrutturazione importante di secondo livello: l'intervento interessa l'involucro edilizio con un'incidenza superiore al 25 per cento della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio e può interessare l'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva.
- Riqualificazione energetica: si definiscono interventi di "riqualificazione energetica di un edificio" quelli non riconducibili ai casi precedenti ma che hanno, comunque, un impatto sulla prestazione energetica dell'edificio. Tali interventi coinvolgono quindi una superficie inferiore

o uguale al 25 per cento della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio e/o consistono nella nuova installazione, nella ristrutturazione di un impianto termico asservito all'edificio o di altri interventi parziali⁴⁷.

Requisiti di prestazione energetica:

"Per gli edifici di nuova costruzione e gli edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione importanti di primo livello si procede:

- Alla determinazione dei parametri, indici di prestazione energetica, espressi in kWh/m² anno e delle seguenti efficienze impiantistiche, riportate in Tab. 1

H_T [W/ m ² K]	coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente
$A_{sol,es}/ A_{sup\ utile}$ [-]	area solare equivalente estiva per unità di superficie utile
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ²]	indice di prestazione termica utile per riscaldamento
η_H [-]	efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale
EP_H [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot")
$EP_{W,nd}$ [kWh/m ²]	indice di prestazione termica utile per la produzione di acqua calda sanitaria
η_w [-]	efficienza media stagionale dell'impianto di produzione dell'acqua calda sanitaria
EP_w [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot")
EP_V [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica per la ventilazione. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot")
$EP_{C,nd}$ [kWh/m ²]	indice di prestazione termica utile per il raffrescamento
η_c [-]	efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità)
EP_C [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità). Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot")
EP_l [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale. Questo indice non si calcola per la categoria E.1, fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3). Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot")
EP_T [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica del servizio per il trasporto di persone e cose (impianti ascensori, marciapiedi e scale mobili). Questo indice non si calcola per la categoria E.1, fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3)
$EP_{gt} = EP_H + EP_w + EP_V + EP_C + EP_l + EP_T$ [kWh/m ²]	indice di prestazione energetica globale dell'edificio. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot")

Tabella N.1 Parametri da verificare secondo D.M. 26/06/2015.

47.Ibidem.

- *verifica del rispetto dei parametri, indici ed efficienze definite alla precedente lettera a).*
- *Il progettista, al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti:*
 - i. *valuta puntualmente e documenta l'efficacia dei sistemi schermanti delle superfici vetrate.*
 - ii. *esegue, a eccezione degli edifici classificati nelle categorie E.6 ed E.8, in tutte le zone climatiche a esclusione della F, per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva, $I_{m,s}$, sia maggiore o uguale a 290 W/m^2 :*
 - I. *che il valore della massa superficiale M_s , di cui al comma 29 dell'allegato A, del decreto legislativo, sia superiore a 230 kg/m^2 .*
 - II. *che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica $Y_{t,e}$, di cui alla lettera d), del comma 2, dell'articolo 2, del presente decreto, sia inferiore a $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$.*
 - iii. *La verifica, relativamente a tutte le pareti opache orizzontali e inclinate, che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica $Y_{t,e}$, di cui alla lettera d), del comma 2, dell'articolo 2, del presente decreto, sia inferiore a $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$.*
- *A eccezione della categoria E.8, nel caso di nuova costruzione e ristrutturazione importante di primo livello di edifici esistenti, questo ultimo limitatamente alle demolizioni e ricostruzioni, da realizzarsi in zona climatica C, D, E ed F, nonché in caso di realizzazione di pareti interne per la separazione delle unità immobiliari, il valore della trasmittanza (U) delle strutture edilizie di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti, deve essere inferiore o uguale a $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, nel caso di pareti divisorie verticali e orizzontali. Il medesimo limite deve essere rispettato per tutte le strutture opache, verticali, orizzontali e inclinate, che delimitano verso l'ambiente esterno gli ambienti non dotati di impianto di climatizzazione adiacenti agli ambienti climatizzati.*
- *Obbligo di integrazione delle fonti rinnovabili secondo i principi minimi e le decorrenze di cui all'Allegato 3, del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28.^{48*}*

Edificio a energia quasi zero:

Si è già visto in precedenza la definizione di tale termine, tuttavia in questo caso andiamo a vedere come la legislazione Italiana norma tale definizione, in particolar modo

"Sono edifici a energia quasi zero tutti gli edifici, siano essi di nuova costruzione o esistenti, per cui sono contemporaneamente rispettati:

- *Tutti i requisiti previsti dalla lettera b), del comma 2, del paragrafo 3.3, determinati con i valori vigenti dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri edifici.*

48. Decreto Ministeriale 26/06/2015 Requisiti Minimi.

- *Gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28.^{49*}*

Ristrutturazione di secondo livello:

Nel caso di una ristrutturazione di secondo livello il progettista verifica che:

- *Siano rispettati tutti i requisiti e le prescrizioni per una riqualificazione energetica, fatte salve specifiche eccezioni puntuali.*
- *Che il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente H'T determinato per l'intera porzione dell'involucro oggetto dell'intervento sia inferiore al valore limite riportato nella tabella 10 dell'appendice A di tale decreto⁵⁰.*

Riqualificazione energetica:

I requisiti e le prescrizioni da rispettare, salvo eccezione, sono i seguenti:

- *Il valore della trasmittanza termica (U) delle strutture opache verticali che delimitano il volume climatizzato verso l'esterno o locali non climatizzati deve essere pari o inferiore a quello specificato nella Tabella 1 dell'Appendice B del decreto*
- *Per le strutture opache orizzontali o inclinate che delimitano il volume climatizzato verso l'esterno, il valore della trasmittanza termica (U) deve essere pari o inferiore a quello indicato nelle tabelle pertinenti dell'Appendice B, in base alla fascia climatica*
- *Ad eccezione della categoria E.8, il valore massimo della trasmittanza termica (U) per le chiusure tecniche trasparenti e opache, apribili o assimilabili, che delimitano il volume climatizzato verso l'esterno, deve essere pari o inferiore a quello indicato nella Tabella 4 dell'Appendice B, in base alla fascia climatica di riferimento.*
- *Ad eccezione della categoria E.8, per le chiusure tecniche trasparenti indicate al punto precedente, che delimitano il volume climatizzato verso l'esterno con orientamento compreso tra Est e Ovest passando per Sud, il valore del fattore di trasmissione solare totale (g_{gl+sh}) della componente finestrata deve essere pari o inferiore a quello specificato nella Tabella 5 dell'Appendice B.*
- *Per gli edifici dotati di impianto termico non a servizio di singola unità immobiliare residenziale o assimilata, in caso di riqualificazione energetica dell'involucro edilizio è obbligatoria l'installazione di valvole termostatiche o un altro sistema di termoregolazione per ogni ambiente o unità immobiliare⁵¹.*

49. Ibidem.

50. Cfr. Decreto Ministeriale 26/06/2015 Requisiti Minimi.

51. Ibidem.

SECONDO CAPITOLO

Quadro legislativo internazionale, europeo e nazionale

Si osserva che comprendere l'intera evoluzione legislativa presentata finora risulta estremamente complesso, soprattutto considerando che non si tratta di un quadro completo, ma di una rappresentazione limitata al raggiungimento di un obiettivo specifico. Pertanto, la Fig.2 si propone di semplificare questa analisi e fornire una visione più chiara del contesto normativo.

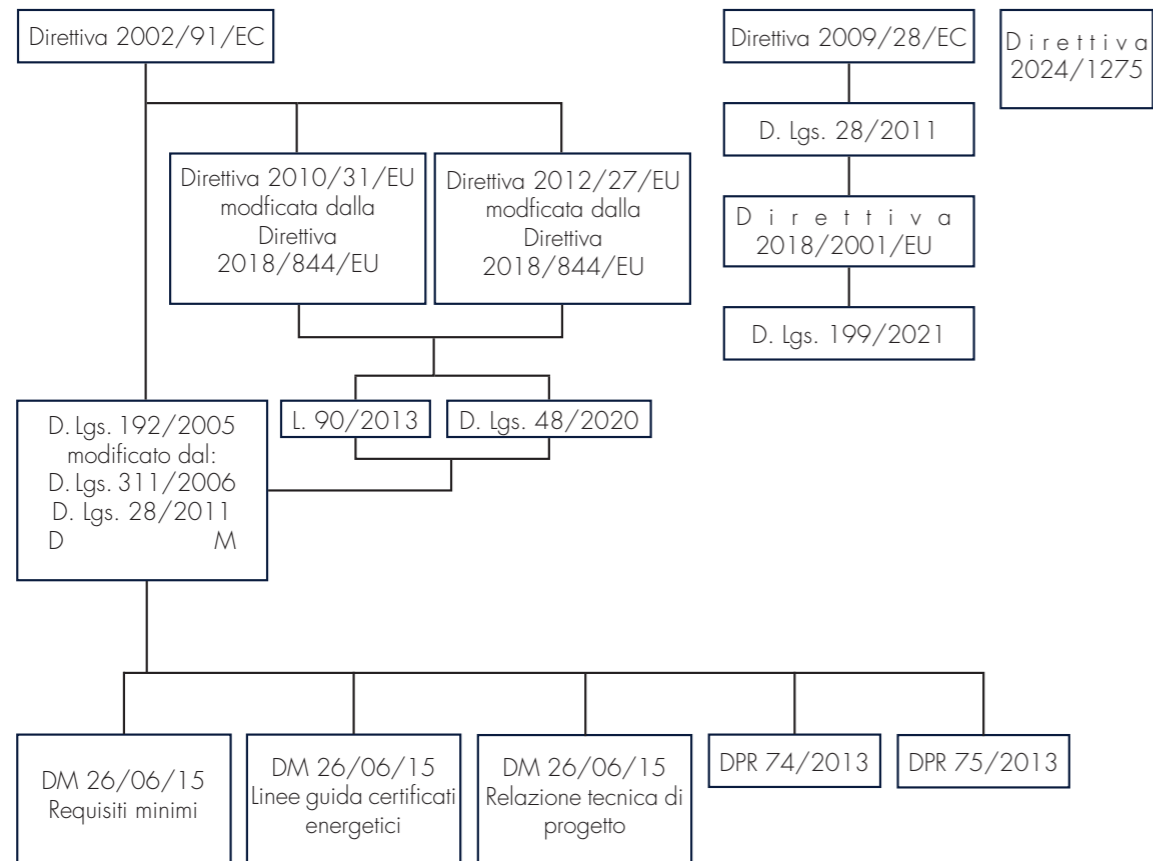


Figura N.2 Quadro legislativo europeo e italiano.

In questo schema non compare la Direttiva 2023/1791 poiché, come detto in precedenza, tale direttiva non è propriamente inerente al settore edile e residenziale.

SCELTA DEL CAMPIONE

Il terzo capitolo analizza statisticamente il patrimonio edilizio di Torino per individuare un edificio tipo rappresentativo, evidenziando le caratteristiche costruttive ed energetiche predominanti. Questo modello permette di restringere l'indagine e supporta gli obiettivi della tesi: verificare l'applicabilità delle normative vigenti e proporre eventuali adeguamenti. L'analisi si concentra su 1000 edifici della Circonscrizione 3, scelti per la loro rilevanza e omogeneità rispetto al contesto urbano torinese. Questa selezione consente di confrontare i requisiti delle normative europee e italiane con le condizioni reali degli edifici, individuando criticità applicative. Il lavoro prevede diverse fasi: una caratterizzazione iniziale del campione per identificare tendenze costruttive, tecniche ed energetiche, seguita da una selezione progressiva, tramite la scelta di filtri coerenti e appositamente selezionati per individuare un caso studio rappresentativo. Questo caso sarà utilizzato per valutare l'efficacia delle normative in termini di riqualificazione energetica, sostenibilità ambientale e fattibilità tecnica.

3.1 CARATTERIZZAZIONE DEL CAMPIONE

La prima parte dell'analisi si è concentrata sulla caratterizzazione del campione, articolata in due fasi principali. Nella prima fase sono stati identificati e selezionati parametri categoriali, tra cui la tipologia edilizia e il decennio di costruzione. Nella seconda fase, invece, si è proceduto con l'impiego di parametri quantitativi per permettere una riduzione progressiva del campione.

Come illustrato nel Graf.4 e nel Graf.5, le tipologie edilizie prevalenti sono risultate essere l'edificio in linea e l'edificio a torre, con una concentrazione significativa di costruzioni risalenti al periodo compreso tra il 1950 e il 1969.

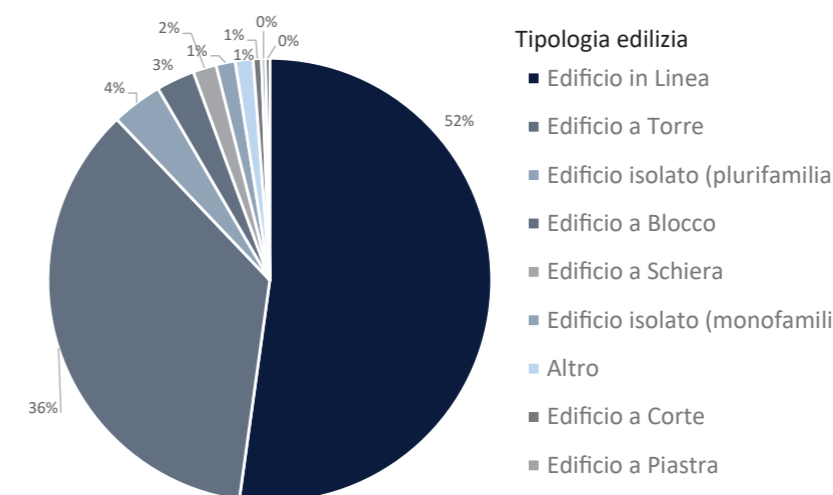


Grafico N.4 Distribuzione del campione per tipologia edilizia.

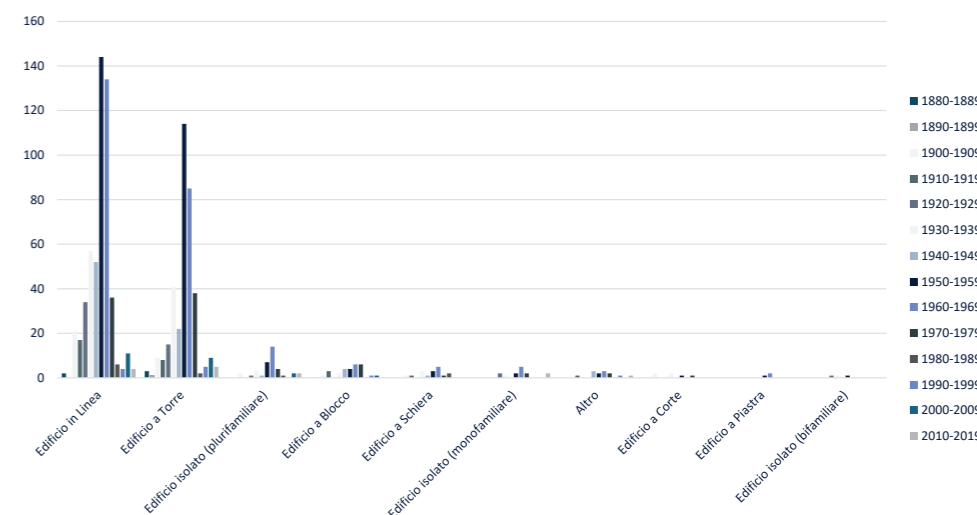


Grafico N.5 Distribuzione del campione per tipologia edilizia.

Nella seconda parte della categorizzazione, come già anticipato, l'attenzione si è spostata dalle variabili categoriali a quelle quantitative, con un particolare approfondimento sull'aspetto impiantistico. Quest'ultimo è stato considerato fondamentale in quanto rappresenta una delle principali variabili che influenzano significativamente il consumo energetico degli edifici. In quest'ottica, si è deciso di analizzare i valori di efficienza energetica per il riscaldamento (η_H), ma poiché voleva dire confrontare più di mille valori, risultando inutile come confronto si è deciso di confrontare i valori medi di efficienza energetica per il riscaldamento (η_H) in relazione alle diverse tipologie edilizie. Si è posta l'attenzione sul sistema di riscaldamento, piuttosto che su altre tipologie impiantistiche, poiché, a Torino, il riscaldamento è il principale responsabile del consumo energetico. Tuttavia, come illustrato nel Graf.6, le differenze tra le varie tipologie edilizie non risultano significative, rendendo impossibile identificare una correlazione chiara tra l'efficienza energetica e la tipologia edilizia. Pertanto, questa variabile non si è rivelata utile per una caratterizzazione più dettagliata del campione.

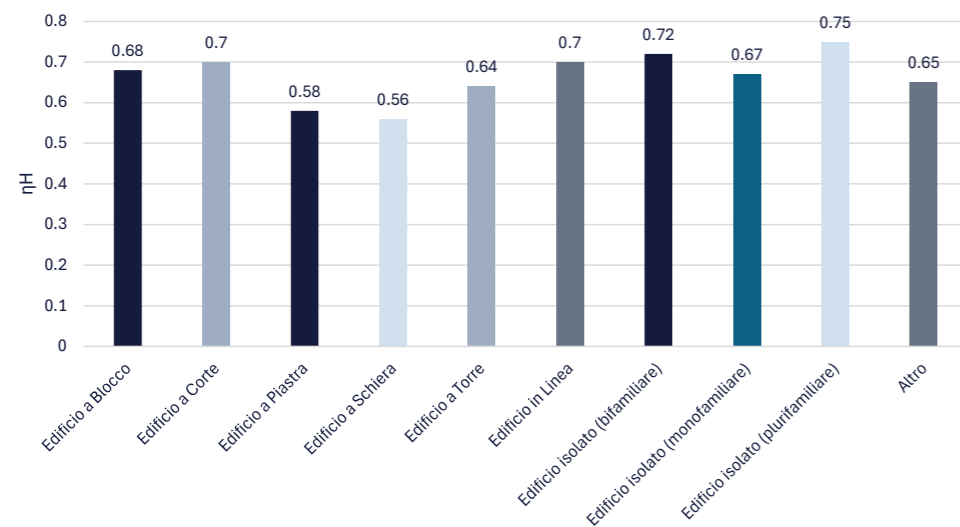


Grafico N.6 Distribuzione del campione per efficienza media del sistema di riscaldamento (η_H).

Proseguendo con la stessa filosofia esposta in precedenza, si è proceduto con un'analisi dettagliata delle fonti energetiche impiegate per il funzionamento degli impianti, distinguendo tra riscaldamento Graf.7 e produzione di acqua calda sanitaria (ACS) Graf.8. I risultati evidenziano che il gas naturale costituisce la principale fonte di energia in entrambi i casi, con una quota pari al 56% per il riscaldamento e al 68% per l'ACS. Nel caso del riscaldamento, un contributo significativo proviene anche dal teleriscaldamento, che copre il 43% del fabbisogno energetico totale. Per quanto riguarda l'ACS, la seconda fonte energetica maggiormente utilizzata è l'elettricità, con una quota più contenuta, pari al 26%.

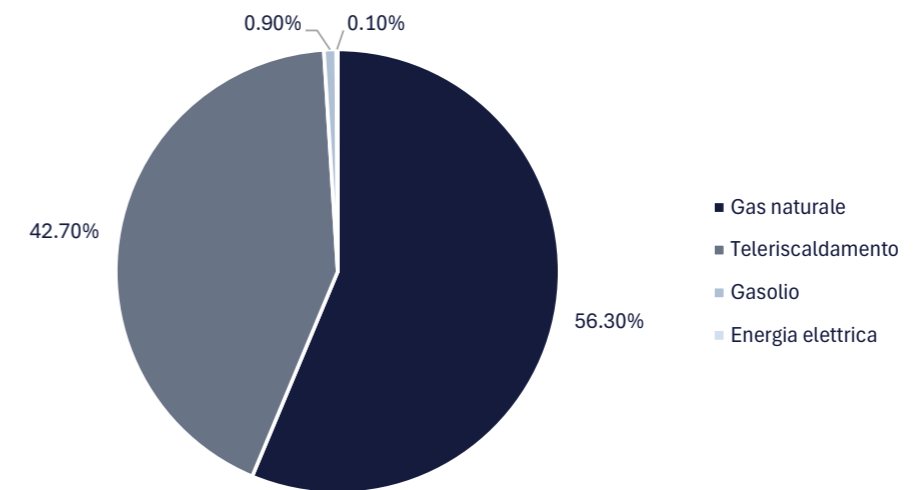


Grafico N.7 Distribuzione delle fonti energetiche per il riscaldamento.

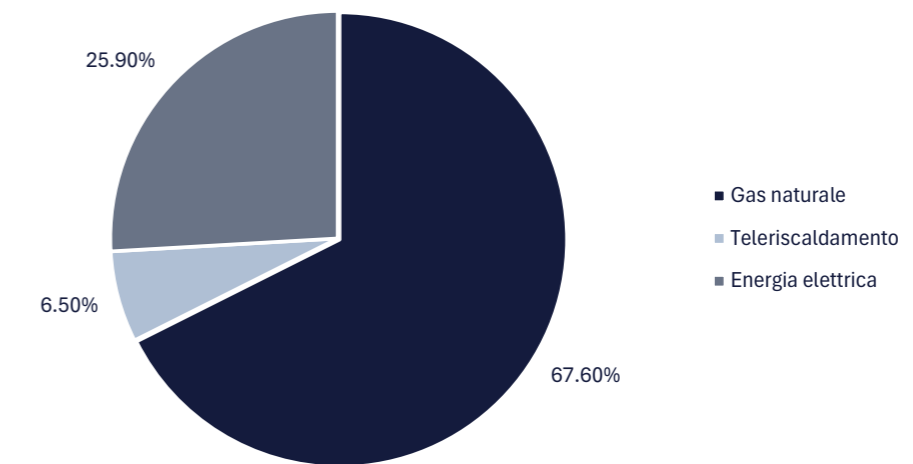


Grafico N.8 Distribuzione delle fonti energetiche per l'ACS.

3.2 SCREMATURA DEL CAMPIONE

Le analisi condotte fino a questo punto hanno avuto l'obiettivo di definire i criteri per le successive fasi di selezione. È stato pertanto deciso di concentrare l'attenzione sugli **edifici in linea costruiti tra il 1950 e il 1969**, non si è tenuto ancora conto della fonte per il riscaldamento e l'ACS in quanto rappresentano un concetto estremamente importante e i risultati precedenti potevano valere per la totalità del campione ma non per la selezione svolta. Proprio per ciò, il primo filtro applicato per la selezione del caso studio ha riguardato l'analisi della fonte energetica predominante per il riscaldamento e l'ACS. Per quanto concerne l'ACS, le percentuali di utilizzo delle fonti energetiche non presentano variazioni significative Graf.10 rispetto alla situazione precedentemente analizzata Graf.8. Per il riscaldamento Graf.9, invece, pur mantenendo un ruolo di rilievo il gas naturale e il teleriscaldamento, quest'ultimo si conferma

come la fonte prevalente, con una quota pari al 52%.

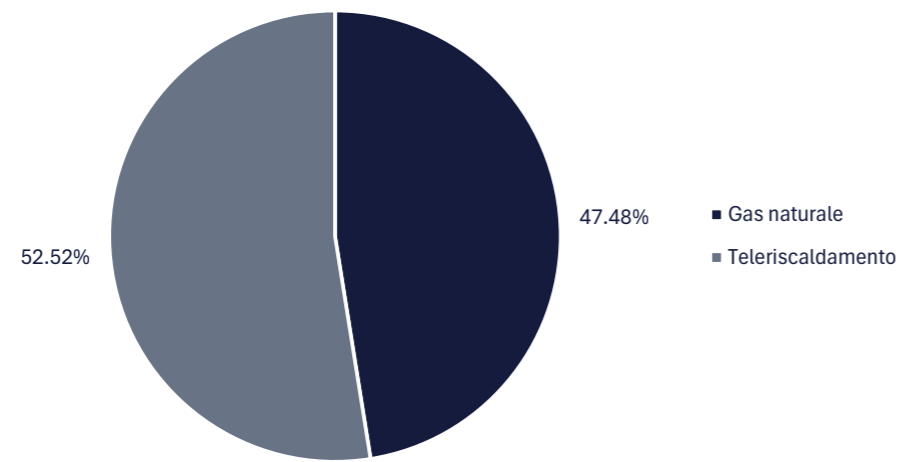


Grafico N.9 Distribuzione delle fonti energetiche per il riscaldamento.

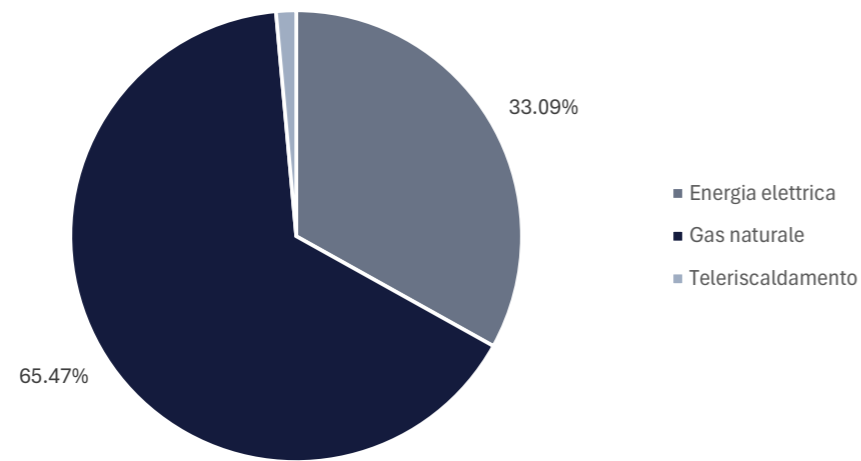


Grafico N.10 Distribuzione delle fonti energetiche per l'ACS.

Il successivo criterio di selezione ha riguardato l'analisi e la valutazione della quantità di energia primaria non rinnovabile (EP_{nren}) associata alle fonti energetiche precedentemente individuate per la copertura dei fabbisogni di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria (ACS). In particolare, sono stati analizzati il gas naturale e il teleriscaldamento, rispettivamente per gli edifici che adottano tali sistemi energetici. L'energia elettrica, invece, è stata esclusa dall'analisi poiché una parte significativa della sua produzione è riconducibile a fonti rinnovabili quali l'idroelettrico, il fotovoltaico, l'eolico e il geotermico. Questo esclude, di conseguenza, una quota importante di energia primaria non rinnovabile dal conteggio.

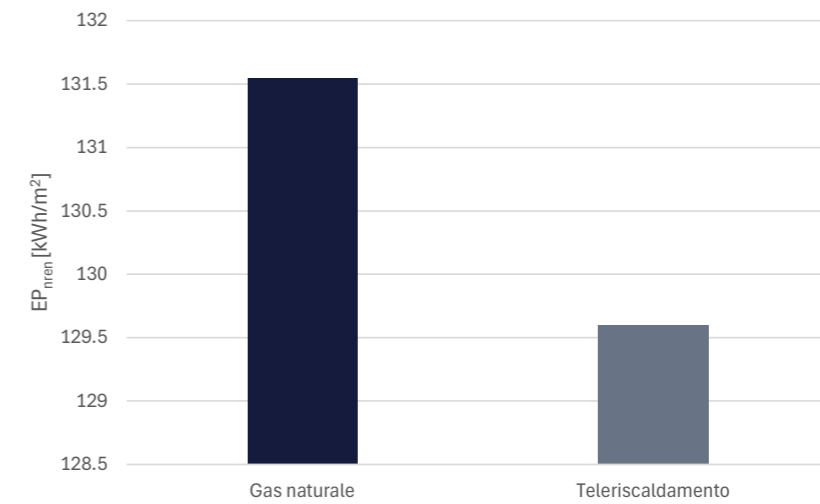


Grafico N.11 EP_{nren} per riscaldamento.

Dall'analisi dei dati relativi al riscaldamento Graf. 11, emerge che il valore di energia primaria non rinnovabile associato agli edifici alimentati a gas naturale è superiore rispetto a quello degli edifici che utilizzano il teleriscaldamento. Questo risultato era prevedibile, considerando che, come discusso nel primo capitolo, il gas naturale è una fonte energetica completamente non rinnovabile. Sebbene il numero di edifici che adottano il teleriscaldamento sia maggiore rispetto a quelli alimentati a gas naturale Graf.9, si è scelto di utilizzare il gas naturale come criterio di selezione per il riscaldamento, poiché gli impatti ambientali associati al suo utilizzo risultano più significativi. Un criterio analogo è stato applicato per la domanda di energia primaria non rinnovabile destinata all'ACS Graf. 12. Di conseguenza, sono stati selezionati i dati delle unità immobiliari alimentate a gas naturale per l'ACS.

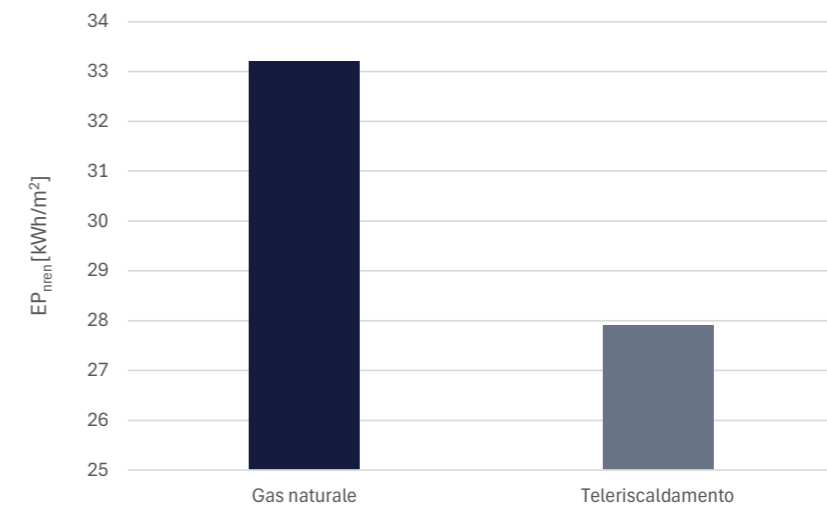


Grafico N.12 EP_{nren} per ACS.

Giunti a questo punto dell'indagine il campione filtrato comprende i dati di unità immobiliari:

- Appartenenti alla di tipologia edilizia in linea.
- Costruiti nell'intervallo di tempo 1950-1969.
- Che utilizzano il gas naturale come fonte energetica sia per il riscaldamento che per l'acqua calda sanitaria.

Successivamente l'analisi si è concentrata sulle trasmittanze termiche opache e trasparenti. Per entrambe, è stato adottato il metodo del box-plot⁵², con l'obiettivo di individuare il 50% dei valori più vicini alla media. La selezione, risultante per le trasmittanze termiche opache corrisponde all'intervallo rappresentato dal rettangolo (o "box") nel grafico riportato di seguito Graf. 13

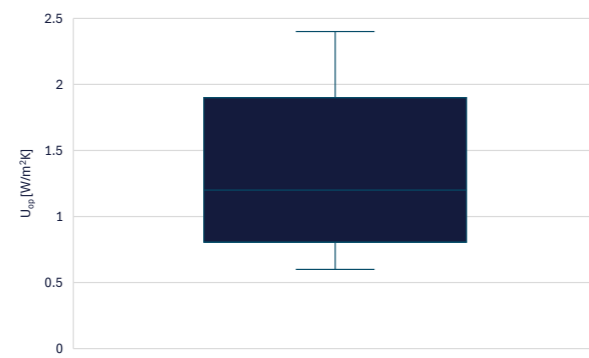


Grafico N.13 Box plot valori di trasmittanza termica opaca.

Dopo aver filtrato il campione selezionando esclusivamente gli edifici con valori medi di trasmittanza termica opaca (U_{op}) compresi nell'intervallo individuato dal box-plot, è stata applicata la medesima analisi ai valori di trasmittanza termica trasparente (U_{tr}), come anticipato in precedenza Graf. 14.

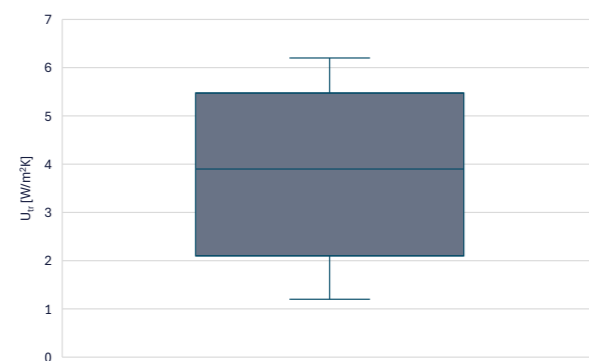


Grafico N.14 Box plot valori di trasmittanza termica trasparente.

⁵².In statistica il diagramma a scatola e baffi è una rappresentazione grafica utilizzata per descrivere la distribuzione di un campione tramite semplici indici di dispersione e di posizione.

Infine, l'analisi conclusiva si è concentrata sulla valutazione dell'efficienza media del sistema di riscaldamento (η_H). A tal fine, è stato applicato, nuovamente, il metodo dei box plot, che ha permesso di selezionare gli edifici con valori di efficienza compresi tra il primo e il terzo quartile, come mostrato nel Graf. 15.

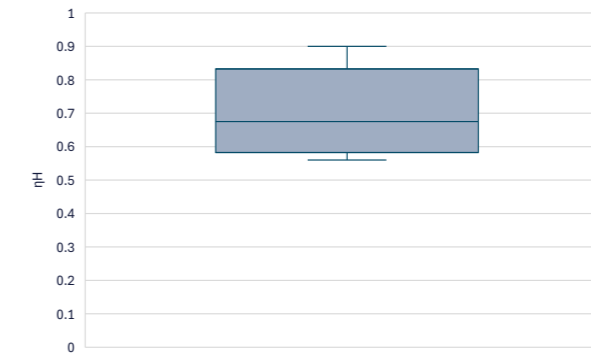


Grafico 15. Box plot. valori di efficienza impianto di riscaldamento.

3.3 SELEZIONE FINALE

Infine, è stata analizzata la distribuzione delle unità immobiliari rimanenti nei diversi CAP della terza circoscrizione. È emerso un numero maggiore di unità nel **CAP 10141**, corrispondente al quartiere di **Borgo San Paolo**, scelto in quanto il più popoloso rispetto agli altri. Da questo CAP è stato selezionato, tra i quattro rimanenti, l'edificio situato in **Via Isonzo 87**, caratterizzato da destinazione d'uso esclusivamente residenziale, sette piani fuori terra, un piano interrato e due facciate orientate rispettivamente a nord-est e a sud-ovest.

Successivamente è riportato uno schema che riassume, semplificando, l'intera analisi svolta finora.



TERZO CAPITOLO

Scelta del campione

3.4 INQUADRAMENTO FOTOGRAFICO



Figura N.3 vista a volo d'uccello 1.



Figura N.4 vista a volo d'uccello 2.



Figura N.5 prospetto sud-ovest.



Figura N.6 basamento sud-ovest.



Figura N.7 sesto piano.



Figura N.8 piano tipo.



Figura N.9 piano rialzato.

ANALISI ENERGETICA

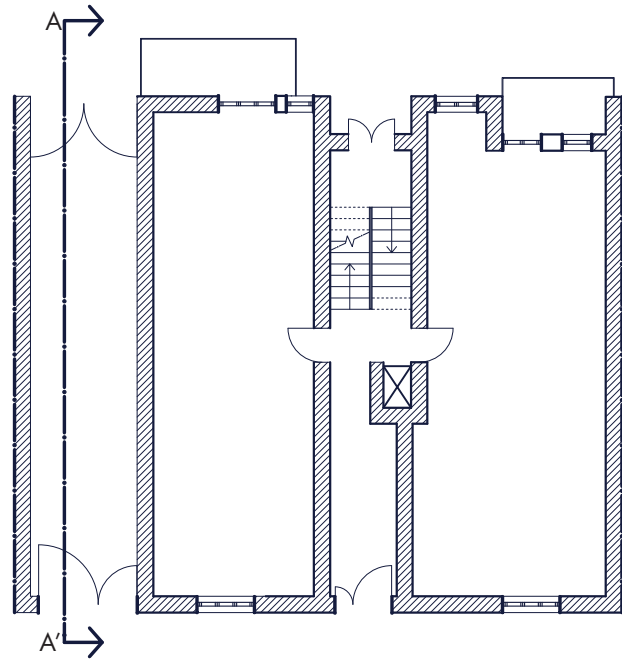
Il quarto capitolo è il fulcro operativo della tesi, con un'analisi dello stato attuale e di otto opzioni progettuali per la riqualificazione energetica dell'edificio tipo individuato nel capitolo precedente.

L'obiettivo è determinare l'opzione progettuale più efficiente sia da un punto di vista energetico che economico creando così una guida al retrofit.

L'analisi parte dallo studio delle caratteristiche termiche e delle prestazioni energetiche, seguito dalla presentazione di otto soluzioni progettuali, che includono tecnologie consolidate, sistemi innovativi e combinazioni di materiali e tecniche costruttive per individuare strategie efficaci. Un'analisi economica accompagna lo studio tecnico, valutando costi e risparmi energetici, pur non esaustiva, offre una guida utile per professionisti e non esperti interessati alla riqualificazione energetica. Il capitolo sintetizza quindi aspetti tecnici ed economici, confrontando le soluzioni per identificare l'opzione più vantaggiosa e le eventuali difficoltà normative o pratiche applicabili a contesti più ampi.

4.1 INQUADRAMENTO PROGETTUALE

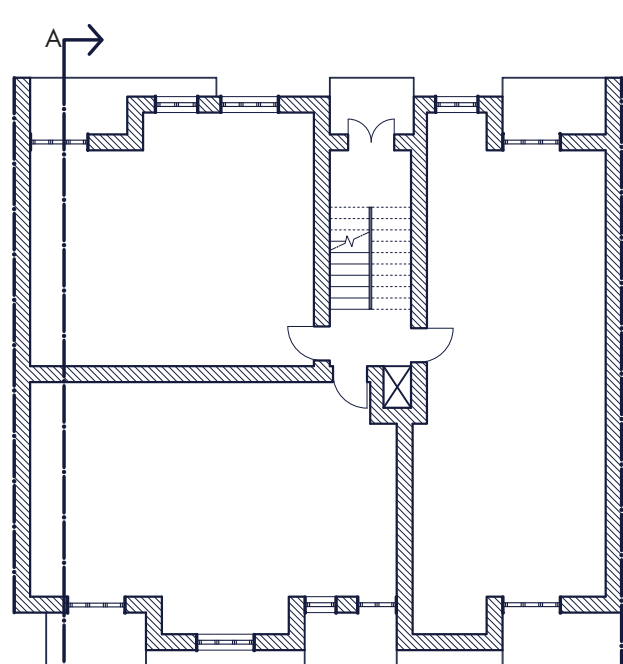




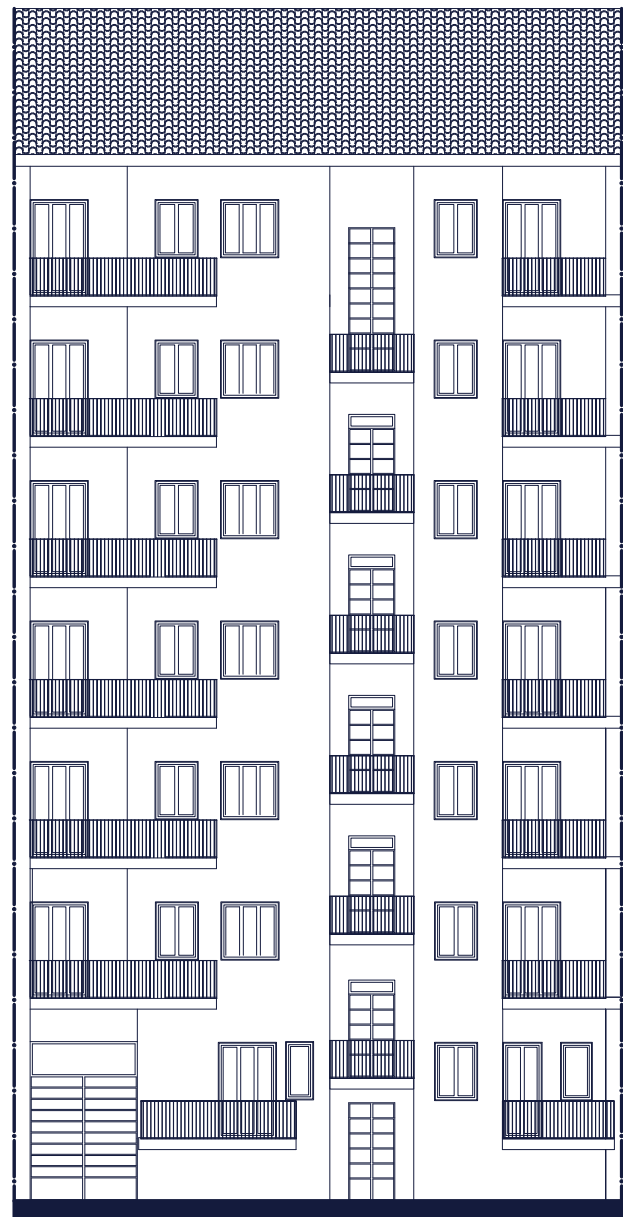
Planimetria piano rialzato, scala 1:200.



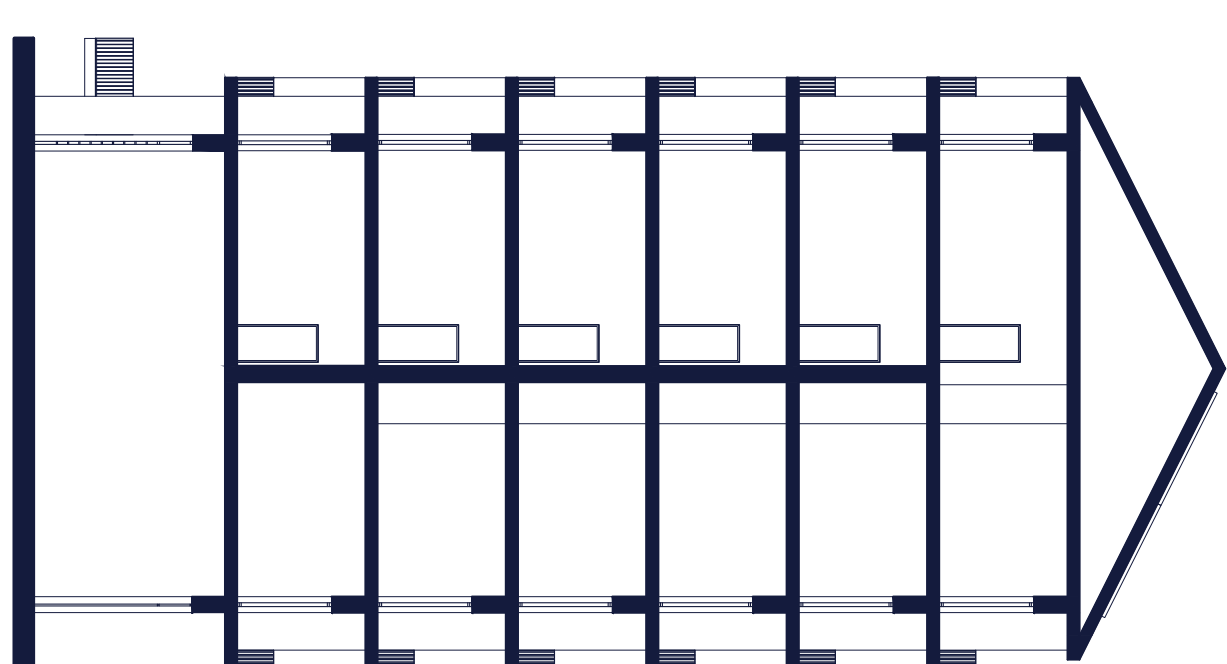
Prospetto sud-ovest, scala 1:200.



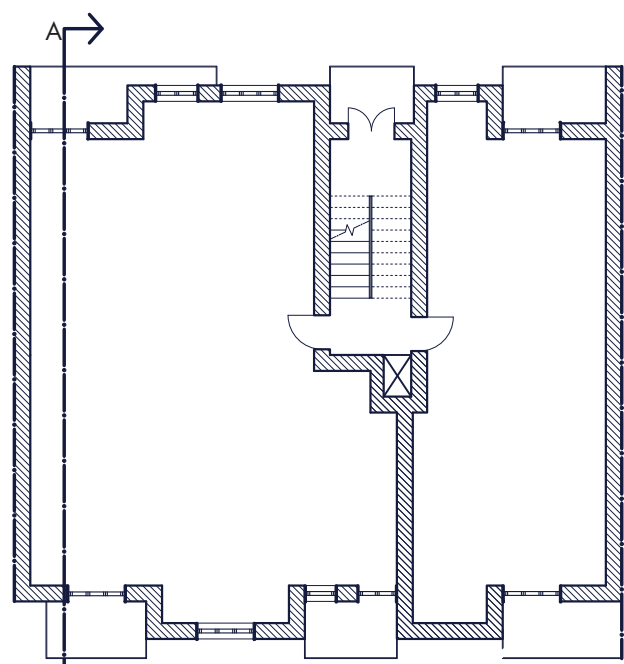
Planimetria piano tipo, scala 1:200.



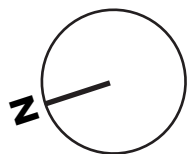
Prospetto nord-est, scala 1:200.



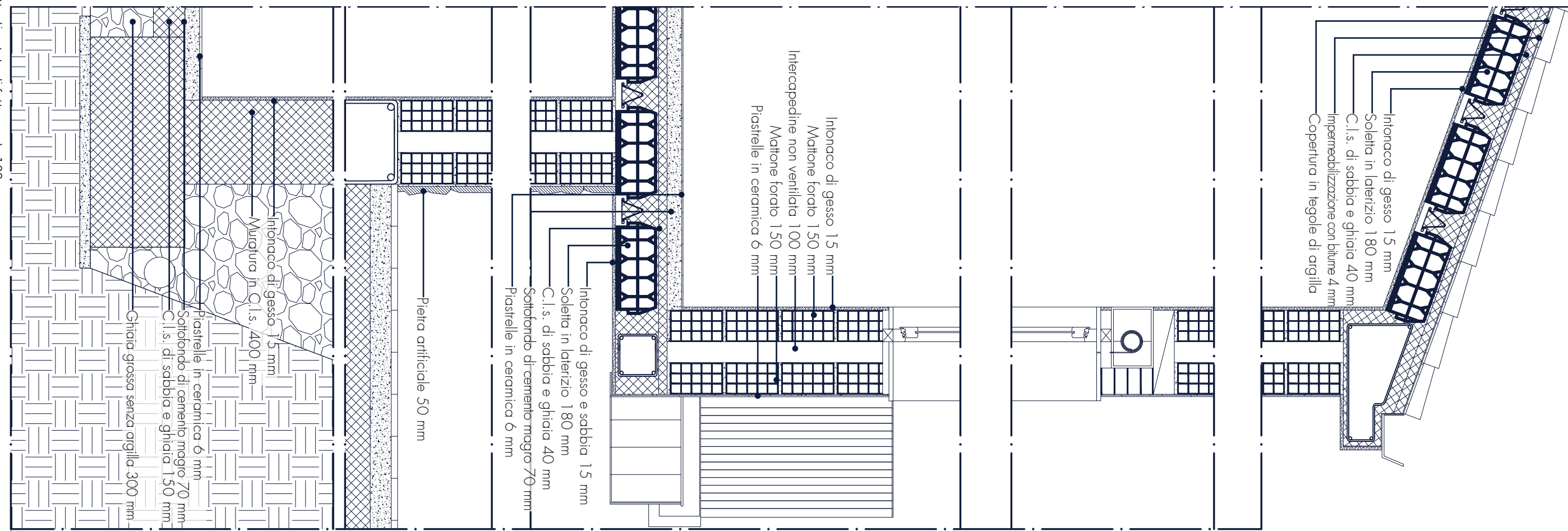
Sezione AA', scala 1:200.



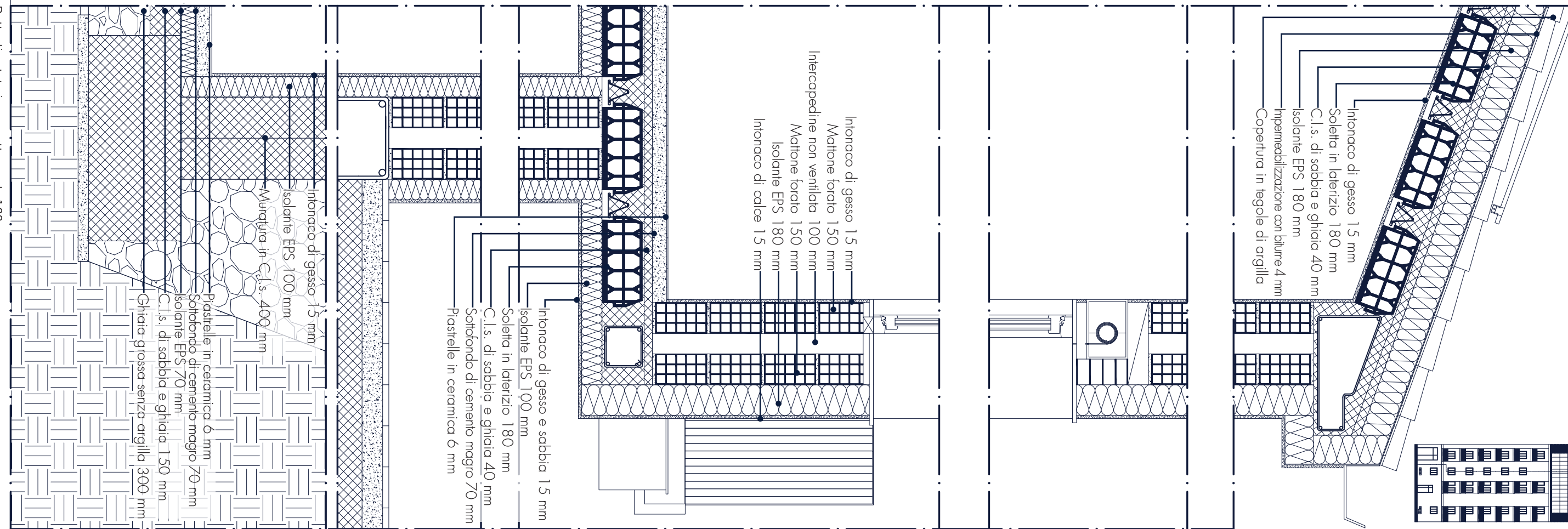
Planimetria sesto piano, scala 1:200.



Dettaglio stato di fatto, scala 1:20.



Dettaglio stato in progetto, scala 1:20.



4.2 FASE PRELIMINARE

Dopo aver introdotto il caso studio, si passa all'analisi energetica dettagliata, un processo che rappresenta una fase cruciale per comprendere le caratteristiche energetiche dell'edificio e identificare eventuali interventi migliorativi. Per questa analisi è stato scelto il software Edilclima, uno strumento specializzato nella valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici. Il software richiede una serie di dati fondamentali per impostare correttamente il modello energetico, consentendo un'analisi precisa e aderente alle normative vigenti.

Il primo passo consiste nell'identificazione della categoria edilizia dell'edificio, un'informazione necessaria per inquadrare la tipologia dell'immobile e il suo utilizzo. Tale classificazione segue i criteri stabiliti dal DPR 412/93. Nel nostro caso, l'edificio oggetto di analisi rientra nella categoria E.1(1), che comprende gli edifici residenziali utilizzati come abitazione principale. Un altro elemento essenziale è l'indicazione dell'indirizzo completo dell'edificio. Questo dato non è solo necessario per identificare la posizione geografica, ma anche per permettere al software di accedere al database climatico specifico della zona. I dati climatici costituiscono una componente imprescindibile dell'analisi energetica, poiché influenzano in modo significativo il fabbisogno energetico dell'edificio.

Per i dati climatici si è fatto riferimento alla norma UNI 10349:2016, adottata per garantire un approccio aggiornato e conforme agli standard più recenti. La norma fornisce parametri climatici utili per il calcolo delle prestazioni energetiche. Tra i dati rilevanti spiccano:

- Gradi giorno DPR 412/93: 2617 gg
- Temperatura esterna di riferimento: -8°C
- Zona climatica: E
- Durata periodo riscaldamento convenzionale: 183 giorni
- Periodo di riscaldamento convenzionale: dal 15 ottobre al 15 aprile
- Irradianza solare massima sul piano orizzontale: 277.8 W/m²

Successivamente, è necessario selezionare il quadro normativo di riferimento per le verifiche di legge. In questo caso, si è scelto il D.M. 26/06/2015 Requisiti Minimi, che rappresenta il principale decreto per la regolamentazione delle prestazioni energetiche degli edifici. Per quanto riguarda l'integrazione delle fonti energetiche rinnovabili, le verifiche sono state condotte secondo il D.lgs. 03/03/2011 n°28, come indicato dal decreto ministeriale stesso.

Questa fase preliminare consente di impostare un'analisi energetica dettagliata e di stabilire un quadro completo delle condizioni dell'edificio. Tali informazioni non solo permettono di valutare l'efficienza energetica attuale, ma offrono anche una solida base per pianificare eventuali interventi migliorativi.

4.3 STATO DI FATTO

Il passo successivo, dopo aver definito la metodologia di calcolo e i parametri geografici dell'edificio, è consistito nell'identificazione dei componenti dell'involucro edilizio. Questi includono gli elementi opachi (verticali e orizzontali) e i componenti trasparenti. Poiché non è stato possibile determinare tali caratteristiche attraverso un sopralluogo diretto, si è fatto ricorso al web tool TABULA⁵³ e alla libreria proposta da Edilclima per la loro definizione.

4.3.1 Componenti involucro opaco

Di seguito sono riportati i componenti opachi considerati, insieme alle relative proprietà fisiche. È importante sottolineare che il software Edilclima consente, durante la fase di configurazione di tali componenti, di specificare l'ambiente con cui essi confinano (riscaldato, non riscaldato, esterno ecc.). Questa funzionalità permette di determinare automaticamente le dispersioni termiche e di eseguire i calcoli in modo più efficiente e accurato.

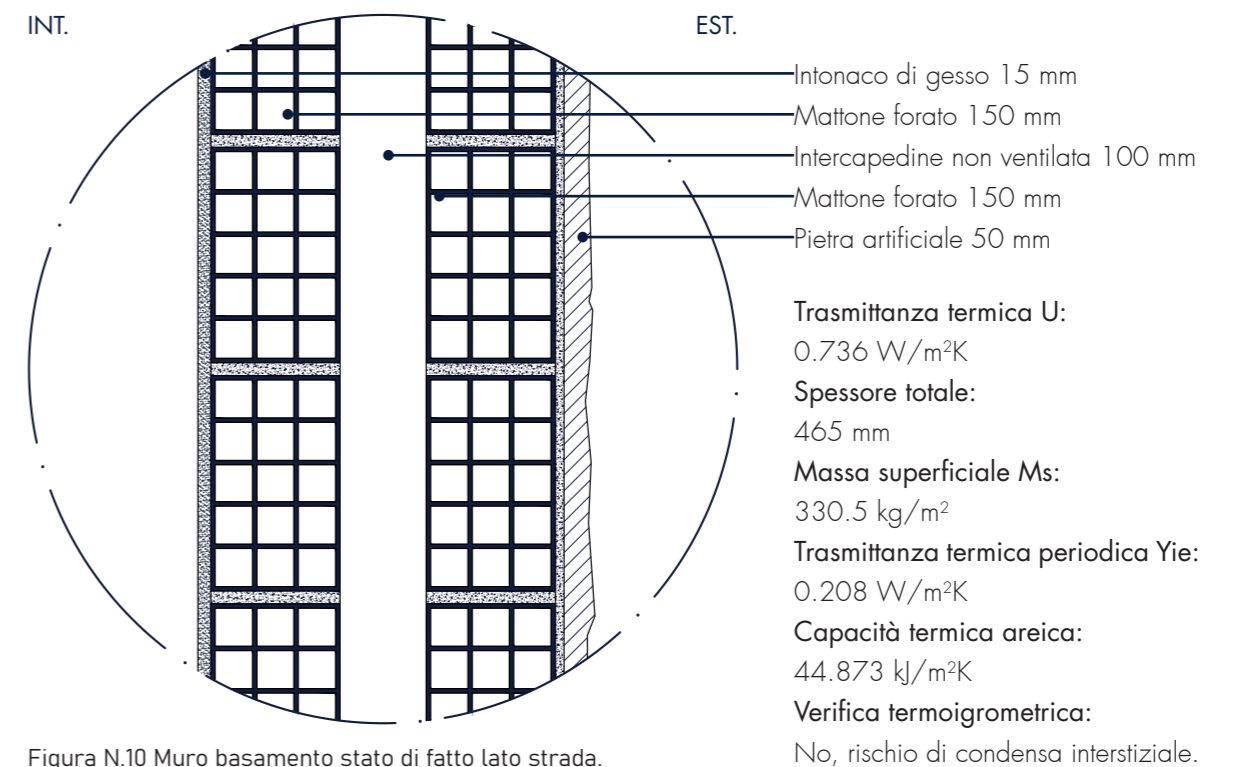


Figura N.10 Muro basamento stato di fatto lato strada.

53. <https://webtool.building-typology.eu/#bm>

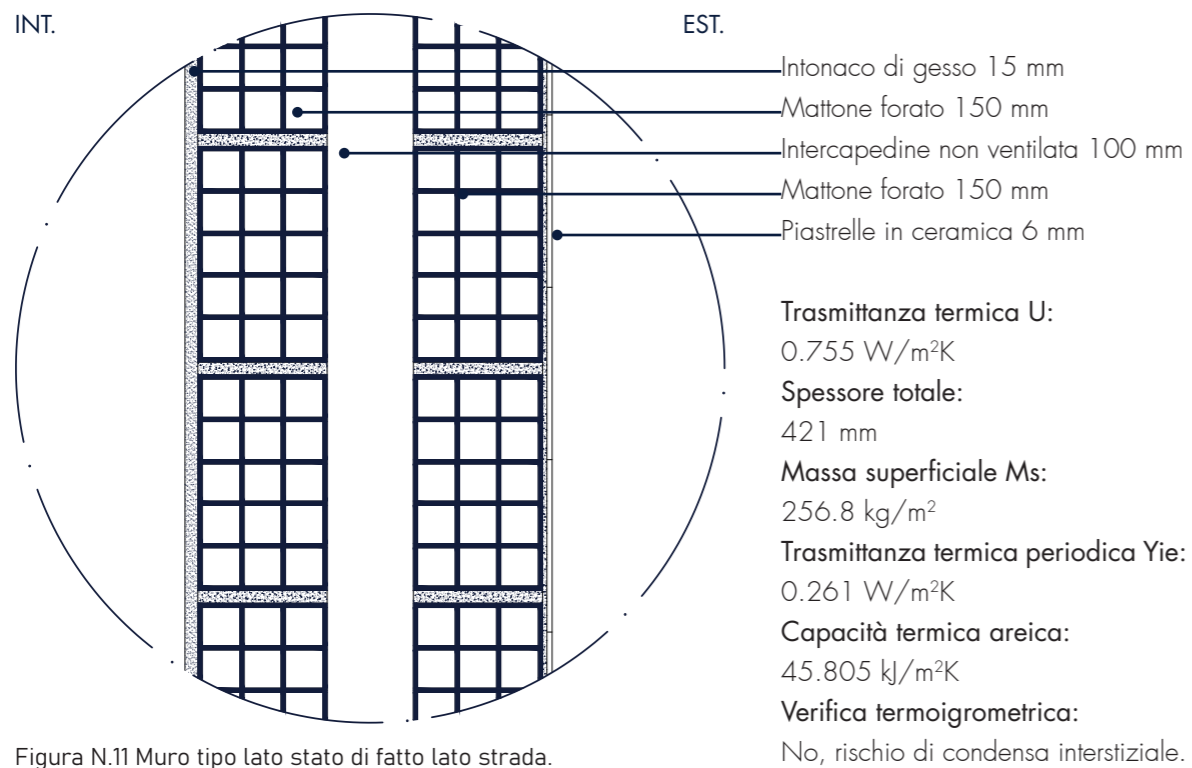


Figura N.11 Muro tipo lato stato di fatto lato strada.

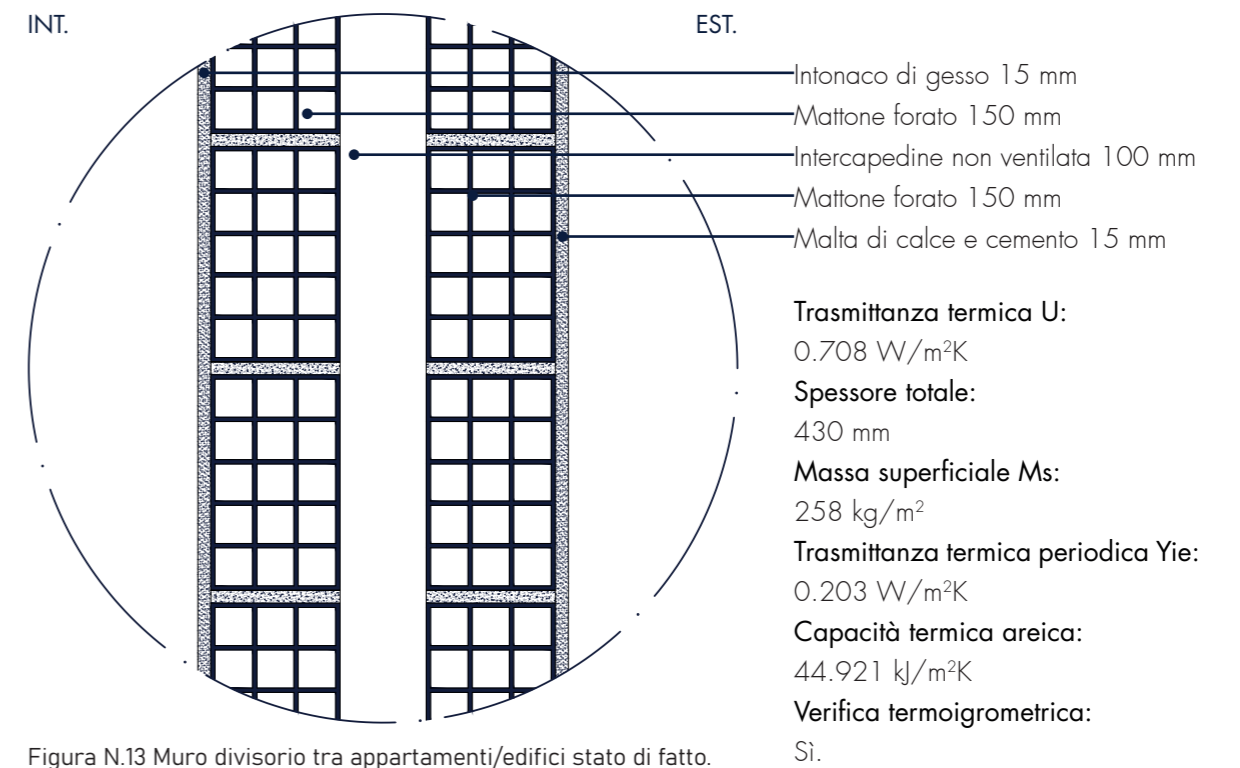


Figura N.13 Muro divisorio tra appartamenti/edifici stato di fatto.

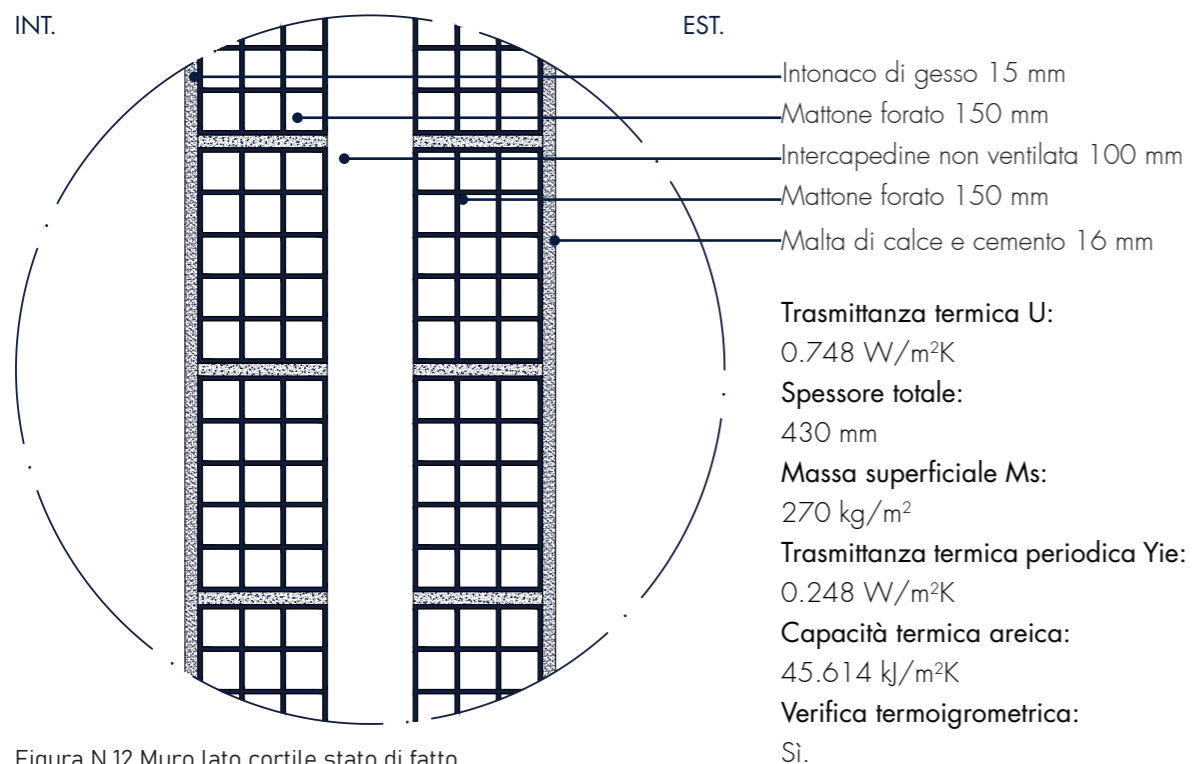


Figura N.12 Muro lato cortile stato di fatto.

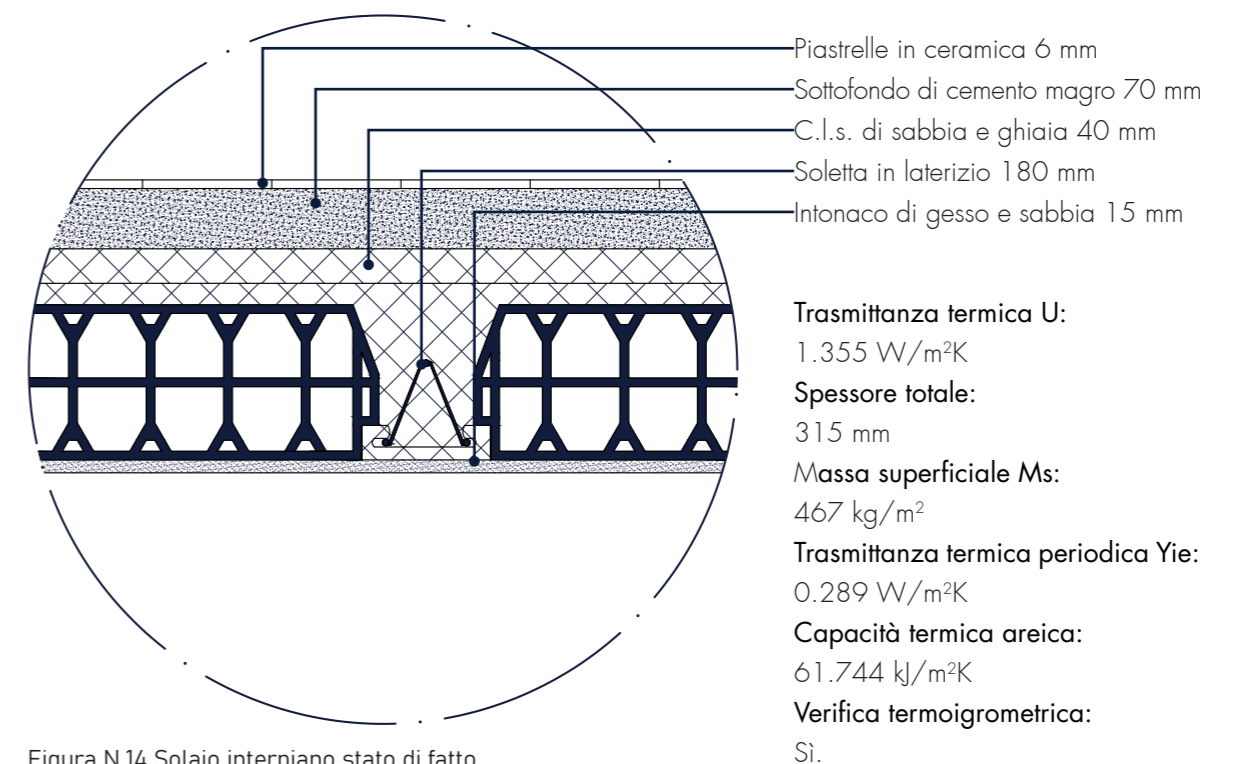


Figura N.14 Solaio interpiano stato di fatto.

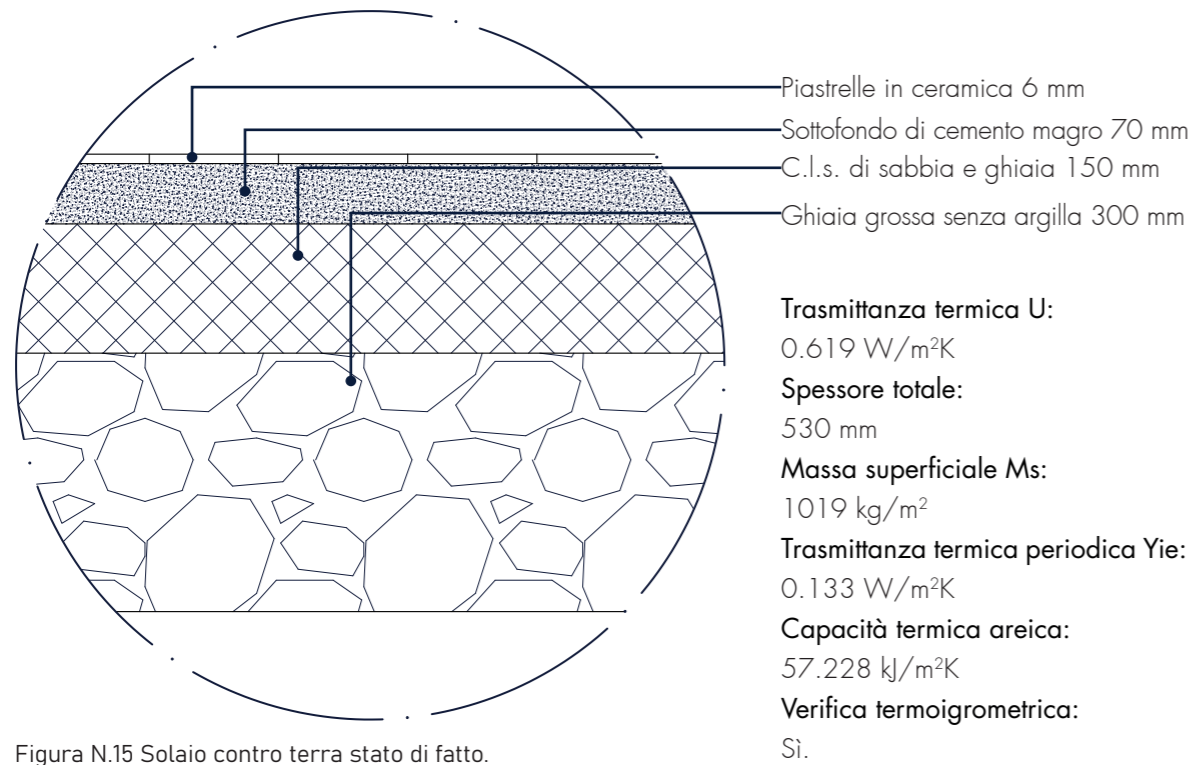
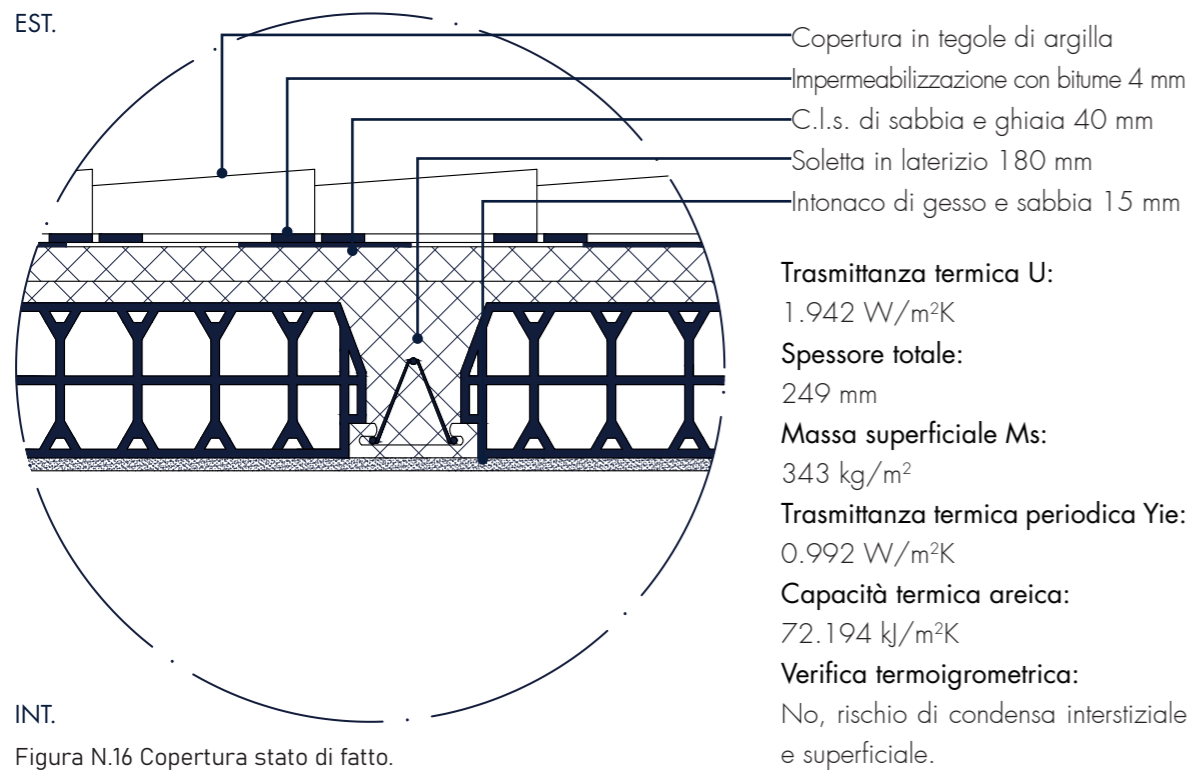


Figura N.15 Solaio contro terra stato di fatto.



INT.
Figura N.16 Copertura stato di fatto.

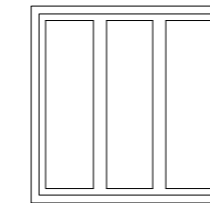
4.3.2 Componenti involucro trasparenti

Una volta definiti i componenti opachi si è definito quelli trasparenti; quindi, di seguito si riporta un abaco dei serramenti con le corrispettive proprietà fisiche.

Caratteristiche serramento:

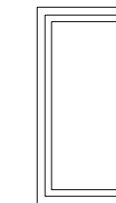
- Telaio in legno
- Trasmittanza termica telaio $U_f = 1.60 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Trasmittanza termica vetro $U_g = 4.875 \text{ W/m}^2\text{K}$

Finestra 150*150



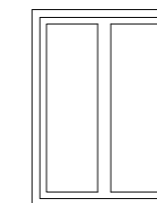
Trasmittanza termica $U_w = 3.612 \text{ W/m}^2\text{K}$
Ggl,n+sh max: 0.098

Finestra 80*150



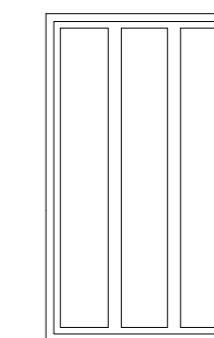
Trasmittanza termica $U_w = 3.626 \text{ W/m}^2\text{K}$
Ggl,n+sh max: 0.098

Finestra 110*150



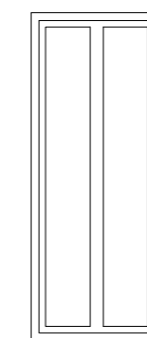
Trasmittanza termica $U_w = 3.582 \text{ W/m}^2\text{K}$
Ggl,n+sh max: 0.098

Finestra 150*250



Trasmittanza termica $U_w = 3.751 \text{ W/m}^2\text{K}$
Ggl,n+sh max: 0.098

Finestra 100*250



Trasmittanza termica $U_w = 3.631 \text{ W/m}^2\text{K}$
Ggl,n+sh max: 0.098

4.3.3 Zone termiche

Il passo successivo nel processo di progettazione ha riguardato la suddivisione delle zone termiche in due categorie principali: zone calde e zone fredde. Questa distinzione, essenziale per ottimizzare la gestione termica ed energetica dell'edificio, consente di migliorare l'efficienza complessiva dell'involucro edilizio e sarà mantenuta anche nelle fasi successive del progetto, contribuendo alla riduzione dei consumi e al miglioramento del comfort abitativo.

- **Zone calde:**

Queste aree comprendono gli ambienti principali dell'edificio, ossia gli appartamenti, che rappresentano le zone destinate alla vita quotidiana. Data la loro funzione, richiedono un controllo termico adeguato per garantire condizioni di comfort ottimali in tutte le stagioni. A tal fine, verranno implementati sistemi di riscaldamento e raffrescamento ad alta efficienza, studiati per assicurare un bilanciamento termico ottimale e ridurre al minimo gli sprechi energetici. Particolare attenzione sarà dedicata all'isolamento e alla gestione della ventilazione, così da migliorare la qualità dell'aria interna e ridurre la dispersione di calore.

- **Zone fredde:**

Questi spazi, considerati "secondari", comprendono il vano scala, le cantine e il sottotetto. Si tratta di ambienti che non saranno dotati di sistemi di riscaldamento o raffrescamento, poiché non destinati a un utilizzo continuo o abitativo.

Le planimetrie e la sezione riportate di seguito illustrano con chiarezza la suddivisione delle zone termiche all'interno dell'intero edificio, evidenziando come questa distinzione sia stata progettata per rispondere alle specifiche esigenze funzionali ed energetiche. La chiara separazione tra zone calde e fredde non solo garantisce un migliore controllo dei flussi termici, ma contribuisce anche all'ottimizzazione dei costi di gestione e alla sostenibilità complessiva dell'intervento edilizio.

■ Zone termiche calde

■ Zone termiche calde

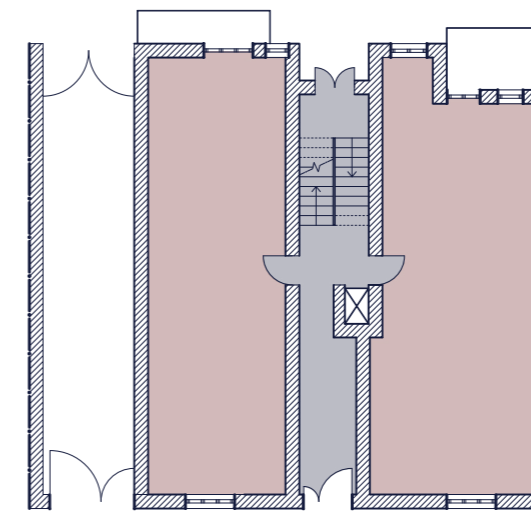


Figura N.17 Zone termiche pianta piano rialzato, fuori scala.

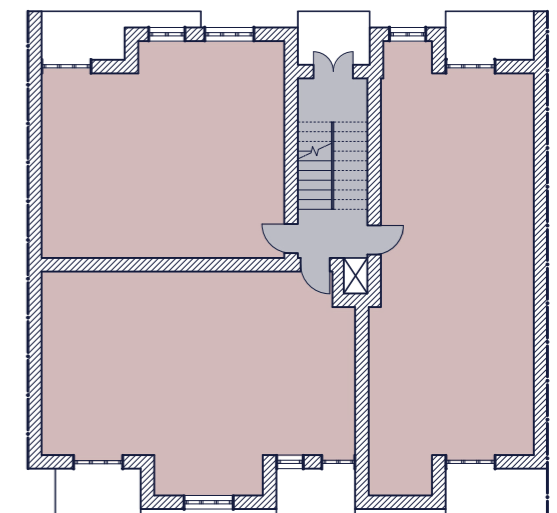


Figura N.18 Zone termiche pianta piano tipo, fuori scala.

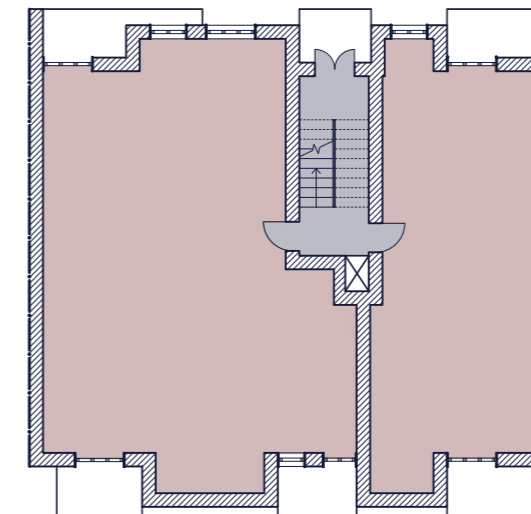


Figura N.19 Zone termiche pianta sesto piano, fuori scala.

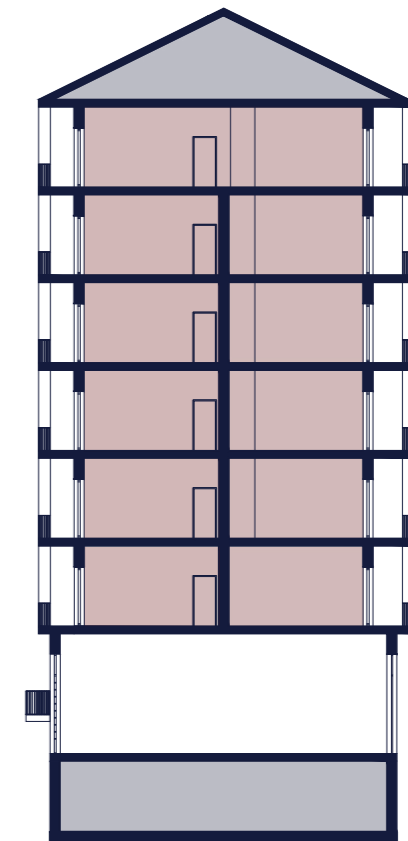
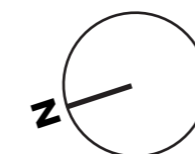


Figura N.20 Zone termiche sezione, fuori scala.



4.3.4 Impianti

Una volta definite tutte le caratteristiche dell'edificio, il software procede con il calcolo automatico degli ombreggiamenti e dei principali valori prestazionali dell'involucro, permettendo di ottenere una prima valutazione dell'efficienza energetica complessiva. Successivamente, l'analisi si concentra sugli aspetti impiantistici. Dall'indagine statistica condotta, è emerso che l'edificio utilizza il gas naturale come fonte energetica sia per il riscaldamento, che per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS). Questa configurazione è stata smentita attraverso le interviste con alcuni condomini, i quali hanno chiarito che il sistema di riscaldamento è di tipo centralizzato con gas naturale come fonte, mentre la produzione di ACS avviene in maniera autonoma all'interno di ciascuna unità abitativa tramite dei bollitori elettrici ad accumulo. Questa differenza di informazioni tra il database dell'analisi statistica e la realtà dei fatti non sminuisce in nessun modo il lavoro svolto per la selezione del caso studio che ha seguito un ragionamento logico e coerente, ma anzi, questa modific, tramite le interviste rende ancora più concreto il lavoro di tesi. Non essendo disponibili dati tecnici dettagliati relativi ai due impianti, le informazioni richieste dal software di simulazione sono state inserite facendo riferimento a ipotesi basate sulle configurazioni più comuni per edifici con caratteristiche simili.

Di seguito, vengono riportate le informazioni principali relative ai sistemi impiantistici esistenti, con particolare attenzione ai fattori che influenzano il consumo energetico.

Riscaldamento:

- Tipologia impianto: impianto centralizzato
- Regime di funzionamento: Intermittente (ore di funzionamento dell'impianto: 14⁵⁴)
- Terminale di erogazione: Radiatori su parete interna
- Distribuzione utenza: Metodo semplificato
- Temperatura di mandata: 70°C
- Generatore: Caldaia tradizione, generatore atmosferico di tipo B, classificato 1 stella, successivo al 1996, con potenza utile nominale (P_n): 68.84 kW e vettore energetico metano.

ACS

- Generatore: Bollitore elettrico ad accumulo
- Potenza utile nominale (P_n): 0.98-1.13 kW

⁵⁴Valore massimo di ore di accensione del sistema di riscaldamento per il comune di Torino.

4.3.5 Verifiche Decreto Ministeriale 26.06.2015

A questo punto, considerando che l'edificio non dispone né di un impianto di raffrescamento, né di un sistema di ventilazione meccanica controllata, né di fonti rinnovabili, si procede all'avvio del calcolo per determinare i valori richiesti dal D.M. 26/06/2015 e dal D.Lgs. 03/03/2011.

Parametri	Valori ammissibile	Valore calcolato
H _T [W/ m ² K]	0.75	1.08
A _{sol,est} / A _{sup utile} [-]	0.03	0.017
EP _{H,nd} [kWh/m ²]	19.22	65.23
η _H [-]	73.3%	59.90%
EP _H [kWh/m ²]	23.6	97.96
η _W [-]	28.90%	28.70%
EP _W [kWh/m ²]	68.93	69.4
EP _V [kWh/m ²]	/	/
EP _{C,nd} [kWh/m ²]	35.95	17.95
η _C [-]	0.00%	0.00%
EP _C [kWh/m ²]	/	/
EP _{gl} = EP _H + EP _W + EP _V + EP _C + EP _L + EP _T [kWh/m ²]	92.53	167.44

■ Valori verificati
 ■ Valori non verificati

Tabella N.2 Verifiche stato di fatto secondo D.M. 26/06/2015.

	Valori ammissibile	Valore calcolato
Copertura totale da fonte rinnovabile	50%	10.16%
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	50%	19.42%
Verifica potenza elettrica installata (kW)	0	/

Tabella N.3 Verifiche stato di fatto secondo D.Lgs. 03/03/2011.

Come visto nel secondo capitolo il rispetto dei criteri imposti dal D.M 26/06/2015 non prevede solo la verifica dei valori riportati alla lettera a del punto 2 dell'articolo 3.3, ma anche di rispettare i requisiti richiesti nel punto 4 dell'articolo 3.3 e nel punto 5 dello stesso articolo.

In particolar modo le verifiche richieste dal punto 4 sono riportate nella Tab.4 e nella Tab.5.

	Valore limite [kg/m ²]	Valore di progetto [kg/m ²]
Muro lato cortile	230	270

Tabella N.4 Tabella riassuntiva verifiche massa superficiale stato di fatto.

	Valore limite [W/m ² K]	Valore di progetto [W/m ² K]
Solaio contro terra	0.18	0.133
Solaio interpiano	0.18	0.289
Copertura	0.18	0.992

Tabella N.5 Tabella riassuntiva verifiche trasmittanza termica periodica stato di fatto.

Nella tabella successiva sono riportate le verifiche relative al punto 5.

	Valore limite [W/m ² K]	Valore di progetto [W/m ² K]
Muro verso cortile	0.8	0.748
Muro divisorio tra appartamenti	0.8	0.748
Solaio verso cantina	0.8	1.355
Solaio verso sottotetto	0.8	1.355

Tabella N.6 Tabella riassuntiva verifiche trasmittanza termica stato di fatto.

Come evidenziano la Tab. 2 e la Tab. 3, la quasi totalità dei parametri richiesti dall'Articolo 3, sottoparagrafo 3.3, punto 2 del D.M. 26/06/2015 non risulta rispettata. Tuttavia, questo risultato era ampiamente prevedibile, considerando che l'edificio in esame è stato realizzato tra gli anni '50 e '70, un periodo in cui le normative sull'efficienza energetica erano inesistenti.

Analogamente, le verifiche previste ai punti 4 e 5 dello stesso articolo del decreto non risultano soddisfatte. Anche in questo caso, le motivazioni sono riconducibili alle caratteristiche costruttive dell'epoca, che non prevedevano accorgimenti specifici per il contenimento dei consumi energetici e l'isolamento termico. Di conseguenza, l'edificio presenta valori prestazionali inferiori ai requisiti minimi odierni, confermando la necessità di interventi mirati per migliorarne l'efficienza complessiva.

4.4 STATO IN PROGETTO

Come detto in precedenza lo stato in progetto ha previsto diverse opzioni progettuali, più nello specifico 8:

- Pompa di calore, vetro doppio, ventilazione naturale (PdC, VD, VN)
- Pompa di calore, vetro doppio, ventilazione meccanica controllata (PdC, VD, VMC)
- Pompa di calore, vetro triplo, ventilazione naturale (PdC, VT, VN)
- Pompa di calore, vetro triplo, ventilazione meccanica controllata (PdC, VT, VMC)
- Teleriscaldamento⁵⁵, vetro doppio, ventilazione naturale (TR, VD, VN)
- Teleriscaldamento, vetro doppio, ventilazione meccanica controllata (TR, VD, VMC)
- Teleriscaldamento, vetro triplo, ventilazione naturale (TR, VT, VN)
- Teleriscaldamento, vetro triplo, ventilazione meccanica controllata (TR, VT, VMC)

Tutte queste opzioni si distinguono per la tipologia di impianto o per le caratteristiche dell'involucro trasparente, come sarà illustrato in seguito. Tuttavia, condividono due elementi comuni: l'involucro opaco, identico per tutte le soluzioni, e la presenza di pannelli fotovoltaici, anch'essi inclusi in ogni opzione.

Di seguito saranno analizzate tutte le proprietà relative sia all'involucro opaco e trasparente, e alle diverse tipologie impiantistiche, con l'obiettivo di agevolare le fasi successive.

4.4.1 Componenti involucro opaco

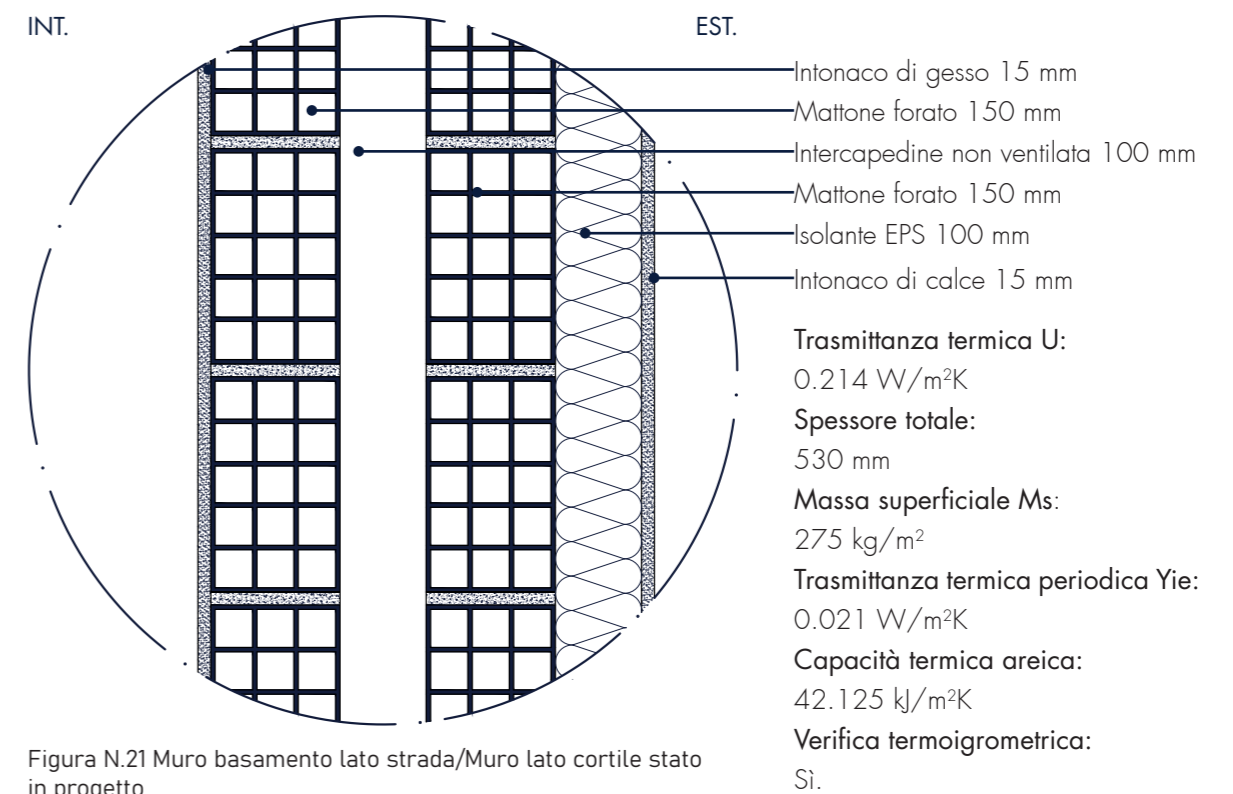


Figura N.21 Muro basamento lato strada/Muro lato cortile stato in progetto.

⁵⁵ Il teleriscaldamento è previsto solo per il riscaldamento, per il raffrescamento si utilizza sempre una pompa di calore.

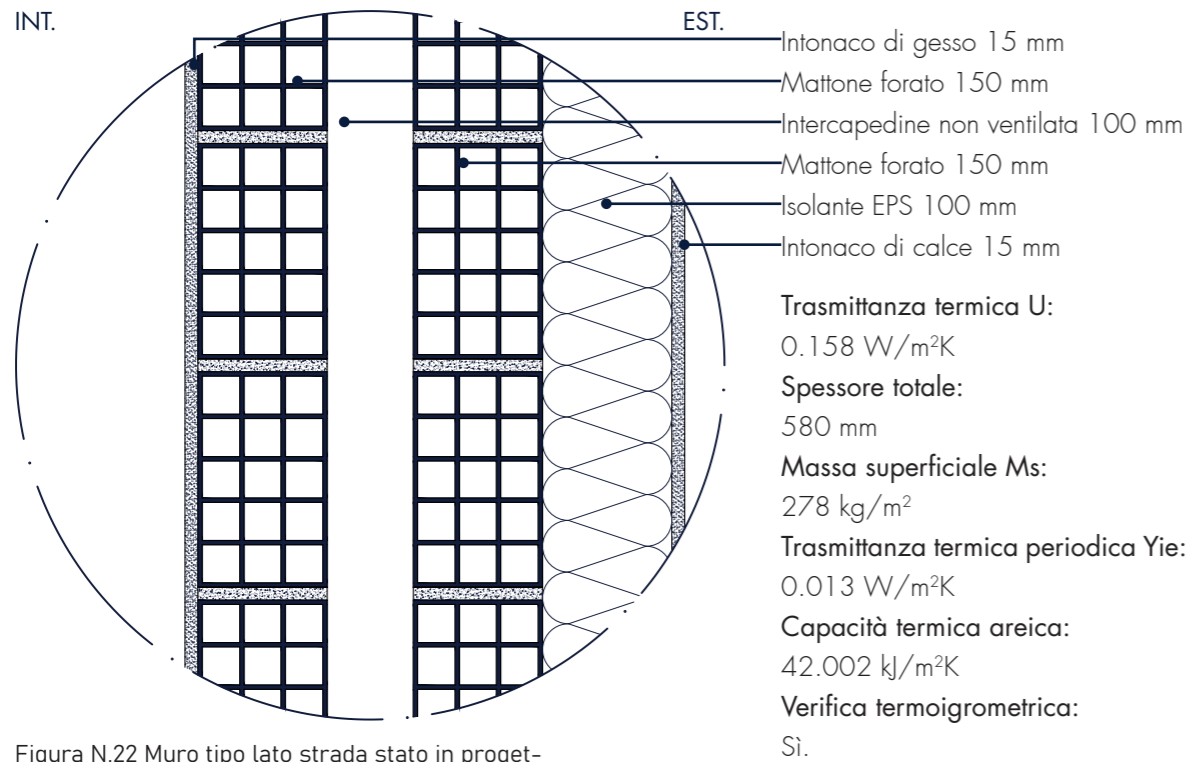


Figura N.22 Muro tipo lato strada stato in progetto.

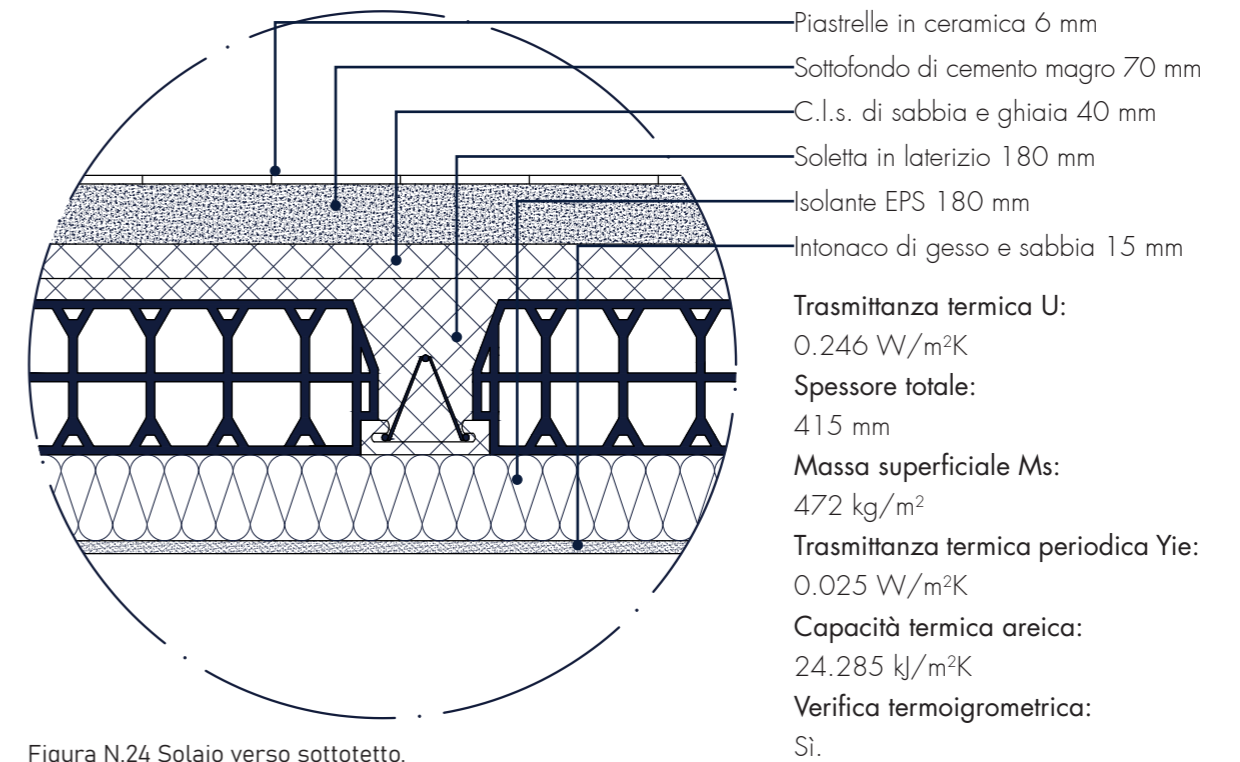


Figura N.24 Solaio verso sottotetto.

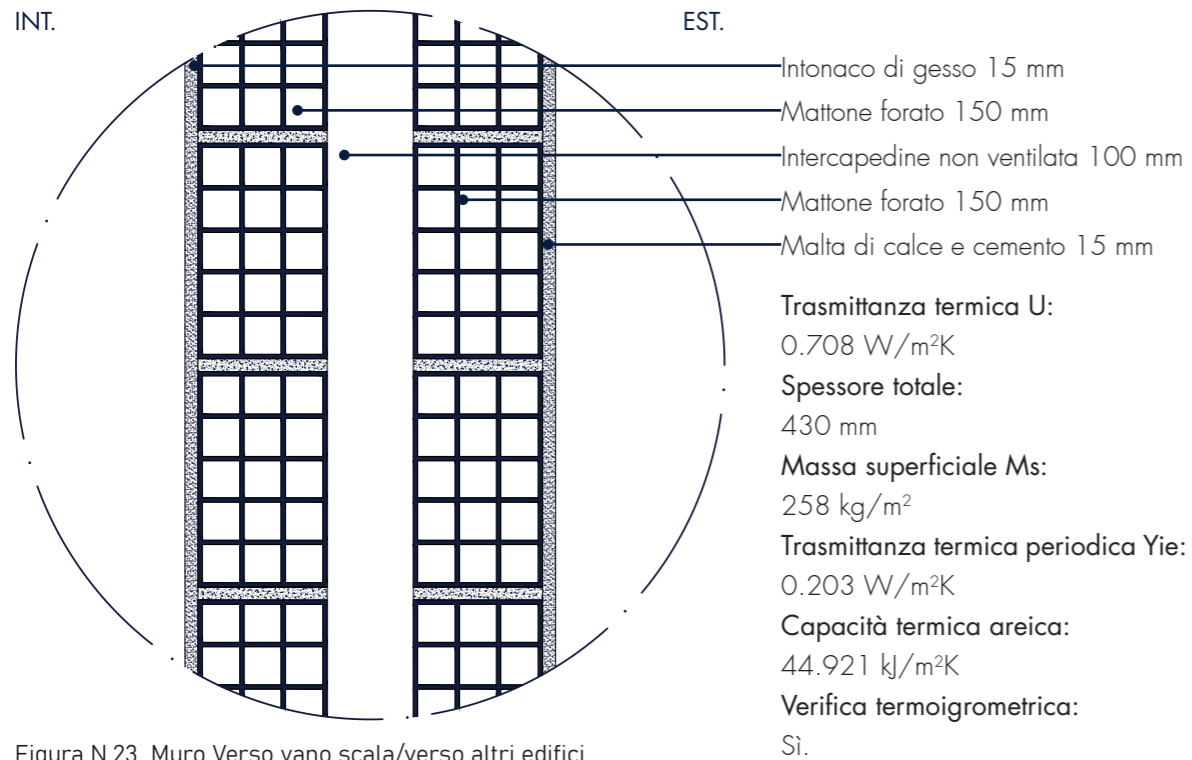


Figura N.23 Muro Verso vano scala/verso altri edifici.

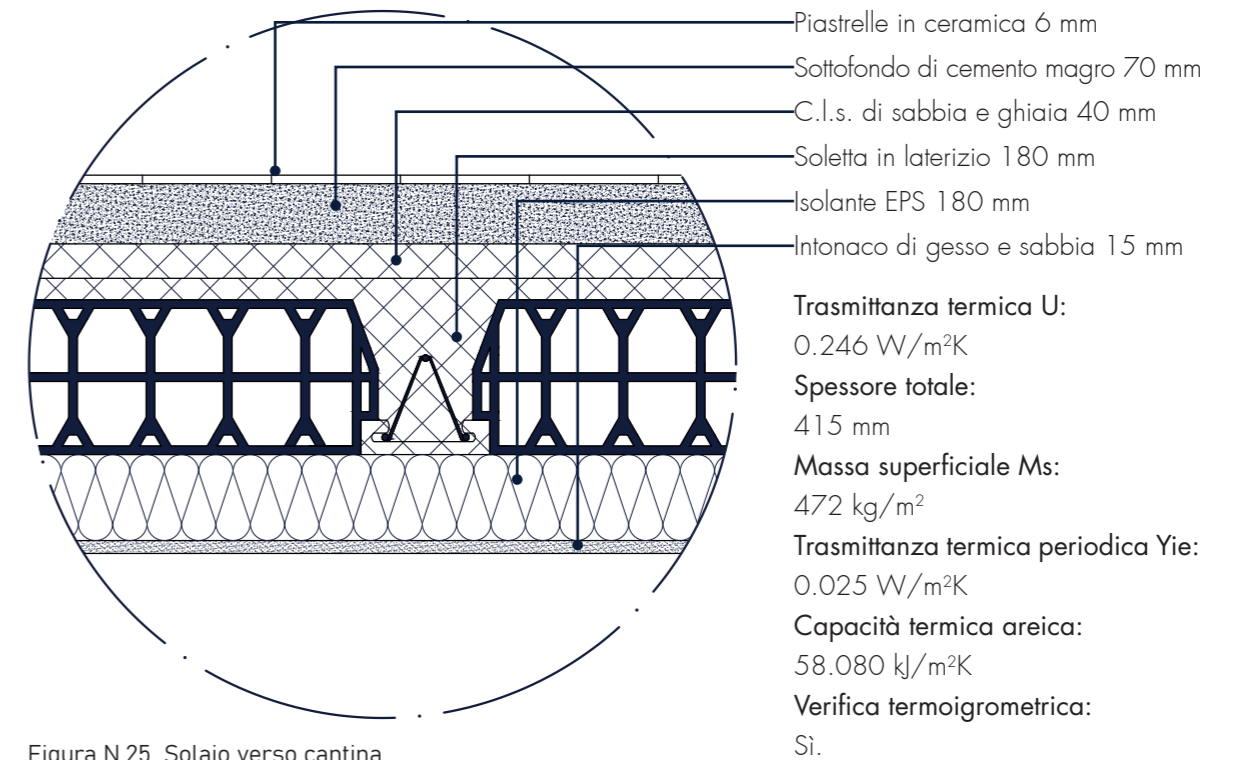


Figura N.25 Solaio verso cantina.

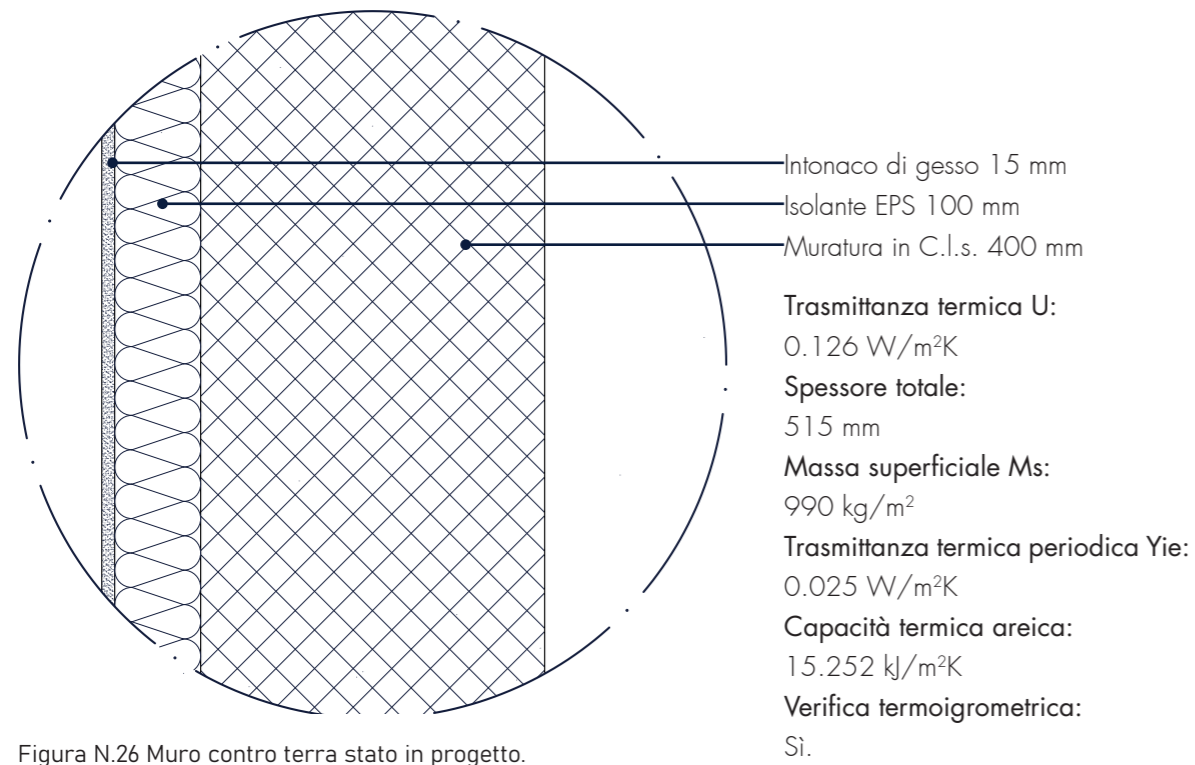


Figura N.26 Muro contro terra stato in progetto.

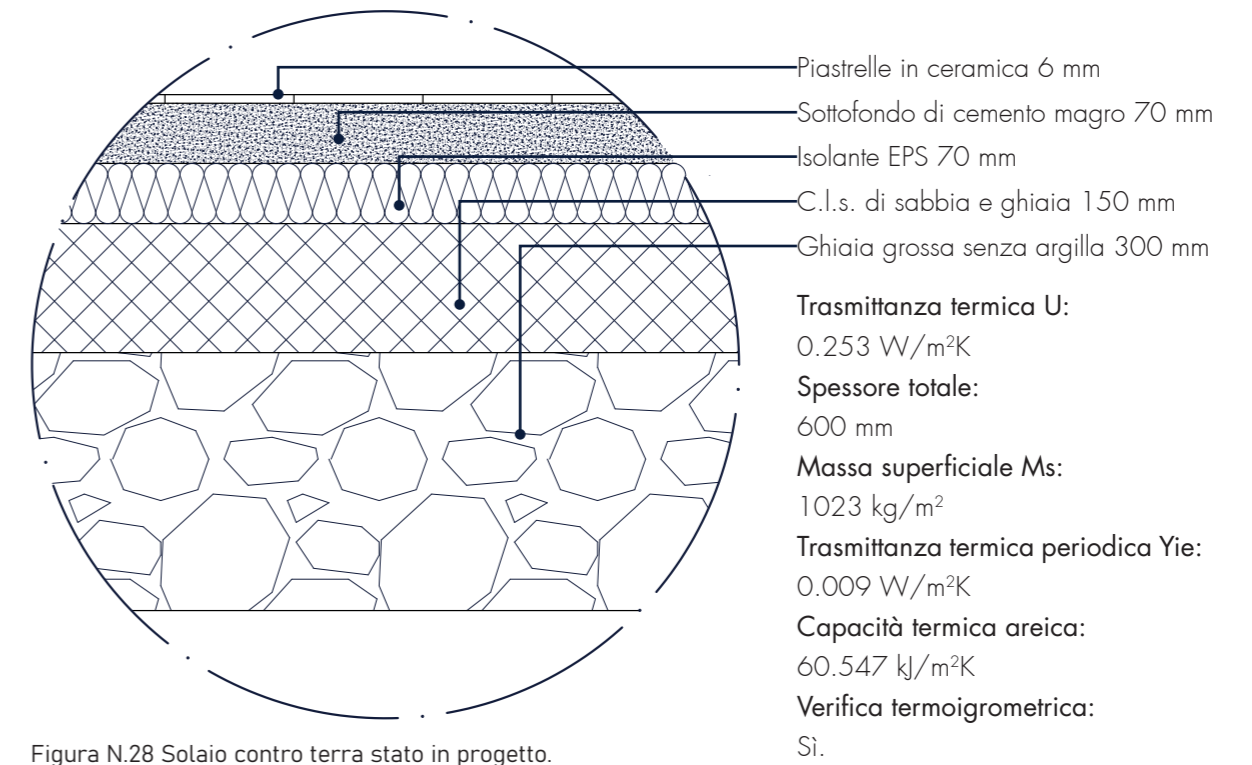


Figura N.28 Solaio contro terra stato in progetto.

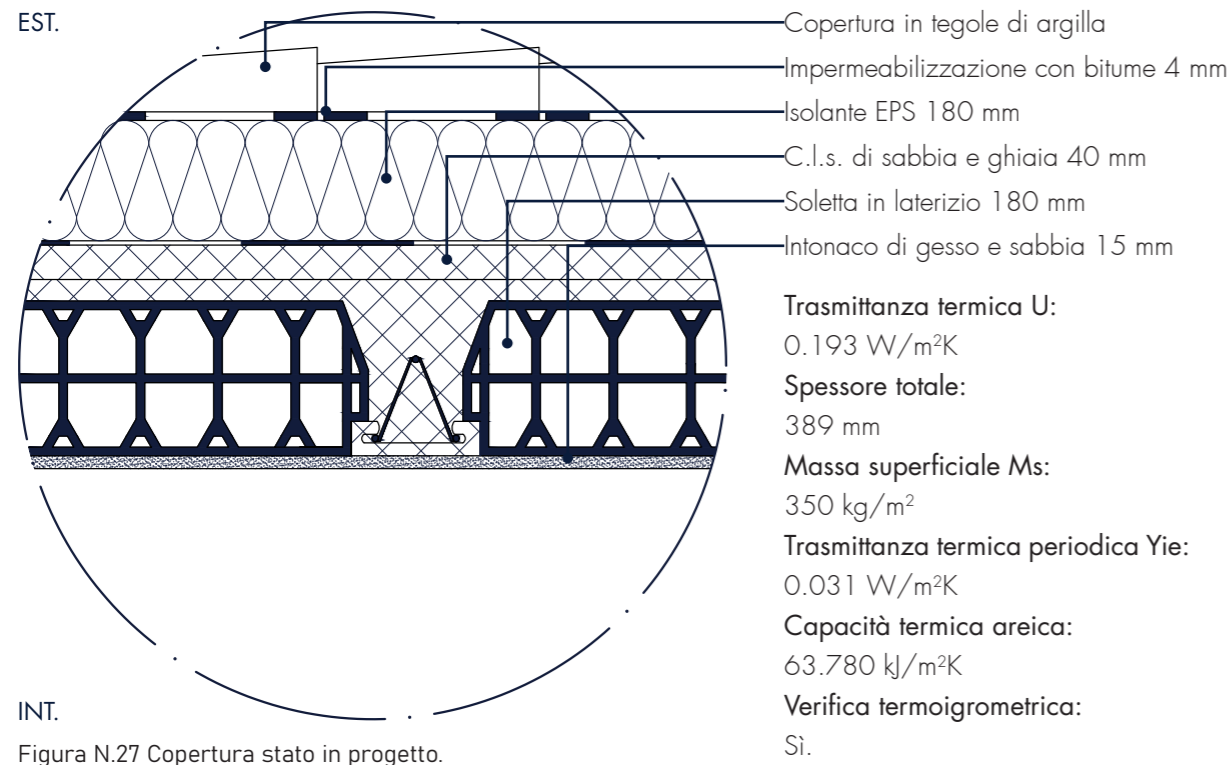


Figura N.27 Copertura stato in progetto.

4.4.2 Componenti involucro trasparente

Vetro doppio stratificato basso emissivo.

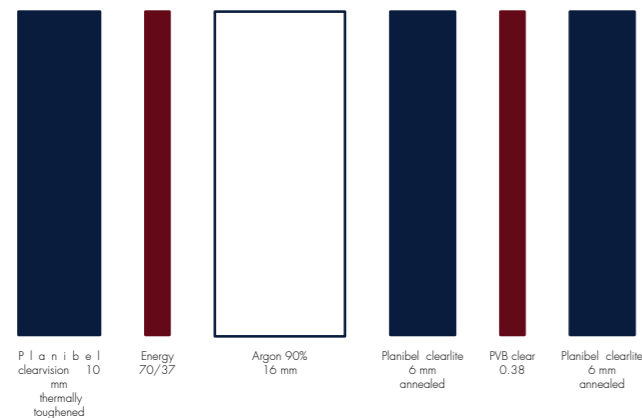


Figura N.29 Stratigrafia vetro doppio stratificato basso emissivo.

Caratteristiche serramento

- Telaio in legno a taglio termico
- Trasmittanza termica vetro $U_g = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Trasmittanza termica telaio $U_f = 0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vetro triplo stratificato.

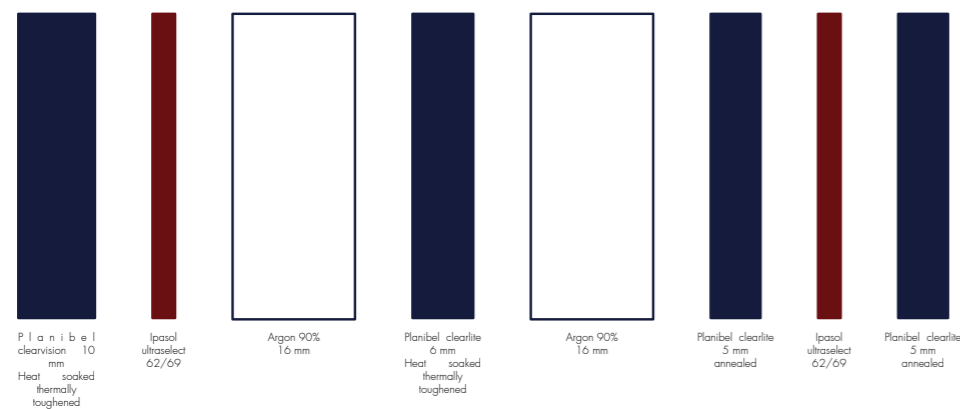
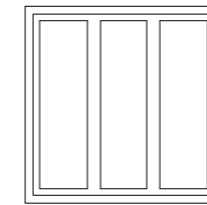


Figura N.30 Stratigrafia vetro triplo.

Caratteristiche serramento

- Telaio in legno a taglio termico
- Trasmittanza termica vetro $U_g = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Trasmittanza termica telaio $U_f = 0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$

Finestra 150*150



Vetro doppio

Trasmittanza termica $U_w: 1.185 \text{ W/m}^2\text{K}$

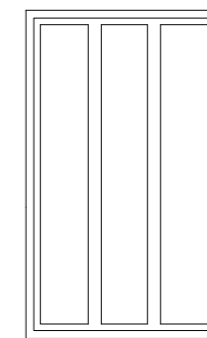
Ggl,n+sh max: 0.023

Vetro triplo

Trasmittanza termica $U_w: 1.062 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ggl,n+sh max: 0.019

Finestra 150*250



Vetro doppio

Trasmittanza termica $U_w: 1.185 \text{ W/m}^2\text{K}$

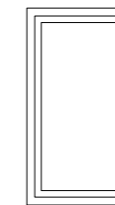
Ggl,n+sh max: 0.023

Vetro triplo

Trasmittanza termica $U_w: 1.053 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ggl,n+sh max: 0.019

Finestra 80*150



Vetro doppio

Trasmittanza termica $U_w: 1.110 \text{ W/m}^2\text{K}$

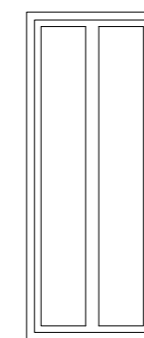
Ggl,n+sh max: 0.023

Vetro triplo

Trasmittanza termica $U_w: 0.986 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ggl,n+sh max: 0.019

Finestra 100*250



Vetro doppio

Trasmittanza termica $U_w: 1.176 \text{ W/m}^2\text{K}$

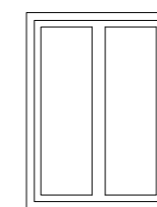
Ggl,n+sh max: 0.023

Vetro triplo

Trasmittanza termica $U_w: 1.052 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ggl,n+sh max: 0.019

Finestra 110*150



Vetro doppio

Trasmittanza termica $U_w: 1.164 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ggl,n+sh max: 0.023

Vetro triplo

Trasmittanza termica $U_w: 1.043 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ggl,n+sh max: 0.019

4.4.3 Scelta dell'isolante

La scelta dell'isolante da usare nello stato in progetto è avvenuta attraverso una meticolosa analisi comparativa⁵⁶ tra diversi isolanti (i più diffusi in commercio):

- EPS
- XPS
- Aerogel
- Sughero
- Lana di roccia
- Lana di vetro

Si è tenuto conto di 3 parametri, ai quali è stato attribuito un determinato peso⁵⁷, la scelta dei parametri e dei pesi è stata definita secondo gli obiettivi della tesi:

Conducibilità termica media (Peso del parametro: 40%)

Costo medio (Peso del parametro: 30%)

Riciclabilità (Peso del parametro: 30%)

La Tab.7 riassume il valore dei parametri prima e dopo essere stati "pesati"⁵⁸.

L'isolante scelto è l'EPS, come mostra il Graf.14

ISOLANTE	CONDUCIBILITÀ TERMICA MEDIA (λ)	COSTO MEDIO	RICICLABILITÀ	VALORI PESATI λ	VALORI PESATI COSTO	VALORI PESATI RICICLABILITÀ
AEROGEL	0.0165	115	0.5	0.66	0.29	0.15
EPS	0.036	7.5	0.8	1.44	4.44	0.24
LANA DI ROCCIA	0.04	17.5	0.9	1.6	1.90	0.27
LANA DI VETRO	0.036	15	0.9	1.44	2.22	0.27
SUGHERO	0.045	30	1	1.8	1.11	0.3
XPS	0.032	22.5	0.7	1.28	1.48	0.21

Tabella N.7 Riassunto caratteristiche isolanti.

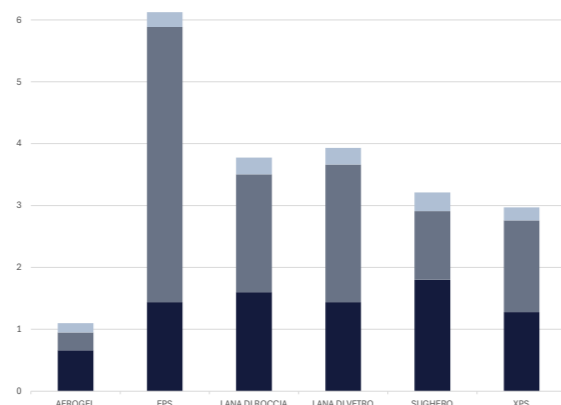


Grafico N.16 Scelta dell'isolante migliore per il caso studio.

56.Definizione: [https://www.treccani.it/enciclopedia/metodo-comparativo_\(Enciclopedia-delle-scienze-sociali\)/](https://www.treccani.it/enciclopedia/metodo-comparativo_(Enciclopedia-delle-scienze-sociali)/)

57.Dare un peso significa attribuire un grado di importanza, tramite un valore quantitativo o qualitativo alle caratteristiche prese in considerazione.

58.Un parametro pesato è un parametro il cui valore viene moltiplicato per il peso prima attribuitoli.

4.4.4 Ponti termici

Il progetto presenta, sia per necessità intrinseche sia per scelte progettuali, la presenza di ponti termici, la prima tipologia si trova in corrispondenza dei balconi, sebbene teoricamente eliminabili attraverso la continuità dell'isolante lungo tutto il perimetro del balcone, tale soluzione richiederebbe la realizzazione di un nuovo piano di calpestio. Tuttavia, ciò implicherebbe lo sgombero temporaneo dei condomini dalle proprie abitazioni, una pratica che, purtroppo, risulta scarsamente adottata in Italia.

Un ulteriore ponte termico si rileva in corrispondenza degli infissi, dove l'isolante non può avvolgere il telaio senza sovrapporsi ad esso, compromettendo la funzionalità del serramento.

Infine, si ha un ponte termico in corrispondenza dell'attacco a terra, ciò è dovuto all'impossibilità di isolare il nodo strutturale senza ricorrere a interventi di ampia portata, considerati estremamente complessi e poco fattibili.

Le Fig.24,25,26 riportano lo schema del ponte termico:

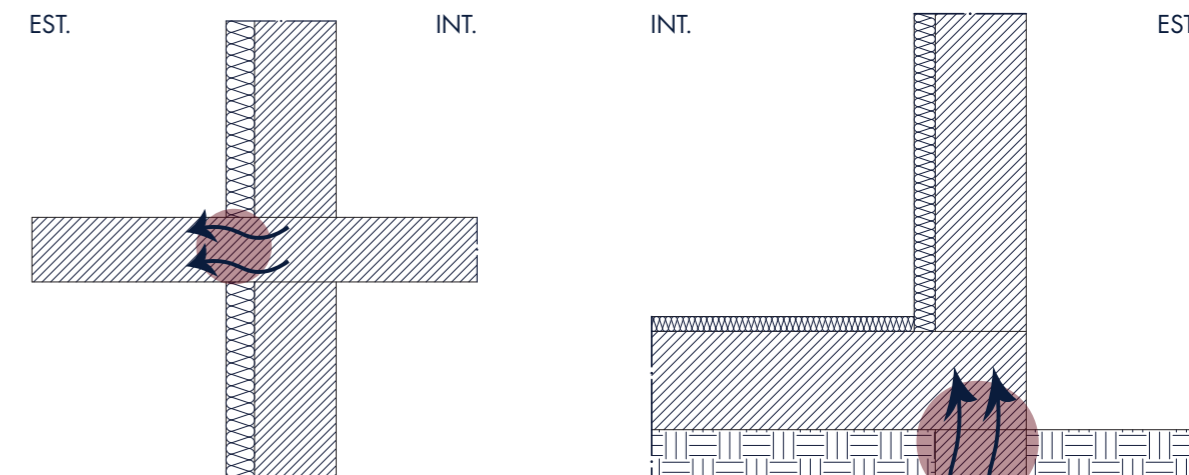


Figura N.31 Schema ponte termico balcone.

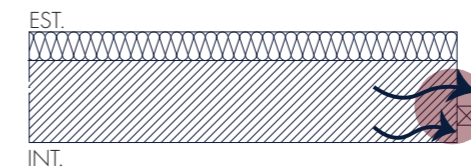


Figura N.32 Schema ponte termico serramento.

Figura N.33 Schema ponte termico attacco a terra.

4.4.5 Impianti

Pannelli fotovoltaici:

Come illustrato nel Capitolo 2, il Decreto Ministeriale del 26 giugno 2015 impone l'obbligo di integrare fonti di energia rinnovabile in tutti gli interventi di ristrutturazione di primo livello. In particolare, le varie soluzioni progettuali prese in considerazione prevedono l'installazione di pannelli fotovoltaici. Nello specifico, il progetto contempla l'installazione di 30 pannelli fotovoltaici, corrispondenti al massimo numero installabile sulla superficie della falda utile, cioè quella esposta a sud-ovest.

Qui di seguito sono riportate le informazioni principali ai pannelli fotovoltaici selezionati

- Potenza di picco singolo modulo Wpv: 180 Wp
- Efficienza nominale singolo modulo: 0.15
- fattore di efficienza fpv: 0.75

Riscaldamento:

Come precedentemente illustrato, il sistema di riscaldamento può essere gestito mediante una pompa di calore oppure attraverso il teleriscaldamento.

Per quanto concerne il sistema di riscaldamento tramite la pompa di calore le caratteristiche principali sono le seguenti:

- Tipologia impianto: impianto centralizzato
- Regime di funzionamento: Intermittente (ore di funzionamento dell'impianto: 14⁵⁹)
- Terminale di erogazione: Ventilconvettori
- Distribuzione utenza: Centralizzato con montanti non isolati correnti nelle pareti esterne isolate
- Temperatura di mandata: 50 °C
- Tipologia pompa di calore: Aria-acqua
- COP nominale: 4.49

θf [°C]	θc[°C]		
	35	45	55
-7	2.99	2.76	2.29
2	3.32	2.8	2.39
7	4.49	3.55	3.05
12	5.34	4.02	3.19

Tabella N.8 COP pompa di calore.

⁵⁹.Op. cit.

Teleriscaldamento:

- Temperatura media del fluido: 70°C
- $f_{p,ren}$: 0.387
- $f_{p,ren}$: 0.035
- $f_{p,tot}$: 0.422⁶⁰

Ventilazione Naturale:

- Calcolata secondo il metodo dei ricambi ora

Acqua Calda sanitaria ACS:

L'acqua calda sanitaria, in entrambi i casi, sia con la pompa di calore che con il teleriscaldamento, viene prodotta in combinazione con il sistema di riscaldamento. Tuttavia, ogni zona termica è dotata di un serbatoio di accumulo dedicato, assicurando così un'autonomia indipendente per ciascuna unità abitativa.

- Accumulo singolo: circa 200 l
- Dispersione termica Kboll: 1.074 W/K

Ventilazione meccanica controllata:

- Tipologia Impianto: Impianto centralizzato
- Ricambi d'aria a 50 Pa: 1 l/h
- Tipologia sensore: sensore per rilevamento livelli di CO₂
- Ore di funzionamento: 24 h
- Recuperatore di calore⁶¹
- Efficienza nominale recuperatore di calore (η_n): 0.80
- Impianto ad emissione ed estrazione

Raffrescamento:

La scelta di integrare un impianto di raffrescamento è stata guidata da due fattori principali: l'analisi oraria delle temperature interne rispetto a quelle esterne e le previsioni climatiche future, con l'obiettivo di progettare un sistema efficiente e sostenibile anche nel lungo periodo. Per quanto riguarda il primo aspetto, il Graf. 15 illustra l'andamento delle temperature giornaliere per l'anno 2024 nello scenario con la maggiore coibentazione, caratterizzato dall'uso di vetri tripli e un efficace isolamento dell'involucro edilizio. Questa configurazione è stata scelta in

⁶⁰.<https://www.gruppoiner.it/it/i-nostri-servizi/teleriscaldamento.html>

⁶¹.Un recuperatore di calore è un dispositivo progettato per catturare e riutilizzare l'energia termica che altrimenti andrebbe sprecata.

quanto rappresenta l'opzione più favorevole per garantire ambienti termicamente confortevoli durante la stagione estiva. Dall'analisi dei dati emerge che, in alcuni giorni estivi, la temperatura interna supera i 26°C, evidenziando la necessità di un sistema di raffrescamento per mantenere condizioni di comfort ottimali. Per quanto riguarda il secondo aspetto, le proiezioni climatiche indicano che entro il 2050 la temperatura media in Italia aumenterà di circa 2°C rispetto al periodo di riferimento 1981-2010. Questo incremento determinerà estati più calde, una maggiore incidenza di ondate di calore, periodi di siccità più frequenti e un aumento dell'intensità dei fenomeni meteorologici estremi. Tali cambiamenti potrebbero compromettere il benessere degli occupanti, soprattutto nelle aree urbane caratterizzate dall'effetto isola di calore.

Sulla base di queste considerazioni, si prevede quindi l'installazione di un impianto di raffrescamento, progettato per garantire un adeguato comfort termico e ridurre l'impatto delle future variazioni climatiche.

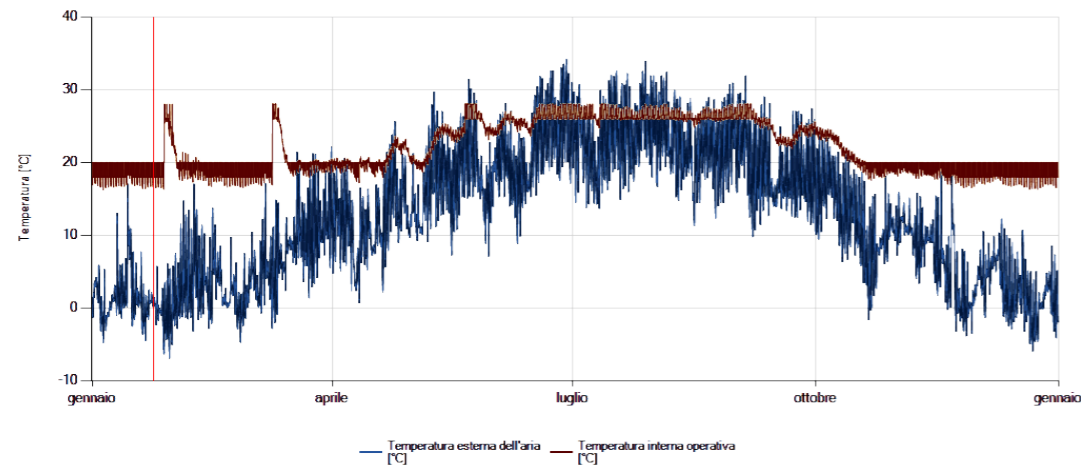


Grafico N.17 Distribuzione temperature interne-esterne Torino 2024.

- Tipologia pompa di calore: Aria-acqua
- Terminale di erogazione: Ventilcovettori
- Distribuzione utenza: metodo semplificato
- EER nominale: 8.51
- Potenza utile Pu: 12.70 kW

Fattore di carico Fk [-]	100%	75%	50%	25%
Prestazione EER [-]	4.08	5.16	7.71	5.74

Tabella N.9 EER pompa di calore.

4.4.6 Verifiche Decreto Ministeriale 26/06/2015

Una volta analizzate tutte le proprietà comuni a tutte le opzioni dello stato in progetto e possibile analizzare la verifica dei parametri richiesti secondo il D.M. 26/06/2015.

Come visto nel secondo capitolo il rispetto dei criteri imposti dal D.M. 26/06/2015 non prevede solo la verifica dei valori riportati alla lettera a del punto 2 dell'articolo 3.3, ma anche di rispettare i requisiti richiesti nel punto 4 dell'articolo 3.3 e nel punto 5 dello stesso articolo.

In particolar modo le verifiche richieste dal punto 4 sono riportate nelle Tab.10 e 11.

Queste verifiche vengono fatte prima perché sono comuni a tutte le opzioni progettuali.

	Valore limite [kg/m ²]	Valore di progetto [kg/m ²]
Muro lato cortile	230	275

Tabella N.10 Tabella riassuntiva verifiche massa superficiale stato in progetto.

	Valore limite [W/m ² K]	Valore di progetto [W/m ² K]
Solaio contro terra	0.18	0.009
Solaio interpiano	0.18	0.289
Copertura	0.18	0.031

Tabella N.11 Tabella riassuntiva verifiche trasmittanza termica periodica stato in progetto.

Nella tabella successiva sono riportate le verifiche relative al punto 5.

	Valore limite [W/m ² K]	Valore di progetto [W/m ² K]
Muro verso cortile	0.8	0.214
Muro divisorio tra appartamenti	0.8	0.214
Solaio verso cantina	0.8	0.246
Solaio verso sottotetto	0.8	0.246

Tabella N.12 Tabella riassuntiva verifiche trasmittanza termica stato in progetto.

A differenza dello stato di fatto l'aggiunta dell'isolante cambia drasticamente i risultati richiesti dal sottoparagrafo 3.3 dell'articolo 3 del D.M. 26/06/2015, infatti, come si nota l'unico valore che non rispetta i requisiti è relativo al solaio interpiano ma perché è l'unico che non subisce interventi, poiché, come è già stato detto più volte, richiederebbe di alzare il piano di calpestio e allontanare dalle proprie abitazioni i condomini, situazione irrealistica in Italia.

Di seguito sono riportate le tabelle riassuntive delle verifiche prescritte dal D.M. 26/06/2015 articolo 3, sottoparagrafo 3.3, punto 2 e il D.Lgs. 03/03/2011 n°28 dell'opzione con: **pompa di calore per riscaldamento e raffrescamento, vetro doppio e ventilazione naturale.**

Parametri	Valore limite	Valore calcolato
H'_T [W/ m ² K]	0.75	0.76
$A_{sol,est}/ A_{sup\ utile}$ [-]	0.03	0.006
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ²]	22.88	44.79
η_H [-]	56%	76.40%
EP_H [kWh/m ²]	36.79	52.12
η_W [-]	47.30%	68.90%
EP_W [kWh/m ²]	42.11	28.94
EP_V [kWh/m ²]	/	/
$EP_{C,nd}$ [kWh/m ²]	28.26	10.47
η_C [-]	92.10%	103.90%
EP_C [kWh/m ²]	30.68	10.08
$EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_L + EP_T$ [kWh/m ²]	109.57	91.14

■ Valori verificati
■ Valori non verificati

Tabella N.13 Verifiche opzione PdC, VD, VN secondo D.M. 26/06/2015.

	Valore limite	Valore calcolato
Copertura totale da fonte rinnovabile	50%	56.19%
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	50%	66.60%
Verifica potenza elettrica installata (kW)	0	5.4

Tabella N.14 Verifiche PdC, VD, VN secondo D.Lgs. 03/03/2011.

Dalla Tab. 13 si nota che i parametri non conformi sono il coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione (H'_T), l'indice di prestazione termica per il riscaldamento ($EP_{H,nd}$) e quello per la climatizzazione invernale (EP_H). Ciò è dovuto alla presenza significativa di ponti termici e infissi, che contribuiscono in maniera estremamente importante alle dispersioni, riducendo l'effetto degli interventi sull'involucro edilizio previsti, mentre tutti gli altri parametri sono verificati, dimostrando che le scelte tecnologiche sono corrette.

Tuttavia, le verifiche richieste dal D.Lgs. 03/03/2011 n°28 risultano tutte rispettate.

Di seguito sono riportate le tabelle riassuntive delle verifiche prescritte dal D.M. 26/06/2015 articolo 3, sottoparagrafo 3.3, punto 2 e il D.Lgs. 03/03/2011 n°28 dell'opzione con: **pompa di calore per riscaldamento e raffrescamento, vetro doppio e ventilazione meccanica controllata.**

Parametri	Valore limite	Valore calcolato
H'_T [W/ m ² K]	0.75	0.76
$A_{sol,est}/ A_{sup\ utile}$ [-]	0.03	0.006
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ²]	22.08	43.87
η_H [-]	55.8%	68.80%
EP_H [kWh/m ²]	24.41	45.79
η_W [-]	46.30%	66.00%
EP_W [kWh/m ²]	43.08	30.2
EP_V [kWh/m ²]	22.77	26.29
$EP_{C,nd}$ [kWh/m ²]	28.55	10.61
η_C [-]	90.05%	96.80%
EP_C [kWh/m ²]	44.5	17.56
$EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_L + EP_T$ [kWh/m ²]	134.31	119.84

■ Valori verificati
■ Valori non verificati

Tabella N.15 Verifiche PdC, VD, VMC secondo D.M. 26/06/2015.

	Valore limite	Valore calcolato
Copertura totale da fonte rinnovabile	50%	51.73%
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	50%	62.28%
Verifica potenza elettrica installata (kW)	0	5.4

Tabella N.16 Verifiche PdC, VD, VMC secondo D.Lgs. 03/03/2011.

La seconda opzione introduce la ventilazione meccanica controllata con recuperatore di calore, ma i parametri H'_T , $EP_{H,nd}$, EP_H e EP_V non sono verificati. Tuttavia, $EP_{H,nd}$ ed EP_H mostrano una lieve, seppur marginale, riduzione grazie al recuperatore di calore. Le cause sono le stesse della prima opzione: pompa di calore, vetro doppio, ventilazione naturale e in aggiunta l'introduzione della VMC non modifica significativamente i risultati perché le dispersioni sono simili a quelle presenti con la VN.

Anche in questo le verifiche richieste dal D.Lgs. 03/03/2011 n°28 risultano rispettate.

Di seguito sono riportate le tabelle riassuntive delle verifiche prescritte dal D.M. 26/06/2015 articolo 3, sottoparagrafo 3.3, punto 2 e il D.Lgs. 03/03/2011 n°28 dell'opzione con: **pompa di calore per riscaldamento e raffrescamento, vetro triplo e ventilazione naturale.**

Parametri	Valore limite	Valore calcolato
H'_T [W/ m ² K]	0.75	0.73
$A_{sol,est}/ A_{sup\ utile}$ [-]	0.03	0.006
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ²]	22.59	43.45
η_H [-]	56.0%	75.10%
EP_H [kWh/m ²]	36.31	51.41
η_W [-]	47.40%	69.100%
EP_W [kWh/m ²]	42.1	28.86
EP_V [kWh/m ²]	/	/
$EP_{C,nd}$ [kWh/m ²]	28.04	10.38
η_C [-]	92.20%	117.10%
EP_C [kWh/m ²]	30.42	8.86
$EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_L + EP_T$ [kWh/m ²]	108.82	89.13

■ Valori verificati
■ Valori non verificati

Tabella N.17 Verifiche PdC, VT, VN secondo D.M. 26/06/2015.

	Valore limite	Valore calcolato
Copertura totale da fonte rinnovabile	50%	56.76%
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	50%	66.91%
Verifica potenza elettrica installata (kW)	0	5.4

Tabella N.18 Verifiche PdC, VT, VN secondo D.Lgs. 03/03/2011.

Questa opzione prevede l'uso del vetro triplo, migliorando l'isolamento termico e consentendo al coefficiente H'_T di rispettare il valore limite. Tuttavia, l'aumento di isolamento non è sufficiente per ridurre abbastanza i coefficienti $EP_{H,nd}$ ed EP_H per rispettare i limiti, evidenziando nuovamente il contributo significativo dei ponti termici.

Per il resto dei parametri valgono le stesse considerazioni precedenti delle opzioni precedenti.

Le verifiche del D.Lgs. 03/03/2011 n°28 risultano comunque rispettate.

Di seguito sono riportate le tabelle riassuntive delle verifiche prescritte dal D.M. 26/06/2015 articolo 3, sottoparagrafo 3.3, punto 2 e il D.Lgs. 03/03/2011 n°28 dell'opzione con: **pompa di calore per riscaldamento e raffrescamento, vetro triplo e ventilazione meccanica controllata.**

Parametri	Valore limite	Valore calcolato
H'_T [W/ m ² K]	0.75	0.73
$A_{sol,est}/ A_{sup\ utile}$ [-]	0.03	0.006
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ²]	21.79	42.53
η_H [-]	55.8%	67.70%
EP_H [kWh/m ²]	23.95	44.75
η_W [-]	46.30%	66.100%
EP_W [kWh/m ²]	43.08	30.16
EP_V [kWh/m ²]	22.77	26.21
$EP_{C,nd}$ [kWh/m ²]	28.33	10.52
η_C [-]	90.50%	107.70%
EP_C [kWh/m ²]	43.87	15.77
$EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_L + EP_T$ [kWh/m ²]	133.68	116.89

■ Valori verificati
■ Valori non verificati

Tabella N.19 Verifiche PdC, VT, VMC secondo D.M. 26/06/2015.

	Valore limite	Valore calcolato
Copertura totale da fonte rinnovabile	50%	52.34%
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	50%	62.40%
Verifica potenza elettrica installata (kW)	0	5.4

Tabella N.20 Verifiche PdC, VT, VMC secondo D.Lgs. 03/03/2011.

La quarta opzione modifica la terza introducendo la ventilazione meccanica controllata con recuperatore di calore, come visto in precedenza, nonostante un lieve miglioramento i parametri $EP_{H,nd}$ ed EP_H non sono rispettati, e anche il parametro EP_V non è rispettato. Le cause sono sempre le stesse e in aggiunta l'introduzione della VMC non modifica significativamente i risultati perché le dispersioni sono simili a quelle presenti con la VN.

Anche in questo le verifiche richieste dal D.Lgs. 03/03/2011 n°28 risultano rispettate.

Di seguito sono riportate le tabelle riassuntive delle verifiche prescritte dal D.M. 26/06/2015 articolo 3, sottoparagrafo 3.3, punto 2 e il D.Lgs. 03/03/2011 n°28 dell'opzione con: teleriscaldamento, pompa di calore per raffrescamento, vetro doppio e ventilazione naturale.

Parametri	Valore limite	Valore calcolato
H'_T [W/ m ² K]	0.75	0.76
$A_{sol,est}/ A_{sup\ utile}$ [-]	0.03	0.006
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ²]	22.88	44.79
η_H [-]	186%	173.90%
EP_H [kWh/m ²]	11.06	22.9
η_W [-]	160.90%	214.80%
EP_W [kWh/m ²]	12.39	9.28
EP_V [kWh/m ²]	/	/
$EP_{C,nd}$ [kWh/m ²]	28.26	10.47
η_C [-]	95.50%	111.90%
EP_C [kWh/m ²]	29.58	9.36
$EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_l + EP_T$ [kWh/m ²]	53.03	41.53

■ Valori verificati
■ Valori non verificati

Tabella N.21 Verifiche TR, VD, VN secondo D.M. 26/06/2015.

	Valore limite	Valore calcolato
Copertura totale da fonte rinnovabile	50%	18.51%
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	50%	8.29%
Verifica potenza elettrica installata (kW)	0	5.4

Tabella N.22 Verifiche TR, VD, VN secondo D.Lgs. 03/03/2011.

Questo opzione a differenza delle precedenti prevede la sostituzione della PdC per il riscaldamento con il teleriscaldamento, poichè la modifica riguarda gli impianti, i risultati correlati all'involucro edilizio non cambiano rispetto alla corrispettiva opzione: PdC, VD, VN, mentre cambiano i parametri η_H e EP_H che non sono rispettati, i motivi possono essere svariati, come: basso rendimento della rete di distribuzione o obsolescenza degli impianti di produzione, ecc... Inoltre le verifiche del D.Lgs. 03/03/2011 non sono rispettate per due motivi: il ridotto numero di pannelli fotovoltaici e la scarsa percentuale della componente rinnovabile del teleriscaldamento.

Di seguito sono riportate le tabelle riassuntive delle verifiche prescritte dal D.M. 26/06/2015 articolo 3, sottoparagrafo 3.3, punto 2 e il D.Lgs. 03/03/2011 n°28 dell'opzione con: teleriscaldamento, pompa di calore per raffrescamento, vetro doppio e ventilazione meccanica controllata.

Parametri	Valore limite	Valore calcolato
H'_T [W/ m ² K]	0.75	0.76
$A_{sol,est}/ A_{sup\ utile}$ [-]	0.03	0.006
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ²]	22.08	43.87
η_H [-]	186.2%	167.00%
EP_H [kWh/m ²]	7.31	18.85
η_W [-]	160.90%	214.800%
EP_W [kWh/m ²]	12.39	9.28
EP_V [kWh/m ²]	21.81	25.06
$EP_{C,nd}$ [kWh/m ²]	28.55	10.61
η_C [-]	92.10%	98.90%
EP_C [kWh/m ²]	43.25	17.19
$EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_l + EP_T$ [kWh/m ²]	84.76	70.38

■ Valori verificati
■ Valori non verificati

Tabella N.23 Verifiche TR, VD, VMC secondo D.M. 26/06/2015.

	Valore limite	Valore calcolato
Copertura totale da fonte rinnovabile	50%	17.56%
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	50%	8.29%
Verifica potenza elettrica installata (kW)	0	5.4

Tabella N.24 Verifiche TR, VD, VMC secondo D.Lgs. 03/03/2011.

Questa opzione segue la stessa linea delle precedenti, cioè prevede l'introduzione della VMC, ovviamente come accade per le opzioni precedenti anche in questo caso i parametri H'_T , EP_V , η_H , EP_H e $EP_{H,nd}$ nonostante un lieve miglioramento degli ultimi 3 grazie alla presenza di un recuperatore di calore, non sono rispettati. Anche in questo caso le verifiche del D.Lgs. 03/03/2011 non sono rispettate sia per il ridotto numero di pannelli fotovoltaici e la scarsa percentuale della componente rinnovabile del teleriscaldamento.

Di seguito sono riportate le tabelle riassuntive delle verifiche prescritte dal D.M. 26/06/2015 articolo 3, sottoparagrafo 3.3, punto 2 e il D.Lgs. 03/03/2011 n°28 dell'opzione con: teleriscaldamento, pompa di calore per raffrescamento, vetro triplo e ventilazione naturale.

Parametri	Valore limite	Valore calcolato
H'_T [W/ m ² K]	0.75	0.73
$A_{sol,est}/ A_{sup\ utile}$ [-]	0.03	0.006
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ²]	22.59	43.45
η_H [-]	186.2%	173.30%
EP_H [kWh/m ²]	10.92	22.28
η_W [-]	160.90%	214.800%
EP_W [kWh/m ²]	12.39	9.28
EP_V [kWh/m ²]	22.77	26.29
$EP_{C,nd}$ [kWh/m ²]	28.04	10.38
η_C [-]	95.60%	127.70%
EP_C [kWh/m ²]	29.32	8.12
$EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_L + EP_T$ [kWh/m ²]	52.63	39.68

■ Valori verificati
■ Valori non verificati

Tabella N.25 Verifiche TR, VT, VN secondo D.M. 26/06/2015.

	Valore limite	Valore calcolato
Copertura totale da fonte rinnovabile	50%	18.49%
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	50%	8.29%
Verifica potenza elettrica installata (kW)	0	5.4

Tabella N.26 Verifiche TR, VT, VN secondo D.Lgs. 03/03/2011.

Per questa settima opzione sia per le verifiche relative al D.M. 26/06/2015 che per il D.Lgs. 03/03/2011 valgono le stesse considerazioni di tutte le opzioni precedenti, poichè, come si sarà intuito il metodo operativo è sempre lo stesso e di conseguenza i risultati seguono sempre lo stesso principio.

Di seguito sono riportate le tabelle riassuntive delle verifiche prescritte dal D.M. 26/06/2015 articolo 3, sottoparagrafo 3.3, punto 2 e il D.Lgs. 03/03/2011 n°28 dell'opzione con: teleriscaldamento, pompa di calore per raffrescamento, vetro triplo e ventilazione meccanica controllata.

Parametri	Valori ammissibile	Valore calcolato
H'_T [W/ m ² K]	0.75	0.73
$A_{sol,est}/ A_{sup\ utile}$ [-]	0.03	0.006
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ²]	21.79	42.53
η_H [-]	186.2%	168.70%
EP_H [kWh/m ²]	7.18	17.95
η_W [-]	160.90%	215.700%
EP_W [kWh/m ²]	12.39	9.28
EP_V [kWh/m ²]	21.81	24.95
$EP_{C,nd}$ [kWh/m ²]	28.33	10.52
η_C [-]	92.20%	110.30%
EP_C [kWh/m ²]	43.08	15.39
$EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_L + EP_T$ [kWh/m ²]	84.85	67.54

■ Valori verificati
■ Valori non verificati

Tabella N.27 Verifiche TR, VT, VN secondo D.M. 26/06/2015.

	Valori ammissibile	Valore calcolato
Copertura totale da fonte rinnovabile	50%	17.48%
Copertura acqua sanitaria da fonte rinnovabile	50%	8.29%
Verifica potenza elettrica installata (kW)	0	5.4

Tabella N.28 Verifiche TR, VT, VN secondo D.Lgs. 03/03/2011.

Infine, per ques'ultima opzione il discorso non è differente da quello effettuato in precedenza per la settima opzione.

4.4.7 Confronto opzioni di progetto

Per valorizzare appieno le diverse opzioni progettuali, è fondamentale procedere con un confronto strutturato. Sebbene tale analisi possa essere condotta considerando l'intero insieme di parametri, si è scelto di focalizzare l'attenzione esclusivamente su quelli ritenuti più rilevanti e funzionali agli obiettivi specifici della Tesi. Questa selezione mirata consente di approfondire gli aspetti più significativi, garantendo un'analisi coerente con le finalità del lavoro di ricerca.

Il primo confronto avviene tra le opzioni con PdC VD VN e PdC VT VN, al fine di valutare il coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente H'_T [W/ m²K]. La scelta della pompa di calore rispetto al teleriscaldamento risulta indifferente, poiché il coefficiente H'_T non dipende dall'impianto di riscaldamento, bensì dalle superfici disperdenti.

Tale confronto mostra come la differenza nella tipologia di serramento porti a un cambio veramente minimo, pari a: 0.03 W/m²K ma sufficiente a rientrare nei limiti imposti da legge.

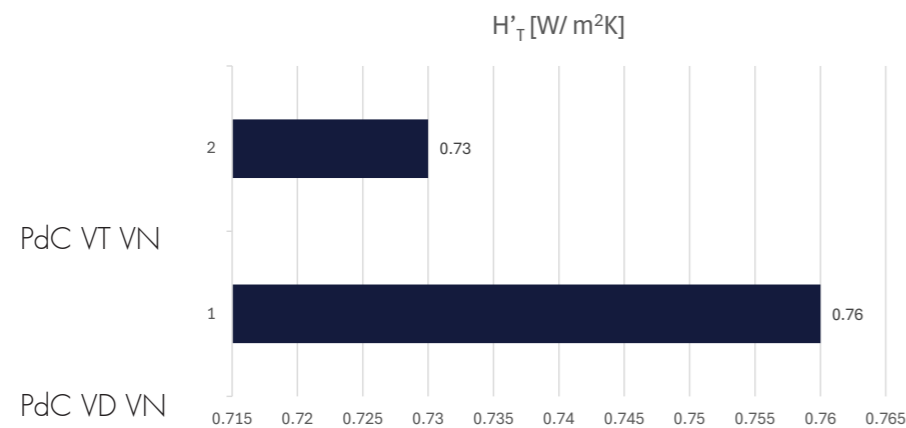


Grafico N.18 Confronto valori H'_T

Altro confronto viene fatto tra i valori dell'indice di prestazione termica utile per riscaldamento $EP_{H,nd}$ [kWh/m²] tra le opzioni: PdC VD VN e PdC VT VN per vedere quanto la modifica della stratigrafia del vetro possa ridurre tale valore.

Si è scelto di ragionare su queste due opzioni in quanto sono identiche in tutto e per tutto, tranne che per i serramenti, ciò per vedere quanto una singola modifica potesse variare la situazione.

Si nota come la differenza tra le due opzioni sia di 1.34 kWh/m², sebbene questo valore possa sembrare relativamente contenuto, se considerato su scala annuale e su un'intera superficie abitativa, può tradursi in una riduzione significativa dei consumi energetici complessivi.

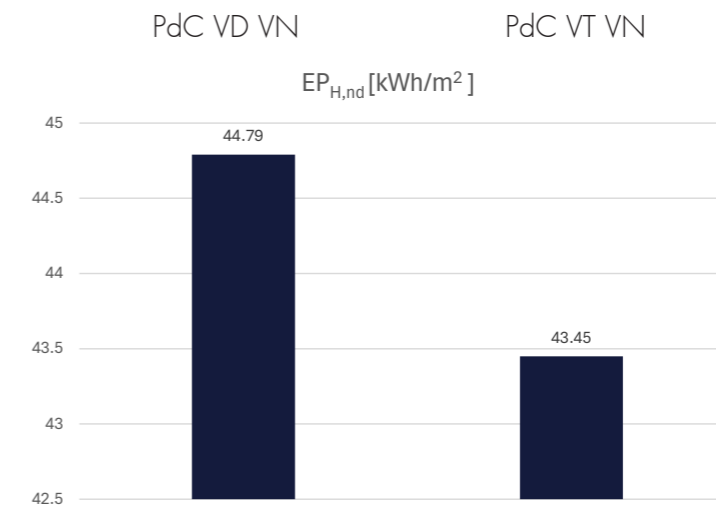


Grafico N.19 Confronto valori $EP_{H,nd}$

Altro confronto viene fatto tra i vari valori dell'indice di prestazione energetica globale dell'edificio EP_{gl} [kWh/m²], si sceglie di confrontare i valori di tale parametro poiché è il più significativo per descrivere in maniera unitaria i consumi di un edificio mostrando come l'opzione col valore più basso è l'opzione: TR VT VN.

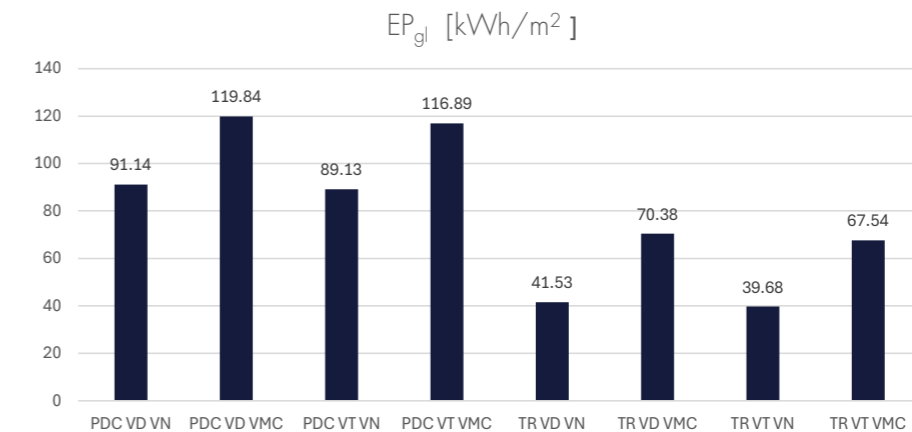


Grafico N.20 Confronto valori EP_{gl}

Successivamente viene fatto un confronto più specifico tra i vari valori dell'indice di prestazione energetica globale dell'edificio ma in questo caso riferito solo all'energia non rinnovabile, $EP_{gl,nren}$ [kWh/m²], in quanto tra tutte è quella che impatta sull'ambiente e non la componente rinnovabile, o almeno questa non impatta quanto la prima, mostrando come l'opzione col valore più basso è l'opzione: TR VT VN.

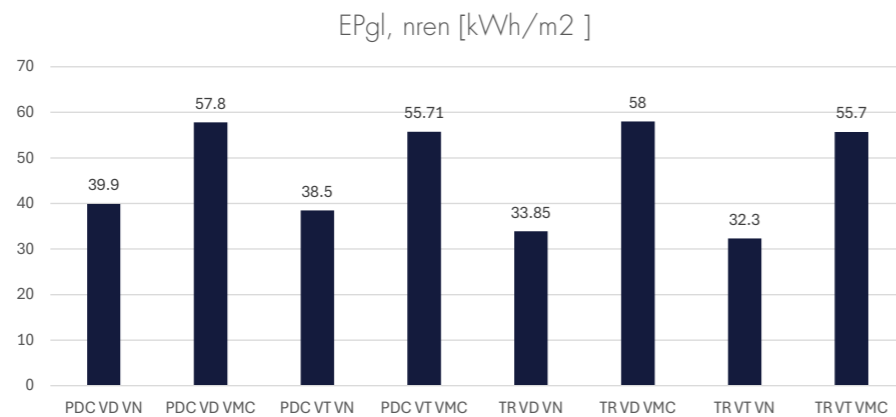


Grafico N.21 Confronto valori EP_{gl, nren}

Da questa prima analisi risulta che l'opzione più efficiente a livello energetico è la seguente: Teleriscaldamento, vetro triplo, ventilazione naturale.

Tuttavia, si decide di svolgere un altro confronto per vedere quali opzioni rispettano il valore limite relativo all'efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale (η_H), in quanto dalle analisi svolte in precedenza risultava che alcune opzioni non rispettavano tale parametro.

	PDC VD VN	PDC VD VMC	PDC VT VN	PDC VT VMC	TR VD VN	TR VD VMC	TR VT VN	TR VT VMC
η_H [%]	Valore ammissibile							
	56%	56%	56%	56%	186%	186%	186%	186%
	Valore calcolato							
	76.40%	68.80%	75.10%	67.70%	173.90%	167.00%	173.30%	168.70%

Tabella N.29 Confronto valori η_H .

Si nota come tutte le opzioni che prevedono l'uso del teleriscaldamento non rispettano il valore ammissibile.

Ultimo confronto viene fatto per capire la necessità o meno di un sistema di ventilazione meccanica controllata.

La scelta della ventilazione meccanica, come si è visto in precedenza risulterebbe quasi sconveniente rispetto alla ventilazione naturale, ma è anche vero che il comportamento umano relativo alla ventilazione naturale non è razionale come quello considerato dal software, quindi per essere più oggettivi possibile è stato sviluppato un confronto tra le opzioni che usano e no la ventilazione meccanica confrontando i valori dell'indice di prestazione energetica globale EP_{gl} dell'edificio e l'indice di prestazione termica utile per riscaldamento EP_{H,nd}.

Dal Graf. si nota come l'EP_{gl} per le opzioni che prevedono l'uso della pompa di calore sia superiore di un 24% circa mentre per quelle con il teleriscaldamento di circa il 41%, contro una

riduzione del 2.1% dell'indice EP_{H,nd}.

Quindi è evidente che la scelta della ventilazione meccanica non è consigliata, almeno per una tipologia abitativa come questa.

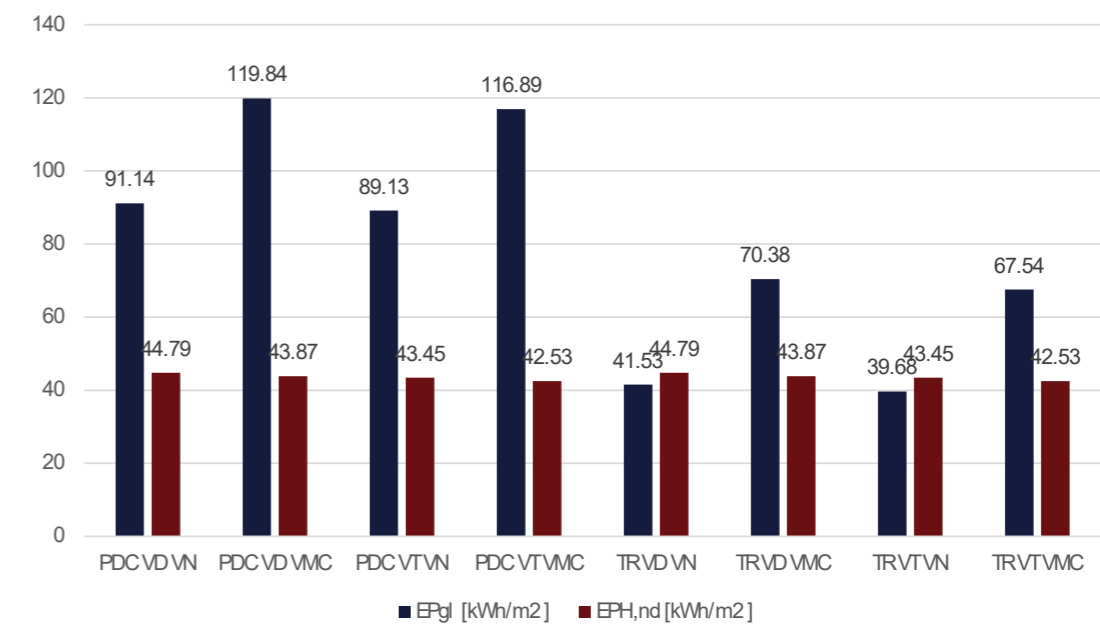


Grafico N.22 Confronto valori EP_{gl} e EP_{H,nd} per ogni opzione di progetto.

Arrivati a questo punto è possibile determinare quale delle opzioni, dal punto di vista energetico, risulta la più conveniente.

Si può partire dicendo che le opzioni che prevedono l'utilizzo della ventilazione meccanica controllata sono da mettere in fondo alla classifica, successivamente è evidente che per poter rispettare il coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente H_T è necessario utilizzare il vetro triplo.

Quindi, la scelta è tra le due seguenti opzioni: PdC, VT, VN e TR, VT, VN; come si è visto in precedenza ognuna offre dei vantaggi, l'opzione che utilizza il teleriscaldamento prevede un minore valore di EP_{gl, nren} ma non rispetta il valore limite per l'efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale η_H .

4.5 ANALISI ECONOMICA

Quindi la scelta dell'opzione più conveniente verrà accompagnata anche da una breve analisi economica per poter definire qual è la più conveniente a livello di costo.

Di seguito sono riportate tutte le voci, con i corrispettivi prezzi, prese in considerazione per la stima del costo di ogni opzione.

Si specifica che tali prezzi sono puramente indicativi e sono stati definiti tramite: dialogo diretto con i fornitori, ricerche da prezzari e cataloghi ufficiali.

- Fornitura isolante EPS: 10 €/m²
- Posa in opera isolante EPS: 30 €/m²
- Rimozione Rivestimento esistente: 30 €/m²
- Intonacatura: 30 €/m²
- Tintura: 15 €/m²
- Rimozione infissi esistenti: 25 €/m²
- Fornitura Infisso con vetro doppio stratificato e telaio in legno: 700 €/m²
- Posa in opera Infisso con vetro doppio stratificato e telaio in legno: 110 €/m²
- Fornitura Infisso con vetro triplo stratificato e telaio in legno: 850 €/m²
- Posa in opera Infisso con vetro triplo stratificato e telaio in legno: 110 €/m²
- Fornitura pompa di calore: 14900 €
- Installazione pompa di calore: 3000 €
- Fornitura ventilconvettori: 750 € per pezzo
- Installazione ventilconvettori: 150 € per pezzo
- Fornitura materiale per impianto di distribuzione per riscaldamento, raffrescamento e ACS: 40 €/m
- Realizzazione impianto di distribuzione per riscaldamento, raffrescamento e ACS: 30 €/m
- Fornitura accumulatore acqua calda: 1850 €/m²
- Installazione accumulatore acqua calda: 300 € per pezzo
- Costo di allacciamento alla rete di teleriscaldamento: 7500 €
- Fornitura macchinario per la ventilazione meccanica controllata: 25000 €
- Fornitura canali: 5 €/m
- Fornitura diffusori: 100 € per pezzo
- Fornitura sistema di controllo e rilevamento: 12 €/m²
- Costi manodopera: 35 €/m²
- Fornitura pannello fotovoltaico: 150 € per pezzo
- Installazione impianto fotovoltaico: 3000 €
- Costi di demolizione e smaltimento: 10% del totale delle altre voci

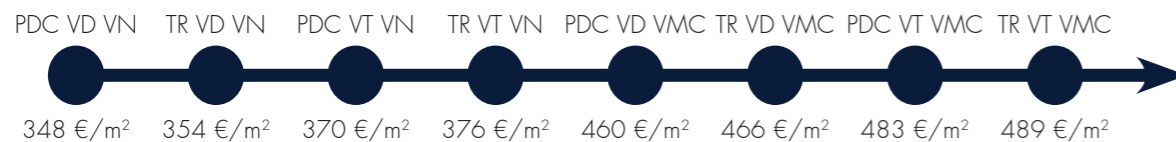


Figura N.34 Distribuzione economica opzione progettuali.

Come si può notare l'opzione con pompa di calore rispetto a quella con il teleriscaldamento ha un costo inferiore, perciò tra le due opzioni in un'ottica sia energetica che di fattibilità economica è più conveniente l'opzione con pompa di calore.

Se si volesse stilare una classifica quindi che comprenda sia l'aspetto energetico che economico secondo un principio di costi-benefici sarebbe la seguente.

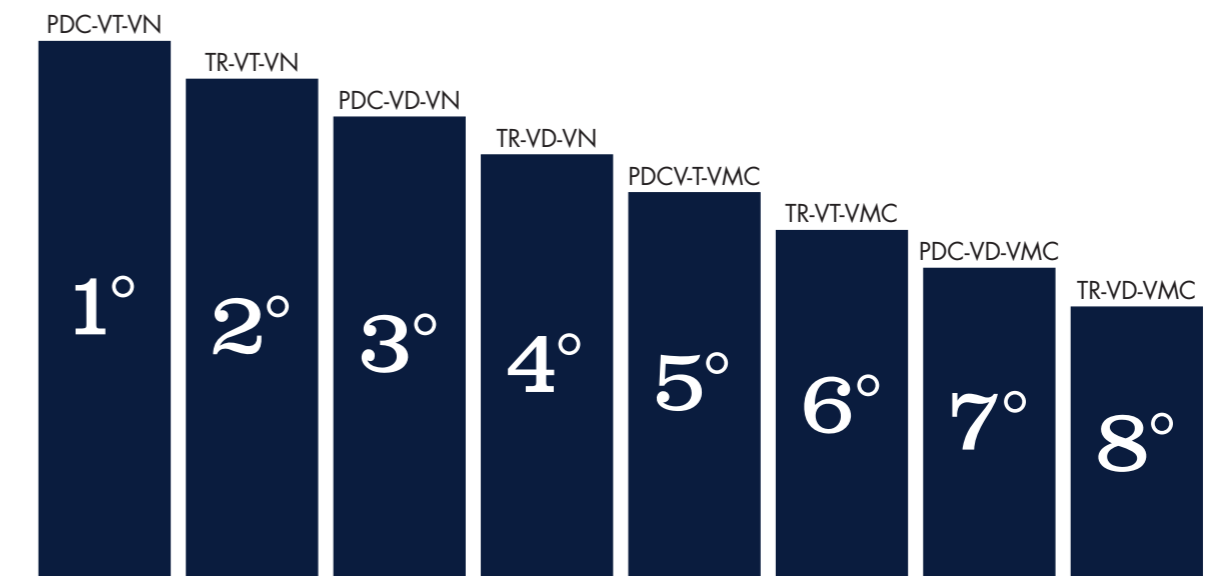


Figura N.35 Distribuzione energetica-economica opzione progettuali.

Si desidera sottolineare che, sebbene l'opzione con pompa di calore, vetro triplo e ventilazione naturale rappresenti la scelta più vantaggiosa, essa non rispetta completamente alcuni parametri, come già evidenziato in precedenza. Questa non conformità è dovuta principalmente all'elevato numero di ponti termici, che provocano una dispersione termica significativa, con conseguente impatto sull'efficienza complessiva dell'edificio, come già sottolineato più volte. Per dimostrare l'effetto di tale problema, si è ipotizzato un caso in cui, in maniera un po' irrealistica per il contesto italiano, venissero eliminati tutti i ponti termici. In questa simulazione, si è previsto un miglioramento delle performance energetiche dell'edificio, al fine di evidenziare quanto la riduzione delle dispersioni possa influire positivamente sui consumi e sul rispetto dei parametri normativi. Questa ipotesi, sebbene teorica, aiuta a comprendere l'importanza di minimizzare i ponti termici nell'ottica di ottenere un edificio davvero efficiente e conforme alle normative energetiche.

QUARTO CAPITOLO

Analisi energetica

4.6 VERIFICA SENZA PONTI TERMICI

Di seguito sono riportate le tabelle riassuntive delle verifiche prescritte dal D.M. 26/06/2015 dell'opzione con : pompa di calore per riscaldamento e raffrescamento, vetro doppio e ventilazione meccanica controllata.

è stata selezionata tale scelta perchè era la più sfavorevole a livello di coibentazione, quindi se questa opzione rispetta le verifiche sarà così anche per le altre.

Parametri	Valori ammissibile	Valore calcolato
H'_T [W/ m ² K]	0.75	0.36
$A_{sol,est}/ A_{sup\ utile}$ [-]	0.03	0.006
$EP_{H,nd}$ [kWh/m ²]	22.42	19.92
η_H [-]	56%	61.40%
EP_H [kWh/m ²]	36.04	28.42
η_W [-]	47.30%	68.60%
EP_W [kWh/m ²]	42.1	29.05
EP_V [kWh/m ²]	/	/
$EP_{C,nd}$ [kWh/m ²]	28.36	16.08
η_C [-]	92.10%	103.00%
EP_C [kWh/m ²]	30.79	15.61
$EP_{gl} = EP_H + EP_W + EP_V + EP_C + EP_L + EP_T$ [kWh/m ²]	108.93	73.08

■ Valori verificati
■ Valori non verificati

Tabella N.30 Verifiche caso senza ponti termici secondo D.M. 26/06/2015.

Come si può osservare dalla Tab. 30, il risultato ottenuto è esattamente quello previsto: tutti i parametri sono rispettati. Questo conferma l'ipotesi che i ponti termici, evidenziati in precedenza, abbiano un ruolo fondamentale nel determinare l'efficienza energetica complessiva dell'edificio. La loro eliminazione o riduzione contribuisce infatti a ridurre significativamente le dispersioni termiche, migliorando le performance e garantendo il rispetto dei limiti normativi. Questo scenario dimostra chiaramente come le dispersioni contribuiscono, in qualsiasi edificio, in modo significativo alla riduzione dell'efficienza dello stesso e come il controllo e la gestione dei ponti termici siano cruciali per ottenere edifici energeticamente efficienti e conformi alle normative vigenti.

CRITICITÀ NORMATIVE E SOLUZIONI

Questa tesi ha analizzato l'edilizia sostenibile, considerando implicazioni ambientali, sociali e normative in ambito italiano ed europeo. L'ultimo capitolo esamina le criticità legislative, evidenziando lacune normative, ambiguità interpretative e approcci poco incisivi che ostacolano l'implementazione di pratiche sostenibili. L'analisi affronta le normative italiane, dove obiettivi ambiziosi si scontrano con iter burocratici complessi e scarsa collaborazione tra istituzioni e settore. Inoltre, si analizza il contesto europeo, dove strategie sostenibili e legislazioni coerenti a tale tema sono limitate da poca chiarezza delle stesse e applicazioni disomogenee tra Stati membri. Oltre alla critica, il capitolo propone soluzioni per superare queste barriere, suggerendo interventi legislativi, strumenti per semplificare l'applicazione delle politiche e iniziative per sensibilizzare e formare gli operatori. L'obiettivo è stimolare un dibattito costruttivo e migliorare le politiche di sostenibilità edilizia a livello nazionale ed europeo.

Arrivati a questo punto, dopo tutte le analisi svolte nei capitoli precedenti, si ha tutto il necessario per poter dedicarsi a una critica più dettagliata e specifica del quadro normativo e proporre delle soluzioni.

Sono state riscontrate cinque problematiche principali, che nel corso di questo capitolo verranno esplicate e alle quali, come detto in precedenza, si proporrà una soluzione:

1. Cultura Italiana
2. Tempistiche
3. Vincoli
4. Software
5. Nuove tecnologie

5.1 CULTURA ITALIANA

Il primo aspetto critico che emerge è che, nonostante l'intervento, il cui costo è tutt'altro che irrilevante, non esiste una situazione, a meno di considerare quella idealizzata in cui l'edificio sia completamente privo di ponti termici, in cui tutti i requisiti previsti dal D.M. 26/06/2015 siano soddisfatti. Come già evidenziato, ciò dipende dall'ampia presenza di ponti termici e dalla presunta "impossibilità" di eliminarli.

In realtà, parlare di impossibilità non è del tutto corretto: dal punto di vista tecnico, tali criticità possono essere rimosse. Tuttavia, come accennato in precedenza, questo richiederebbe un approccio poco comune in Italia, ossia lo sgombero temporaneo dei residenti e il loro trasferimento in alloggi dedicati. Una soluzione di questo tipo, per quanto tecnicamente realizzabile, si scontra con ostacoli pratici e culturali profondi. Non è necessario essere esperti di sociologia per comprendere quanto sia complesso modificare abitudini consolidate, soprattutto in un contesto normativo che non riconosce appieno tali limitazioni strutturali e tradizionali.

Nel panorama culturale italiano, la casa non è vista solo come un bene materiale, ma come un simbolo di stabilità e radicamento, rendendo difficile accettare l'idea di abbandonarla, anche temporaneamente. Questo atteggiamento è ulteriormente complicato dall'assenza di una rete di strutture che supportino logisticamente e psicologicamente i residenti durante interventi così invasivi. Dal punto di vista legislativo, manca una regolamentazione che offra incentivi o obblighi chiari per promuovere il trasferimento temporaneo, così come una pianificazione che preveda strumenti per gestire queste situazioni in maniera sistematica. Di conseguenza, la realizzazione di interventi profondi si scontra non solo con ostacoli tecnici, ma con una radicata resistenza culturale e con un vuoto normativo.

Soluzione

Nonostante queste difficoltà, il problema non è insuperabile, esiste una strada percorribile, anche se impegnativa. Seguendo l'esempio dei Paesi del Nord Europa, sarebbe utile prevedere strutture

finanziate a livello pubblico, capaci di accogliere temporaneamente le persone coinvolte durante interventi di riqualificazione significativi che rendano inabitabili gli edifici. Tali strutture potrebbero includere complessi abitativi modulari e facilmente riconvertibili, pensati per essere utilizzati in maniera flessibile e distribuiti strategicamente sul territorio, in modo da ridurre al minimo i disagi per le famiglie.

Un sistema del genere non rappresenterebbe solo una risposta logistica, ma anche un'opportunità per creare posti di lavoro nella gestione delle strutture e nella pianificazione degli interventi, promuovendo un circolo virtuoso di investimenti e occupazione. Per garantire la sostenibilità economica, questo progetto potrebbe essere sostenuto attraverso una combinazione di finanziamenti nazionali e fondi europei, come quelli previsti dal Green Deal o da programmi specifici per la transizione energetica.

Tuttavia, una simile iniziativa richiederebbe un adeguamento normativo, con l'introduzione di incentivi fiscali per le imprese edili che adottano pratiche compatibili con la gestione temporanea dei residenti, e misure che obblighino gli enti locali a predisporre piani di accoglienza per situazioni di questo tipo.

5.2 TEMPISTICHE

Uno dei problemi più significativi nel rapporto tra l'Unione Europea e l'Italia in ambito normativo riguarda la marcata discrepanza tra i tempi di emanazione delle direttive europee e il loro effettivo recepimento a livello nazionale, nonostante le date di ricezione imposte dall'UE. Il Decreto Ministeriale 26 giugno 2015, ancora oggi rimane il principale riferimento per gli interventi energetici in Italia e ciò illustra chiaramente questa dinamica. Mentre l'Europa progredisce con aggiornamenti come la Direttiva 2018/844/EU e la recente Direttiva 2024/1275, il sistema normativo italiano si trova spesso bloccato in un ritardo cronico, incapace di stare al passo con le richieste europee. Tale ritardo non è esclusivamente una questione di inefficienza burocratica, ma riflette un problema strutturale che coinvolge entrambi i livelli, europeo e nazionale. A livello italiano, la definizione e l'attuazione delle normative richiedono processi complessi, come prove sperimentali, verifiche tecniche e procedure legislative che inevitabilmente rallentano il recepimento. Questi passaggi, seppur necessari per garantire che le norme siano adeguate al contesto locale, finiscono spesso per scontrarsi con la rigidità amministrativa e con una carenza di risorse dedicate. D'altra parte, l'Unione Europea, nel suo comprensibile sforzo di accelerare la transizione energetica, introduce normative con una frequenza che può risultare problematica. La continua emanazione di nuove direttive, in parte legata al mancato raggiungimento degli obiettivi climatici da parte di alcuni Stati membri, genera un effetto cumulativo che complica ulteriormente la capacità degli Stati di rispondere in modo efficace. La frequenza di questi aggiornamenti rischia di creare uno scollamento tra il piano normativo e quello operativo, dove i tempi necessari

per tradurre le direttive in misure concrete non sono tenuti sufficientemente in considerazione. Questa situazione non è però solo un problema di tempistiche. È anche una questione di visione strategica e di gestione delle priorità. Un recepimento tardivo non è solo una violazione formale delle richieste europee, ma rischia di tradursi in un ritardo nella modernizzazione del settore energetico, con conseguenze tangibili sul piano economico, ambientale e sociale. In Italia, la lentezza nel recepimento delle direttive può ostacolare l'accesso a fondi e incentivi europei, rallentando il progresso verso un'energia più sostenibile.

Soluzione

Per affrontare questa sfida, è necessario un approccio bilaterale e integrato. Da parte dell'Italia, occorre un miglioramento significativo nella capacità di recepire e implementare le normative, ad esempio attraverso una maggiore digitalizzazione dei processi, il potenziamento delle risorse umane e una collaborazione più stretta tra enti pubblici e privati. Allo stesso tempo, l'Unione Europea dovrebbe adottare una strategia normativa più coordinata, che bilanci l'urgenza del cambiamento con la necessità di lasciare agli Stati membri il tempo necessario per attuare le disposizioni in modo efficace.

Un passo concreto potrebbe essere rappresentato da un'implementazione dei meccanismi di monitoraggio esistenti e supporto da parte dell'Unione Europea. Tali meccanismi non devono limitarsi a sanzionare i ritardi, in modo da spronare gli Stati membri a velocizzare il proprio processo di adeguamento, ma devono anche aiutare gli stessi Stati membri a superare le difficoltà operative e non essere lasciati in balia delle indicazioni, abbastanza generiche, dell'UE. Allo stesso modo, una pianificazione normativa più stabile e meno frammentata potrebbe facilitare il recepimento, evitando che gli Stati debbano rincorrere continuamente nuovi obiettivi senza aver ancora raggiunto quelli precedenti. Solo un approccio più flessibile e collaborativo, basato su una visione di lungo termine, potrà ridurre il divario temporale tra direttive europee e applicazione nazionale, garantendo un progresso uniforme verso un futuro energetico più sostenibile ed equo.

5.3 VINCOLI

Uno dei principali problemi legati alle direttive europee è l'eccessiva generalizzazione dei vincoli imposti, che può compromettere l'efficacia delle misure adottate nei singoli Stati membri. Sebbene l'ultima revisione normativa abbia apportato alcuni miglioramenti, il problema persiste, poiché le direttive spesso mancano di linee guida operative dettagliate, lasciando agli Stati membri e ai professionisti ampi margini di interpretazione. Questo scenario, se da un lato garantisce una certa flessibilità, dall'altro può portare all'adozione di soluzioni che, pur rispettando formalmente i requisiti normativi, non sono né le più ottimali né le più efficaci per il raggiungimento degli obiettivi prefissati. Un approccio più generalizzato consente effettivamente a ogni Stato membro

di adattare le direttive al proprio contesto culturale, storico, economico e sociale, permettendo un'applicazione personalizzata e meno rigida. Tuttavia, questa flessibilità può generare disomogeneità nell'attuazione delle normative, con il rischio che alcuni Paesi adottino misure minime di conformità, senza perseguire un miglioramento sostanziale e duraturo. Ciò porta a un'applicazione frammentata delle politiche europee, in cui ogni Stato risponde principalmente alle proprie esigenze interne, spesso senza un coordinamento efficace a livello internazionale. Inoltre, l'assenza di standard operativi chiari può creare disequilibri competitivi tra i diversi Stati membri, generando incertezza per aziende e professionisti che operano in un mercato sempre più interconnesso. Alcuni settori potrebbero trovarsi avvantaggiati o svantaggiati in base all'interpretazione nazionale delle norme, limitando la possibilità di una vera armonizzazione del mercato europeo.

Sarebbe auspicabile, invece, adottare un approccio che guardi a un quadro internazionale, dove le soluzioni proposte non rispondano solo agli interessi locali, ma a un bene comune più vasto, che tenga conto delle direttive europee come punto di partenza per un'armonizzazione più coerente.

Soluzione

Per raggiungere questo obiettivo, l'Unione Europea dovrebbe adottare un approccio normativo più strutturato e mirato, definendo limiti, procedure e strategie più specifiche in base alle caratteristiche e alle esigenze dei singoli Stati membri. Piuttosto che applicare regolamenti uniformi a tutti i Paesi, sarebbe più efficace sviluppare piani di intervento calibrati su specifiche tipologie di Stati, al fine di garantire un'applicazione più equa ed efficiente delle direttive e facilitare il raggiungimento degli obiettivi fissati dall'UE.

Questa suddivisione potrebbe avvenire secondo criteri oggettivi e misurabili, come la situazione economica e il livello di sviluppo industriale, che incidono sulla capacità di adottare nuove misure senza compromettere la stabilità del sistema produttivo. Anche l'uso delle risorse rinnovabili potrebbe rappresentare un parametro rilevante, incentivando i Paesi con maggiore potenziale energetico sostenibile e supportando quelli che necessitano di infrastrutture adeguate per la transizione ecologica. Un ulteriore criterio utile potrebbe essere il valore delle emissioni di CO₂, con regolamenti proporzionali agli attuali livelli di inquinamento e alle politiche ambientali già adottate. Infine, il patrimonio edilizio e infrastrutturale di ciascun Paese meriterebbe attenzione, tenendo conto delle differenze tra realtà con un'edilizia storica da riqualificare e altre con strutture più moderne già conformi agli standard energetici.

Un ulteriore passo avanti potrebbe essere la combinazione di più criteri, creando una segmentazione ancora più dettagliata e funzionale. Ad esempio, un Paese con un'economia in crescita ma con elevate emissioni di CO₂ potrebbe essere soggetto a incentivi e finanziamenti per accelerare la transizione ecologica, mentre un altro con una forte dipendenza da combustibili

fossili potrebbe ricevere linee guida più flessibili ma con obiettivi a lungo termine più ambiziosi. Questo approccio consentirebbe di elaborare piani di intervento più realistici e adattabili, migliorando l'efficacia delle direttive europee e facilitandone l'applicazione pratica in contesti nazionali diversi. Inoltre, permetterebbe di ridurre le discrepanze tra gli Stati membri, promuovendo una maggiore collaborazione e uniformità negli sforzi verso la sostenibilità e l'innovazione tecnologica.

5.4 SOFTWARE

I software per il calcolo energetico sono strumenti fondamentali per progettisti, ingegneri e architetti, in quanto consentono di valutare le prestazioni degli edifici e pianificare interventi per migliorarne l'efficienza energetica. Tuttavia, presentano limiti significativi che ne riducono l'efficacia e, in alcuni casi, ostacolano l'adozione di soluzioni innovative e avanzate. Prendendo come esempio il software Edilclima, ma estendendo il discorso a tutti i software del settore, emerge chiaramente che uno dei principali limiti riguarda la rigidità delle tecnologie supportate. Ad esempio, Edilclima non consente l'uso di tecnologie alternative per il raffrescamento, limitandosi alla pompa di calore, e non permette di considerare soluzioni come il teleraffrescamento. Questo può compromettere la valutazione delle opzioni più efficienti e sostenibili, come evidenziato nei risultati presentati nel capitolo precedente. Inoltre, questi software non considerano tecnologie intelligenti, come gli oscuranti smart, che potrebbero portare a un miglioramento delle prestazioni energetiche complessive. Un altro problema risiede nel fatto che molti software sono progettati su modelli standardizzati che non tengono conto delle specificità dei materiali innovativi o delle tecniche costruttive alternative. Inoltre, spesso non permettono di andare oltre i limiti imposti dalle normative, scoraggiando così l'adozione di soluzioni fuori dagli schemi convenzionali e limitando la ricerca di alternative più performanti.

Un ulteriore limite significativo è la scarsa integrazione dei software con i dati reali provenienti dai sistemi di monitoraggio energetico. Le tecnologie IoT (Internet of Things) e i sistemi di monitoraggio continuo potrebbero fornire dati dettagliati e in tempo reale sulle prestazioni degli edifici, migliorando l'accuratezza dei modelli predittivi. Tuttavia, molti software non sono in grado di elaborare questi dati dinamici, basandosi invece su assunzioni statiche che non riflettono le variazioni legate all'uso effettivo dell'edificio o alle condizioni ambientali. Questo divario tra le potenzialità delle tecnologie moderne e le capacità effettive dei software evidenzia una mancanza di aggiornamento e flessibilità nei sistemi di calcolo energetico. Da un lato, i produttori di software devono affrontare la sfida di aggiornare costantemente i propri strumenti per includere le soluzioni più avanzate. Dall'altro, gli utilizzatori necessitano di strumenti che non solo rispettino le normative vigenti, ma che offrano una visione più completa e realistica

delle opzioni disponibili, permettendo una progettazione più efficace e in linea con le esigenze reali degli edifici.

Soluzione

È evidente che risulta estremamente complesso per i produttori e i programmatori dei software energetici riuscire a stare costantemente al passo con le rapide modifiche tecnologiche, offrendo allo stesso tempo la possibilità di andare oltre i limiti normativi per consentire analisi più dettagliate e approfondite. Non si tratta infatti solo di integrare aggiornamenti brevi, ma di dover affrontare cambiamenti di portata significativa. Una soluzione innovativa potrebbe essere rappresentata dall'adozione dell'intelligenza artificiale (AI), che offre un'opportunità per superare i limiti dei software energetici tradizionali, rendendoli più flessibili e adattabili. Grazie all'uso di algoritmi di apprendimento automatico, i software basati sull'AI possono integrare materiali e tecnologie non convenzionali, come la terra cruda o il teleraffrescamento, analizzandone le prestazioni reali e offrendo simulazioni più precise e veritiere. L'AI, inoltre, è in grado di elaborare dati in tempo reale provenienti dai sensori IoT⁶², migliorando significativamente la precisione dei calcoli e consentendo valutazioni dinamiche delle condizioni operative degli edifici. Attraverso tecniche di ottimizzazione automatica, i software possono individuare le migliori combinazioni di materiali e soluzioni progettuali, bilanciando efficienza energetica, costi e sostenibilità. Infine, l'intelligenza artificiale garantisce un aggiornamento continuo dei software, mantenendoli sempre allineati con le ultime innovazioni tecnologiche e normative. In questo modo, i software diventano strumenti indispensabili per una progettazione edilizia più efficace e sostenibile, in grado di affrontare le sfide del futuro in maniera sempre più mirata e personalizzata.

5.5 NUOVE TECNOLOGIE

Un altro problema significativo riguarda la legislazione italiana, che impone vincoli stringenti che limitano l'applicazione di soluzioni costruttive innovative, soprattutto quando si tratta di materiali e tecnologie non convenzionali. Sebbene il quadro normativo sia pensato per garantire elevati standard di efficienza energetica e sicurezza, spesso esclude l'utilizzo di materiali naturali come ad esempio: a paglia e la terra cruda. Questi, pur offrendo numerosi benefici, sono frequentemente considerati non conformi ai requisiti tecnici previsti dalle normative. Le difficoltà derivano principalmente dall'incapacità di questi materiali di essere integrati nei modelli prestazionali standardizzati, che costituiscono la base della normativa italiana. La paglia e la terra cruda, ad esempio, presentano ottime proprietà termiche, acustiche e igrometriche, ma la loro classificazione secondo i parametri tradizionali risulta complessa. Inoltre, la normativa

⁶²L'Internet of Things (IoT) è una rete di oggetti e dispositivi connessi (detti "cose") dotati di sensori (e altre tecnologie) che consentono loro di trasmettere e ricevere dati, da e verso altre cose e sistemi.

richiede che i materiali soddisfino rigidi criteri di certificazione, che non sempre tengono conto delle peculiarità dei materiali naturali e delle tecniche costruttive tradizionali. Un altro ostacolo è la mancanza di protocolli condivisi per il monitoraggio e la certificazione delle prestazioni di queste tecnologie non convenzionali. Nonostante la paglia e la terra cruda siano ampiamente utilizzati in altri Paesi, supportati da solide evidenze scientifiche e pratiche, non trovano spazio nel panorama normativo italiano, che tende a privilegiare soluzioni tecnologiche più convenzionali e già convalidate industrialmente. Sebbene questo approccio garantisca standard uniformi, penalizza l'introduzione di pratiche costruttive più sostenibili, che potrebbero ridurre l'impatto ambientale e favorire un maggiore rispetto dell'ambiente. Questa rigidità normativa ha diverse implicazioni. In primo luogo, scoraggia l'innovazione nel settore della bioedilizia, che potrebbe beneficiare notevolmente dall'utilizzo di materiali naturali a basso impatto. In secondo luogo, limita la diffusione di pratiche che potrebbero contribuire a ridurre le emissioni di carbonio nell'industria edilizia. Infine, si perde l'opportunità di valorizzare il patrimonio culturale e tecnico legato alle costruzioni tradizionali, che da secoli utilizzano materiali come la terra cruda e la paglia, ottenendo ottimi risultati in termini di comfort abitativo, ovviamente questo discorso non si limita alla paglia o alla terra cruda ma è valido per qualsiasi soluzione tecnologica non standard.

Ciò non significa che le soluzioni tecnologiche debbano essere adottate senza regolamentazioni o controlli, ma piuttosto che occorrerebbe un aggiornamento della normativa, in modo che possa integrare anche i materiali naturali, garantendo al contempo sicurezza e efficacia delle tecnologie adottate.

Soluzione

Per superare questi ostacoli, sarebbe fondamentale un aggiornamento normativo che introduca maggiore flessibilità e apertura verso soluzioni alternative, promuovendo un quadro legislativo più dinamico e adattabile alle rapide evoluzioni del settore. Un approccio efficace dovrebbe prevedere un dialogo costante tra normativa nazionale e innovazione tecnologica, consentendo di integrare strumenti avanzati come l'intelligenza artificiale (AI), i sistemi di monitoraggio intelligente e le piattaforme di analisi predittiva. Questi strumenti potrebbero supportare una regolamentazione più reattiva e basata su dati in tempo reale, capace di adeguarsi alle esigenze dei diversi contesti territoriali e climatici, ottimizzando al contempo l'efficienza e la sicurezza delle soluzioni adottate.

Inoltre, sarebbe utile favorire una maggiore sinergia tra enti normativi, istituzioni accademiche e industria, creando un ecosistema di collaborazione in cui le normative non siano viste come un vincolo rigido, ma come un motore di innovazione. L'adozione di un modello normativo modulare e scalabile, aggiornabile in base ai progressi scientifici e tecnologici, potrebbe contribuire a superare le rigidità della normativa attuale, facilitando l'integrazione di materiali innovativi,

QUINTO CAPITOLO

Criticità normative e soluzioni

tecniche costruttive avanzate e strategie di progettazione sostenibile.

Un sistema normativo più aperto e dinamico non solo stimolerebbe l'adozione di pratiche più sostenibili a livello globale, ma favorirebbe anche una maggiore competitività del settore, incentivando le imprese a investire in ricerca e sviluppo senza il timore di ostacoli burocratici eccessivi. Questo approccio consentirebbe di armonizzare l'innovazione con la regolamentazione, garantendo standard elevati di sicurezza, efficienza ed eco-compatibilità, in linea con gli obiettivi di transizione ecologica e digitale.

5.6 CONCLUSIONI

Da quanto esposto finora, è evidente che è necessaria una riforma dell'approccio burocratico riguardante la sostenibilità edilizia. Sono state proposte delle soluzioni alle problematiche evidenziate; tuttavia, non si intende in alcun modo sminuire il lavoro di chi gestisce il quadro legislativo, sia a livello europeo che nazionale. L'intento è, piuttosto, quello di offrire il punto di vista di chi opera attivamente nel settore e si scontra quotidianamente con i limiti delle direttive e fornire una base di partenza per la modifica del quadro legislativo. Le problematiche evidenziate e le soluzioni proposte rappresentano solo alcune delle lacune esistenti, e si è consapevoli del fatto che il cambiamento non può essere istantaneo, ma richiede un lungo periodo di studio e sperimentazione.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha affrontato il tema della sostenibilità in edilizia con un approccio pragmatico, combinando un'analisi teorica del quadro normativo con una valutazione applicata di strategie di retrofit energetico. La ricerca ha evidenziato come il settore edilizio sia uno dei principali responsabili del consumo energetico globale e delle emissioni di gas serra, ponendosi quindi al centro delle politiche di transizione ecologica. Tuttavia, nonostante l'importanza crescente delle normative europee e italiane in materia di efficienza energetica, permangono criticità che ne limitano l'efficacia sul piano pratico. L'attuale quadro legislativo, seppur ambizioso negli obiettivi, risulta spesso frammentato, complesso da applicare e privo di un coordinamento sufficiente tra incentivi, obblighi normativi e strumenti tecnici a supporto della riqualificazione. Queste difficoltà rallentano il processo di trasformazione del patrimonio edilizio esistente, che rimane in larga parte inefficiente e responsabile di un elevato consumo di risorse.

L'analisi ha evidenziato che il retrofit energetico non è solo una risposta necessaria alla crisi climatica, ma anche un'opportunità concreta per ridurre i consumi, migliorare il comfort abitativo e valorizzare il patrimonio immobiliare, in particolar modo. Il caso studio analizzato ha confermato che una progettazione attenta del retrofit ma che segue un approccio tranquillamente replicabile a qualsiasi edificio eccezion fatta per i casi particolari, consente di ottenere risultati concreti con interventi calibrati sulle specifiche esigenze dell'edificio, evitando sprechi e massimizzando i benefici.

Tuttavia, affinché queste soluzioni siano adottate su larga scala, è necessario superare alcuni ostacoli ancora presenti, in particolare quelli di natura normativa e burocratica. L'attuale quadro legislativo europeo e italiano, come detto in precedenza, sebbene orientato alla sostenibilità, risulta frammentato e di difficile applicazione, soprattutto per chi non possiede competenze tecniche avanzate. Per questo motivo, la guida proposta in questa tesi si pone come uno strumento utile per tradurre la complessità normativa in indicazioni pratiche, fornendo una visione chiara dei requisiti da rispettare e delle opportunità offerte dagli incentivi disponibili.

Inoltre, le proposte avanzate mirano a semplificare queste difficoltà evidenziate durante il corso della tesi, ponendosi come base per integrazioni e modifiche future, considerando che l'ambito della sostenibilità è un qualcosa in continua evoluzione ed estremamente dinamico.

In definitiva, il retrofit energetico rappresenta una delle strategie più efficaci per ridurre l'impatto ambientale del settore edilizio, senza dover attendere la sostituzione completa del patrimonio costruito. Interventi mirati, supportati da una guida chiara e accessibile, possono rendere questo processo alla portata di tutti, contribuendo a una trasformazione concreta e misurabile del nostro ambiente costruito.

ELENCO FIGURE

- Figura N.1 Schema riassuntivo processo conversione da energia primaria a secondaria.
Figura N.2 Quadro legislativo europeo e italiano.
Figura N.3 vista a volo d'uccello 1.
Figura N.4 vista a volo d'uccello 2.
Figura N.5 prospetto sud-ovest.
Figura N.6 basamento sud-ovest.
Figura N.7 sesto piano.
Figura N.8 piano tipo.
Figura N.9 piano rialzato.
Figura N.10 Muro basamento stato di fatto lato strada.
Figura N.11 Muro tipo lato stato di fatto lato strada.
Figura N.12 Muro lato cortile stato di fatto.
Figura N.13 Muro divisorio tra appartamenti/edifici stato di fatto.
Figura N.14 Solaio interpiano stato di fatto.
Figura N.15 Solaio contro terra stato di fatto.
Figura N.16 Copertura stato di fatto.
Figura N.17 Zone termiche pianta piano rialzato.
Figura N.18 Zone termiche pianta piano tipo.
Figura N.19 Zone termiche pianta sesto piano.
Figura N.20 Zone termiche sezione.
Figura N.21 Muro basamento lato strada/Muro lato cortile stato in progetto.
Figura N.22 Muro tipo lato strada stato in progetto.
Figura N.23 Muro Verso vano scala/verso altri edifici.
Figura N.24 Solaio verso sottotetto..
Figura N.25 Solaio verso cantina.
Figura N.26 Muro contro terra stato in progetto.
Figura N.27 Copertura stato in progetto.
Figura N.28 Solaio contro terra stato in progetto.
Figura N.29 Stratigrafia vetro doppio statificato basso emissivo.
Figura N.30 Stratigrafia vetro triplo.
Figura N.31 Schema ponte termico balcone.
Figura N.32 Schema ponte termico serramento.
Figura N.33 Schema ponte termico attacco a terra.
Figura N.34 Distribuzione economica opzione progettuali.
Figura N.35 Distribuzione energetica-economica opzione progettuali.

ELENCO GRAFICI

- Grafico N. 1 Emissioni gas a effetto serra UE 2021.
Grafico N.2 Incidenza e emissioni dei settori principali.
Grafico N.3 Fattori di conversione per energia primaria.
Grafico N.4 Distribuzione del campione per tipologia edilizia.
Grafico N.5 Distribuzione del campione per tipologia edilizia.
Grafico N.6 Distribuzione del campione per efficienza media del sistema di riscaldamento (η_{HT}).
Grafico N.7 Distribuzione delle fonti energetiche per il riscaldamento.
Grafico N.8 Distribuzione delle fonti energetiche per l'ACS.
Grafico N.9 Distribuzione delle fonti energetiche per il riscaldamento.
Grafico N.10 Distribuzione delle fonti energetiche per l'ACS.
Grafico N.11 EP_{nren} per riscaldamento.
Grafico N.12 EP_{nren} per ACS.
Grafico N.13 Box plot valori di trasmittanza opaca.
Grafico N.14 Box plot valori di trasmittanza trasparente.
Grafico N.15 Box plot. valori di efficienza impianto di riscaldamento.
Grafico N.16 Scelta dell'isolante migliore per il caso studio.
Grafico N.17 Distribuzione temperature interne-esterne Torino 2024.
Grafico N.18 Confronto valori H'_T .
Grafico N.19 Confronto valori $EP_{H,nd}$.
Grafico N.20 Confronto valori EP_{gl} .
Grafico N.21 Confronto valori $EP_{gl, nren}$.
Grafico N.22 Confronto valori EP_{gl} e $EP_{H,nd}$ per ogni opzione di progetto.

ELENCO TABELLE

- Tabella N.1 parametri da verificare secondo DM 26/06/2015.
Tabella N.2 Verifiche stato di fatto secondo D.M. 26/06/2015.
Tabella N.3 Verifiche stato di fatto secondo D.Lgs. 03/03/2011.
Tabella N.4 Tabella riassuntiva verifiche massa superficiale stato di fatto.
Tabella N.5 Tabella riassuntiva verifiche trasmittanza termica periodica stato di fatto.
Tabella N.6 Tabella riassuntiva verifiche trasmittanza termica stato di fatto.
Tabella N.7 Riassunto caratteristiche isolanti.
Tabella N.8 COP pompa di calore.
Tabella N.9 EER pompa di calore.
Tabella N.10 Tabella riassuntiva verifiche massa superficiale stato in progetto.
Tabella N.11 Tabella riassuntiva verifiche trasmittanza termica periodica stato in progetto.

Tabella N.12 Tabella riassuntiva verifiche trasmittanza termica stato in progetto.
 Tabella N.13 Verifiche opzione PdC, VD, VN secondo D.M. 26/06/2015.
 Tabella N.14 Verifiche PdC, VD, VN secondo DLgs 03/03/2011.
 Tabella N.16 Verifiche PdC, VD, VMC secondo DLgs 03/03/2011.
 Tabella N.17 Verifiche PdC, VT, VN secondo D.M. 26/06/2015.
 Tabella N.18 Verifiche PdC, VT, VN secondo DLgs 03/03/2011.
 Tabella N.19 Verifiche PdC, VT, VMC secondo D.M. 26/06/2015.
 Tabella N.20 Verifiche PdC, VT, VMC secondo DLgs 03/03/2011.
 Tabella N.21 Verifiche TR, VD, VN secondo D.M. 26/06/2015.
 Tabella N.22 Verifiche TR, VD, VN secondo DLgs 03/03/2011.
 Tabella N.23 Verifiche TR, VD, VMC secondo D.M. 26/06/2015.
 Tabella N.24 Verifiche TR, VD, VMC secondo DLgs 03/03/2011.
 Tabella N.25 Verifiche TR, VT, VN secondo D.M. 26/06/2015.
 Tabella N.26 Verifiche TR, VT, VN secondo DLgs 03/03/2011.
 Tabella N.27 Verifiche TR, VT, VMC secondo D.M. 26/06/2015.
 Tabella N.28 Verifiche TR, VT, VMC secondo DLgs 03/03/2011.
 Tabella N.29 Confronto valori η_H .
 Tabella N.30 Verifiche caso senza ponti termici secondo D.M. 26/06/2015.

ELENCO SIGLE

ACS: Acqua calda sanitaria.
 Asol,est/ Asup utile: Area solare equivalente estiva per unità di superficie utile.
 COP: Coefficient of performance.
 CH₄: Metano.
 CO₂: Anidride carbonica/ diossido di carbonio.
 D.M: Decreto Ministeriale.
 D.Lgs: Decreto Legislativo.
 EP_C: indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva.
 EP_{gl}: indice di prestazione energetica globale dell'edificio.
 EP_v: indice di prestazione energetica per la ventilazione.
 EP_H: indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale.
 EP_{H,nd}: indice di prestazione termica utile per riscaldamento.
 EP_w: indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria.
 EER: Energy efficiency ratio.
 EPBD: Energy performance of Building Directive.

f_{p,nren}: fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile.
 f_{p,ren}: fattore di conversione in energia primaria rinnovabile.
 f_{p,tot}: fattore di conversione in energia totale.
 GHG: Greenhouse gases.
 GWP: Global warming potential.
 H'_T: coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente.
 HFC: Idrofluorocarburi.
 Ms: Massa superficiale.
 N₂O: Protossido di azoto.
 NF₃: Trifluoruro di azoto.
 PdC: Pompa di calore.
 PFC: Perfluorocarburi.
 P_n: Potenza nominale.
 TR: Teleriscaldamento.
 UE: Unione Europea.
 UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change.
 U: Trasmittanza termica.
 U_f: Trasmittanza termica telaio.
 U_g: Trasmittanza termica vetro.
 U_w: Trasmittanza termica serramento.
 VD: Vetro doppio.
 VT: Vetro triplo.
 VN: Ventilazione naturale.
 VMC: Ventilazione meccanica controllata.
 Yie: Trasmittanza termica periodica.

BIBLIOGRAFIA

- Agenzia delle entrate, Agevolazione per le ristrutturazioni edilizie.
Link:
<https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/web/guest/aree-tematiche/casa/agevolazioni/agevolazioni-per-le-ristrutturazioni-edilizie>
- Agenzia delle entrate, Superbonus 110%.
Link:
<https://www.agenziaentrate.gov.it/portale/superbonus-110%25>
- Architecture 2030, Why the built environment.
Link:
<https://www.architecture2030.org/why-the-built-environment/>
- Chimica online, distillazione frazionata.
Link:
<https://www.chimica-online.it/download/distillazione-frazionata.htm>
- Decreto Ministeriale 26/06/2015 Requisiti Minimi.
Link:
<https://www.mimit.gov.it/it/normativa/decreti-interministeriali/decreto-interministeriale-26-giugno-2015-applicazione-delle-metodologie-di-calcolo-delle-prestazioni-energetiche-e-definizione-delle-prescrizioni-e-dei-requisiti-minimi-degli-edifici>
- Direttiva 2009/28/CE Del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili.
Link:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0028>
- Direttiva europea 2002/91/CE del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia.
Link:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:32002L0091>
- Direttiva europea 2010/31/UE del 18 giugno 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.
Link:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/ALL/?uri=CELEX%3A32010L0031>
- Direttiva 2012/27/UE Del Parlamento europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica.
Link:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:32012L0027>
- Direttiva 2018/844/EU Del Parlamento europeo e del Consiglio del 30 maggio 2018 che modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.
Link:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:32018L084>
- Direttiva (UE) 2018/2001 Del Parlamento europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2018 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili (rifusione).
Link:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:32018L2001>
- Direttiva europea 2024/1275 del 24 aprile 2024 sulla prestazione energetica nell'edilizia.
Link:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:32024L1275>
- Ecobonus.
Link:
<https://ecobonus.mise.gov.it/>
- Geopop, Come fa l'energia solare a trasformarsi in elettricità.
Link:
<https://www.geopop.it/come-fa-l-energia-solare-a-trasformarsi-in-elettricit%C3%A0-il-funzionamento-dei-pannelli-fotovoltaici>
- Iren, Teleriscaldamento.
Link:
<https://www.gruppoiren.it/it/i-nostri-servizi/teleriscaldamento.html>
- Legambiente
Link:
<https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2023/10/Embodied-Carbon-2023.pdf?>
- Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica, Fondo Nazionale Efficienza Energetica.
Link:
<https://www.mase.gov.it/energia/efficienza-energetica/fondo-nazionale-efficienza-energetica#:~:text=Cos%27C3%A8,un%20adeguata%20condivisione%20dei%20rischi>
- Ministero delle imprese e dell made in Italy, PNRR - Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza.
Link:
<https://www.mimit.gov.it/it/pnrr/piano>
- Parlamento Europeo, Cambiamento climatico: gas a effetto serra che causano il riscaldamento globale.
Link:
<https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20230316STO77629/cambiamento-climatico-gas-a-effetto-serra-che-causano-il-riscaldamento-globale>
- Politecnico di Torino (2022), Transizione energetica e architettura Low Carbon B, Dipartimento di Architettura e Design.
- Regione Ambiente, Patrimonio edilizio italiano: la sfida della riqualificazione energetica.
Link:
<https://www.regioneambiente.it/patrimonio-edilizio-rapporto/>

- Regione Piemonte, Regole per l'accensione degli impianti termici.
Link:
<https://www.regione.piemonte.it/web/temi/sviluppo/sviluppo-energetico-sostenibile/regole-per-laccensione-degli-impianti-termici#:~:text=Nella%20zona%20climatica%20E%20e,e%20le%20ore%2023%3A00>
- SNPAMBIENTE, la produzione di energia dalla risorsa geotermica.
Link:
<https://www.snpambiente.it/snpa/arpa-toscana/la-produzione-di-energia-dalla-risorsa-geotermica>
- Treccani, Enciclopedia. Istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani, Roma, 2017.
Link:
<https://www.treccani.it/>
- United Nations Climate Change, What is Kyoto Protocol?
Link:
https://unfccc.int/kyoto_protocol?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA3sq6BhD2ARIsAJ8MRwWYS-cRWraDnZrBZlPat7iA7kqtjxIAbmrQqD0bnzvlG8mflitNzsgsaAu_vEALw_wcB
- United Nations Climate Change.
Link:
<https://unfccc.int/>