



REGIONE
LAZIO



**LINEE GUIDA PER
L'EFFICIENTAMENTO
ENERGETICO DI
EDIFICI RESIDENZIALI
DELLA REGIONE LAZIO**

Regione Lazio

Assessorato alle Politiche abitative, Urbanistica, Ciclo dei Rifiuti e impianti di trattamento, smaltimento e recupero

Assessore: Massimiliano Valeriani

Direzione Regionale per le Politiche Abitative e la Pianificazione Territoriale, Paesistica e Urbanistica

Direttore: Manuela Manetti

Area Edilizia Residenziale Sovvenzionata

Dirigente: Pierpaolo Rocchi

Area Supporto ai Comuni per la Pianificazione Urbanistica, il Recupero dei Centri Storici e la Riqualficazione Urbana

Dirigente: Fabio Bisogni

Servizio Progettazione Europea

Ferdinando Rossi

Coordinamento tecnico regionale

Giulia Santini

Ricerca, raccolta ed elaborazione a cura del Centro Interdipartimentale Territorio Edilizia Restauro Ambiente (CITERA) della Sapienza - Università di Roma

Coordinatore: Prof. Fabrizio Cumo

Agostinelli Sofia

Pennacchia Elisa

Sforzini Matteo

Tiberi Mariagrazia

This research activity is carried out within the European project ENERSELVES in collaboration between the Lazio Region and the CITERA Interdepartmental Research Center of the University of Rome "Sapienza" aimed at identifying best practices for the energy efficiency of the residential building of the Lazio Region. The main objectives of the project are:

- Support the integration of Renewable Energy Sources in buildings;
- Promote new policies or improve existing policies in order to enhance the self-consumption of energy produced from renewable sources in buildings;
- Propose interventions or strategies, dependent on the climatic zone of implementation, which allow to maximize the benefit from the use of renewable sources.

The ENERSELVES project is a European Territorial Cooperation project, approved within the 2014-2020 Interreg Europe Program, a community program aimed at improving regional development policies by promoting the exchange of experiences and good practices between public institutions, and supported by the European Fund of Regional Development.

L'attività di ricerca è stata svolta nell'ambito del progetto europeo ENERSELVES in collaborazione con la Regione Lazio ed il centro Interdipartimentale di ricerca CITERA dell'Università di Roma "Sapienza" finalizzata alla individuazione di best practice per l'efficientamento energetico del patrimonio edilizio residenziale della Regione Lazio. Gli obiettivi principali del progetto sono:

- Supportare l'integrazione delle Fonti di Energia Rinnovabili negli edifici;
- Promuovere nuove politiche o migliorare le politiche esistenti al fine di potenziare l'autoconsumo di energia prodotta da fonti rinnovabili negli edifici;
- Proporre interventi o strategie, dipendenti dalla zona climatica di attuazione, che consentano di massimizzare il beneficio provenienti dall'uso di fonti rinnovabili.

Il Progetto ENERSELVES è un progetto di Cooperazione Territoriale Europea, approvato all'interno del Programma *Interreg Europe 2014-2020*, programma comunitario atto a migliorare le politiche di sviluppo regionale incentivando lo scambio di esperienze e buone pratiche tra Istituzioni pubbliche, e sostenuto dal *Fondo Europeo di Sviluppo Regionale*.

INDICE

Introduzione	7
1. Descrizione della metodologia adottata per la redazione delle Linee Guida	9
1.1 Quadro normativo	10
2. Analisi delle categorie di interventi di efficientamento	13
2.1 Generalità	13
2.2 Ambito di applicazione	14
3. Diagnosi energetica finalizzata alla riduzione delle dispersioni e all'ottimizzazione della produzione energetica	19
4. Embodied energy correlata alle attività di manutenzione	24
5. Installazione di sistemi di isolamento per l'involucro edilizio	31
5.1 Chiusure verticali	32
5.1.1 Tipologie di chiusure verticali opache	33
5.1.2 Tipologie di chiusure verticali trasparenti	34
5.2 Evoluzione della tecnologia delle chiusure verticali	36
5.2.1 Chiusure verticali opache.....	37
5.2.2 Chiusure verticali trasparenti.....	39
5.3 Strategie di intervento	40
5.3.1 Soluzioni per efficientare la parete perimetrale verticale opaca.....	41
5.3.2 Soluzioni per efficientare l'involucro trasparente	47
6. Efficientamento dei sistemi di riscaldamento	56
6.1 Generatore di calore	57
6.1.1 Manutenzione del generatore di calore	57
6.1.2 Sostituzione del generatore di calore	58
6.2 Rete di distribuzione dell'impianto di riscaldamento	67
6.2.1 Coibentazione delle tubazioni	68
6.2.2 Sostituzione delle unità terminali di emissione	68
6.3 Sistemi di termoregolazione	74
6.3.1 Regolazione climatica	74
6.3.2 Regolazione di zona	75
6.3.3 Regolazione ambiente	76
6.3.4 Sistemi domotici.....	76
7. Sistemi di efficientamento per la produzione di acqua calda sanitaria	78
7.1 Solare termico.....	79
7.2 Impianti geotermici a bassa temperatura	86

8.	Efficientamento dei sistemi di raffrescamento e ventilazione	94
8.1	Sistemi a pompa di calore per il raffrescamento attivo	94
8.2	Sistemi per il raffrescamento passivo.....	97
8.3	Sistemi di raffrescamento evaporativo	99
8.4	Sistema innovativo a “travi fredde”	101
9.	Efficientamento dei sistemi di illuminazione.....	104
9.1	Strategie di intervento.....	105
9.1.1	Relamping LED.....	105
9.1.2	Rifacimento completo dell’impianto di illuminazione.....	105
9.2	Vantaggi della tecnologia LED	106
9.3	Individuazione dei sistemi applicabili agli edifici residenziali e della Pubblica Amministrazione.....	108
9.4	Indicazioni per l’efficientamento dei sistemi di illuminazione	119
9.5	Impianto di illuminazione esterna.....	121
9.6	Manutenzione e gestione dei sistemi illuminotecnici	122
10.	Sistemi fotovoltaici	124
10.1	Sistemi di accumulo.....	127
10.2	Principali applicazioni del fotovoltaico nell’edilizia residenziale	128
	APPENDICE A: Diagnosi energetica realizzata su un edificio residenziale di proprietà dell’ATER del comune di Roma finalizzata ad una riqualificazione energetico ambientale	140
A.1	Inquadramento territoriale dell’edificio oggetto di studio nel quartiere San Saba a Roma..	140
A.2	Analisi energetica dell’edificio.....	142
A.2.1	Chiusure verticali opache e trasparenti.....	145
A.2.2	Sistemi di illuminazione	146
A.3	Applicazione congiunta di tutti gli interventi	148
	APPENDICE B: Diagnosi energetica realizzata su un edificio non residenziale di proprietà della Camera dei Deputati finalizzata all’individuazione di interventi di riqualificazione energetica.....	150
B.1	Presentazione generale del sito	150
B.2	Descrizione del “sistema edificio-impianto”.....	152
B.3	Analisi dei consumi energetici e valutazione dei costi di esercizio.....	158
B.4	Interventi di riqualificazione energetica.....	159
B.4.1	Pellicole filtranti sui vetri	159
B.4.2	Sostituzione degli infissi	160
B.4.3	Coibentazione delle pareti verticali interne	160
B.4.4	Sostituzione dei corpi illuminanti con nuovi elementi a LED	160
B.4.5	Sostituzione delle caldaie	161
B.4.6	Soluzioni proposte.....	162

B.5 Conclusioni	162
APPENDICE C: Incentivi per gli interventi di efficientamento energetico	164
C.1 Il ruolo delle Energy Service Companies.....	164
C.2 Il ruolo del Gestore dei Servizi Energetici.....	167
C.3 Certificati Bianchi o Titoli di Efficienza Energetica.....	167
C.4 Conto termico	168
C.5 Detrazione fiscale	171
C.6 Fondo Nazionale per l'Efficienza Energetica	173
ALLEGATO A: Schede tecniche materiali involucro opaco.....	174
ALLEGATO B: Schede tecniche materiali involucro trasparente.....	185
ALLEGATO C: Schede tecniche sistemi e dispositivi per il controllo illuminotecnico	186
Bibliografia	195

Introduzione

*Prof. Fabrizio Cumo
Direttore del Centro CITERA*

La crescente consapevolezza dei limiti naturali imposti dall'ecosistema ha fatto emergere un progressivo consenso in merito a una nuova visione di sviluppo, nella quale i principi di sostenibilità ed efficientamento energetico sono integrati nei quadri di riferimento strategici nazionali e regionali e nelle politiche di settore. I cambiamenti climatici rappresentano infatti un fenomeno attuale di consistente entità e negli ultimi decenni è aumentata, in misura sempre più importante, l'attenzione verso l'ambiente e, più in dettaglio, per il riscaldamento globale, causato dall'enorme quantitativo di emissioni di gas serra rilasciate nell'atmosfera e derivanti da un'attività umana ricca di sprechi e di inefficienze. Il problema ambientale è strettamente legato a quello energetico e quest'ultimo, considerato uno dei settori maggiormente responsabile delle emissioni di gas climalteranti, risulta uno dei nodi che deve essere affrontato e risolto in tempi brevi, per contenere i danni recati al nostro pianeta. Risulta fondamentale trovare modelli di sviluppo più sostenibili e investire in risorse e tecnologie per ridurre le emissioni di gas a effetto serra. Per far ciò è necessario delineare percorsi e azioni che promuovano l'efficienza energetica e l'utilizzo di fonti rinnovabili, da compiere sia individualmente che collettivamente. Secondo dati recenti più della metà della popolazione mondiale vive all'interno degli insediamenti urbani. Le proiezioni di crescita degli agglomerati urbani, secondo le previsioni dei World Urbanization Prospects, portano a stimare che, nel 2030, il 60% della popolazione totale (stimata intorno a 8,5 miliardi di persone) sarà urbanizzata fino a raggiungere il livello del 70% nel 2050. Assume sempre maggiore importanza, quindi, la problematica della stretta interdipendenza tra città e ambiente globale che era tipica essenzialmente dei paesi più industrializzati quali l'Italia ma, che ora, si è estesa anche ai paesi più popolosi della terra con conseguenze facilmente immaginabili sugli impatti ambientali. Si stima infatti che il 40-50% delle emissioni di gas serra siano ormai da attribuire al settore edile contro il 25% dovuto ai trasporti e il restante 25% ascrivibile al settore industriale. È quindi nei luoghi in cui tali attività si concentrano – gli agglomerati urbani – che bisogna indirizzare gli sforzi congiunti a livello mondiale per realizzare le azioni di protezione e tutela dell'ambiente e del clima globale. Da questa consapevolezza è derivato il termine di "architettura sostenibile" che vuole rappresentare una nuova concettualizzazione dell'architettura rivista in coerenza con il pensiero di uno sviluppo sostenibile inteso come "meeting the need of the present without compromising the ability of the future generations to meet their own needs". Oggi, comunque, bisogna già rivedere l'approccio all'edilizia sostenibile che in passato era concentrato prevalentemente sugli aspetti ecologici per finalizzare gli sforzi sulle problematiche della conservazione dell'energia e della sostenibilità ambientale in tutte le fasi del processo edilizio per studiare e mettere a punto regole, criteri e tecnologie integrate nel rispetto dei più recenti documenti programmatici internazionali. Oltre alla problematica energetica, infatti, nei vari trattati transnazionali si evidenzia come i punti critici relativi alla "sostenibilità" implicino una

attenzione particolare all'utilizzo razionale di altre fondamentali risorse per il pianeta quali acqua, materiali e suolo. I cinque principi cardine da utilizzare per la salvaguardia delle risorse ambientali sono dunque:

- riusare;
- rinnovare;
- riciclare;
- proteggere;
- conservare.

Il campo principale individuato per la messa in relazione di sistemi di produzione moderni ed efficienti con l'utilizzo sostenibile delle risorse è proprio quello dell'edilizia; ciò deve essere fatto nella progettazione dei nuovi edifici ma anche nell'adeguamento di quelli esistenti che rappresentano la stragrande maggioranza del patrimonio edilizio italiano ed europeo. Nel recupero degli edifici esistenti, che sono difficilmente adattabili ai nuovi canoni di progettazione, si deve comunque scegliere di intervenire utilizzando - ove possibile - sistemi di produzione di energie da fonte rinnovabile e al contempo contenendo i consumi con un efficientamento dell'involucro, dopo una attenta analisi delle prestazioni energetiche e dei caratteri tipologici dell'esistente (diagnosi energetica). L'originalità dell'approccio di ricerca presente nel volume riguarda essenzialmente il lavoro iniziale sulle tipologie edilizie esistenti nella regione Lazio, di analisi sullo stato dell'arte di sistemi e componenti preferibilmente prefabbricati e/o plug and play esistenti sul mercato internazionale e nazionale e sul loro livello di diffusione per seguire la logica ormai cogente del concetto di edilizia off-site con un particolare riferimento ai materiali di origine locale. Il risultato finale è stata quindi la redazione di linee guida funzionali alle attività dei tecnici di settore operanti sul territorio della regione Lazio al fine di supportare nel loro compito di valutare, progettare e seguire gli interventi di efficientamento energetico degli edifici. La scelta è stata orientata verso prodotti che garantiscano elevate performance sia energetiche che antisismiche e caratterizzati da idonei parametri prestazionali termo-fisici e di sicurezza strutturale che consentano inoltre di correlare la loro applicabilità alle diverse zone climatiche. A supporto delle analisi di cui sopra, nel volume sono riportati materiali e tecnologie desunte da alcune best practices del Progetto Enerselves, esemplificative dei sistemi standardizzati adottati per arrivare allo sviluppo uniformato di quegli elementi/sistemi/processi che necessitano di adeguamento ai nuovi requisiti prestazionali previsti dalle normative vigenti e che non risultano sufficientemente diffusi nell'ottica di standardizzazione del processo produttivo e realizzativo. L'applicazione di alcune di queste tipologie di intervento in due casi studio (residenziale e patrimonio pubblico) gestiti in logica BIM¹ permette di valutarne l'efficacia nonché di apprezzare al contempo le potenzialità introducibili dalle logiche di digitalizzazione applicate al processo edilizio. Partendo quindi dalle tipologie costruttive selezionate e dall'individuazione dei nodi strutturali ad esse correlati gli autori hanno individuato, in funzione delle diverse componenti/partizioni, tempistiche e tecniche di montaggio dei singoli sistemi e componenti, fino ad arrivare all'individuazione di un abaco di elementi/moduli/tecnologie prefabbricati standard in grado di rispondere alle diverse esigenze climatiche, geometrico/dimensionali e tecnico/prestazionali che si possono riscontrare nella realtà costruttiva abitativa italiana.

¹ BIM – Building Information Modeling

1. Descrizione della metodologia adottata per la redazione delle Linee Guida

di Cumo Fabrizio

Il presente documento ha lo scopo di individuare delle linee guida nel settore dell'efficientamento energetico degli edifici da applicare in riferimento al patrimonio immobiliare della Regione Lazio, con particolare declinazione per i sistemi innovativi in termini di:

- Embodied energy correlata alle attività di manutenzione;
- Installazione di sistemi di isolamento per l'involucro edilizio;
- Efficientamento dei sistemi di riscaldamento;
- Efficientamento dei sistemi di produzione di acqua calda sanitaria (collettori solari, sistemi combinati di pompe di calore e acqua calda sanitaria);
- Efficientamento dei sistemi di raffrescamento e ventilazione;
- Efficientamento dei sistemi di illuminazione;
- Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili;

Al termine della trattazione vengono poi presentati due casi studio ampiamente significativi: il primo inerente a un edificio residenziale di particolare interesse di proprietà dell'ATER² del Comune di Roma sito all'interno di un'area di pregio ed il secondo riguardante un edificio pubblico ad uso non residenziale. Lo studio svolto ricade nel più ampio progetto europeo denominato ENERSELVES, finanziato all'interno del Programma INTERREG Europe 2014-2020. Quest'ultimo è un programma comunitario atto a migliorare le politiche di sviluppo regionale incentivando lo scambio di esperienze e buone pratiche tra Istituzioni pubbliche, sostenuto dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR). Scopo del progetto è, nel settore dell'efficientamento energetico degli edifici, ottimizzare i costi degli interventi sfruttando al meglio i fondi strutturali. A tal fine è necessario fare ricorso alle fonti energetiche rinnovabili (FER) che hanno un impatto maggiore sulla crescita e sull'occupazione in modo da consentire alle diverse regioni di investire i fondi nella maniera più adeguata. Il progetto ENERSELVES ha anche lo scopo di promuovere nuove politiche, o migliorare quelle esistenti, per sostenere l'integrazione delle fonti energetiche rinnovabili nel consumo energetico degli edifici. Tale integrazione garantisce elevate prestazioni energetiche degli edifici, primo passo verso la loro trasformazione in edifici a energia quasi zero (NZEB³). Gli edifici ad energia quasi zero sono edifici che consumano pochissima energia ed hanno elevate prestazioni per il loro funzionamento standard. La dicitura "energia zero" deriva dalla Direttiva 2002/91/CE, recepita in Italia con il d.lgs. 192/2005. Con l'emanazione della Direttiva 2010/31/UE (EPBD⁴), sono stati formulati e ampliati i contenuti della precedente 2002/91/CE ed è stato introdotto, all'art. 9, il concetto di "energia quasi

² ATER - Azienda Territoriale per l'Edilizia Residenziale

³ NZEB - Near Zero Energy Building

⁴ EPBD - Energy Performance Building Directive

zero” per tutti gli edifici di nuova costruzione sia pubblici o di uso pubblico che privati. In particolare, tale direttiva, stabilisce che, a partire dal 31 dicembre 2020, tutti i nuovi edifici dovranno essere costruiti con caratteristiche NZEB. Il decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 26 giugno 2015 “Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici” ha introdotto, di conseguenza, a partire dal 1° gennaio 2019, l’obbligo di essere “edifici ad energia quasi zero” per tutti gli edifici di nuova costruzione occupati da pubbliche amministrazioni e di proprietà di quest’ultime (ad es. gli edifici scolastici o gli edifici residenziali di proprietà delle ATER presenti o operanti nella Regione Lazio).

Il progetto in parola coinvolge sette partners:

- Extremadura Energy Agency, Spagna;
- Energy Agency for Southeast Sweden, Svezia;
- Marshal Office of Świętokrzyskie Region, Polonia;
- Malta Intelligent Energy Management Agency, Malta;
- Regione Lazio, Italia;
- North-East Regional Development Agency, Romania;
- Regione Autonoma della Sardegna, Italia.

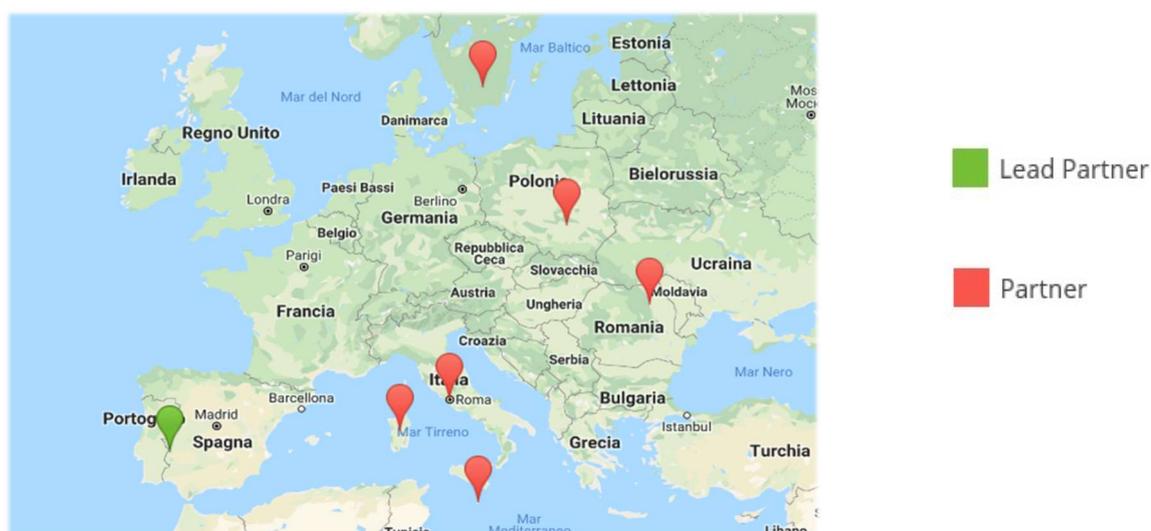


Figura 1. Partners del progetto ENERSELVES

1.1 Quadro normativo

La materia legislativa dell’efficienza energetica è entrata nell’agenda del governo italiano in modo significativo dopo la crisi petrolifera del 1973. Da tale data fino al 2001 il governo centrale legiferava in materia. Con l’avvento della riforma del titolo V della Costituzione, attuata con la legge costituzionale 18 ottobre 2001, n. 3 la materia è passata di competenza alle Regioni e quindi quest’ultime possono recepire e/o modificare le linee guida di indirizzo nazionale in funzione delle peculiarità locali.

Le Direttive Europee

- Direttiva 2009/29/CE - Nota come “Pacchetto Clima - Energia 20-20-20”, l’U.E. ha fissato gli obiettivi di ridurre le emissioni di gas serra del 20%, alzare al 20% la quota di energia prodotta da fonti rinnovabili e portare al 20% il risparmio energetico entro il 2020 rispetto ai valori del 1990.
- Direttiva 2010/31/UE – Tale Direttiva ha promosso il miglioramento della prestazione energetica degli edifici all’interno dell’Unione, chiedendo agli Stati di individuare una metodologia comune per calcolare e certificare la prestazione energetica di un edificio, di fissare requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e le modalità di ispezione e manutenzione degli impianti di climatizzazione dell’aria e di produzione di acqua calda. Di mettere a punto un piano di azione nazionale per promuovere la realizzazione di edifici a energia quasi zero e la riqualificazione del parco edilizio esistente, a partire dagli edifici della PA⁵, che, così, viene invitata ad assumere un ruolo “esemplare”. Inoltre, per promuovere la realizzazione di edifici a energia quasi zero e l’uso di energia da fonti rinnovabili, questa direttiva invita gli Stati membri ad elaborare programmi di sostegno finanziario nazionali, o regionali, e introdurre azioni per la formazione e certificazione di nuove figure professionali e per l’informazione dei cittadini.
- Direttiva 2012/27/UE. Ha modificato le Direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abrogato le Direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE, riprende i criteri presenti nella Direttiva 2010/31/UE. Questa Direttiva rimarca il ruolo strategico dell’efficienza energetica nel settore civile e chiede agli Stati membri di risparmiare energia fissando obiettivi nazionali indicativi di efficienza energetica. Introduce l’obbligo di eseguire l’audit energetico per le grandi imprese e di promuoverlo per le PMI⁶. Chiede che vengano messi a punto strumenti di finanziamento per favorire le misure di efficienza energetica e che vengano messi a disposizione adeguati programmi di formazione e sistemi di certificazione per le nuove figure professionali e che venga svolta una adeguata attività di informazione. Conferma il ruolo esemplare della pubblica amministrazione prescrivendo agli Stati membri una serie di azioni e interventi da attuare a riguardo di edifici della PA centrale.

La normativa nazionale

- Decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192 – tale Decreto ha recepito i contenuti della Direttiva 2002/91/CE (EPBD) sulla prestazione energetica degli edifici, che individuava i provvedimenti per ridurre il consumo di energia attraverso il miglioramento dell’efficienza del sistema impianto/involucro; entrato in vigore l’8/10/2005, ha definito - sin dalla sua prima versione - numerosi elementi tra cui, ad esempio, i requisiti minimi prestazionali degli edifici e l’obbligatorietà della certificazione energetica.

⁵ PA – Pubblica Amministrazione

⁶ PMI – Piccole e Medie Imprese

- D.lgs. 29 dicembre 2006, n. 31110 - D.P.R. 2 aprile 2009, n. 59 – D.M. 26 giugno 2009 - D.P.R. 16 aprile 2013, n. 74 - D.P.R. 16 aprile 2013, n. 75 – decreti attuativi che hanno integrato il d.lgs. 192/2005.
- Decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28 - Attuazione della Direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.
- Decreto 22 novembre 2012 - Modifica del Decreto 26 giugno 2009, recante: «Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici».
- D.P.R. 16 aprile 2013, n. 74 - Regolamento recante definizione dei criteri generali in materia di esercizio, conduzione, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, a norma dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e c), del Decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192.
- Decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63 - Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale.
- Legge 3 agosto 2013, n. 90 - Conversione in legge, con modificazioni, del Decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63, recante disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale. (13G00133) (GU n.181 del 3-8-2013).
- Decreto Interministeriale 26 giugno 2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”;
- Decreto Interministeriale 26 giugno 2015 - Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici”;
- Decreto Interministeriale 26 giugno 2015 - Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici”.

La normativa della Regione Lazio

- L.R. n° 6 del 27 maggio 2008 - “Disposizioni regionali in materia di architettura sostenibile e di bioedilizia”;
- R.R. 23 Aprile 2012 n. 6 - "Sistema per la certificazione di sostenibilità energetico - ambientale degli interventi di bioedilizia e per l'accreditamento dei soggetti abilitati al rilascio del certificato di sostenibilità energetico-ambientale".

2. Analisi delle categorie di interventi di efficientamento

di Agostinelli Sofia, Cumo Fabrizio

2.1 Generalità

Il presente documento, come citato in premessa, ha lo scopo di individuare delle linee guida nel settore dell'efficientamento energetico degli edifici da applicare in riferimento al patrimonio immobiliare della Regione Lazio. Sono dunque illustrati i criteri generali adottati per l'individuazione delle soluzioni proposte e le indicazioni operative per l'attuazione degli interventi di efficientamento. L'analisi seguente è in linea con i contenuti del decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102 e s.m.i., recante attuazione della Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che individua le disposizioni e le misure volte a garantire la piena attuazione agli impegni assunti a livello comunitario per il miglioramento dell'efficienza energetica del patrimonio edilizio nazionale e, in particolare, per promuovere la riqualificazione energetica degli immobili per la Pubblica Amministrazione. Nell' specifico, l'articolo 5 del suddetto decreto prevede che il Ministero dello Sviluppo Economico, di concerto con le Amministrazioni competenti, e in collaborazione con l'Agenzia del Demanio, predisponga ogni anno, un Programma per la Riqualificazione Energetica degli edifici della Pubblica Amministrazione Centrale – PREPAC. Come riportato nel D.lgs. 19 agosto 2005, n. 192 "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia" e s.m.i., per edificio si intende, il "sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito, dalle strutture interne che ripartiscono detto volume e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano stabilmente al suo interno; la superficie esterna che delimita un edificio può confinare con tutti o alcuni di questi elementi: l'ambiente esterno, il terreno, altri edifici; il termine può riferirsi ad un intero fabbricato e relativi impianti ovvero a parti di fabbricato e relativi impianti progettate o ristrutturare per essere utilizzate come unità immobiliari a sé stanti". L'efficienza energetica è definita come il rapporto tra i risultati in termini di rendimento, servizi, merci o energia, da intendersi come prestazione fornita, e l'immissione di energia, in altre parole essa rappresenta il rapporto tra quanto ottenuto in termini di prodotti e servizi e l'energia impiegata allo scopo. Una maggior efficienza energetica e risparmio energetico possono essere conseguiti sia mediante l'applicazione di tecnologie, componenti e sistemi più o meno complessi, sia mediante un comportamento più consapevole e responsabile degli utenti finali. La trasformazione di un edificio esistente in una struttura ad alte prestazioni energetiche, attraverso l'implementazione di interventi e tecnologie per il miglioramento dell'efficienza energetica può prevedere interventi di varia natura, ad esempio sull'involucro edilizio (coperture, pareti, chiusure trasparenti), di riqualificazione dei sistemi illuminanti e dei sistemi di produzione e distribuzione dell'energia termica e, di installazione di impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili. In generale, quando si decide di procedere alla

riqualificazione energetica di un edificio per renderlo altamente performante, si devono prendere in considerazione i seguenti elementi chiave:

- *Involucro ad alte prestazioni energetiche.* Un maggiore isolamento delle pareti di tamponamento, del solaio a terra e del solaio di copertura contribuisce a ridurre la perdita di calore nella stagione invernale e migliorare il comfort. Pareti esterne di colore chiaro, tetti bianchi e sistemi di schermatura solare e ombreggiamento aiutano a ridurre i carichi energetici per il raffrescamento degli ambienti nella stagione estiva. Questi fattori contribuiscono a dimensionare correttamente il sistema di climatizzazione, riducendo così l'investimento iniziale e i costi di gestione e manutenzione a lungo termine.
- *Finestre e daylighting.* Un miglior utilizzo della luce naturale aiuta a ridurre il ricorso all'energia elettrica per l'illuminazione e a limitare i consumi energetici anche per la climatizzazione evitando il calore generato dagli stessi apparecchi. Finestre ad alte prestazioni permettono di ridurre al minimo l'apporto di calore nei mesi più caldi e di evitare perdite di calore nei mesi più freddi.
- *Impianti di climatizzazione e ventilazione.* La scelta della tipologia e della taglia dei sistemi di climatizzazione e ventilazione meccanica è un'operazione complessa poiché strettamente correlata agli elementi descritti in precedenza e ha un'influenza diretta sui costi di esercizio e manutenzione. L'utilizzo di sistemi automatici per la regolazione della temperatura degli ambienti permette di ridurre gli sprechi di energia e di ottimizzare il comfort negli ambienti.
- *Illuminazione e sistemi elettrici.* I sistemi di illuminazione a LED, corpo illuminante o lampada, e i sistemi di gestione e controllo in grado di modulare automaticamente i livelli di luce necessaria, con abbinati i sensori di presenza, che spengono automaticamente le luci negli ambienti non occupati, rappresentano investimenti con tempi di ritorno molto bassi e con un significativo e immediato risparmio energetico.
- *Sistemi alimentati ad energia rinnovabile.* Tali sistemi possono integrare la fornitura di energia elettrica e termica dell'edificio. In relazione ai profili di consumo ed alle caratteristiche dell'edificio è possibile impiegare le biomasse per la climatizzazione, il fotovoltaico o l'eolico in combinazione con sistemi di accumulo per l'illuminazione di sicurezza, l'alimentazione di emergenza e di apparecchiature sensibili o il solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria.

2.2 Ambito di applicazione

Il patrimonio immobiliare della Regione Lazio è molto vario e comprende: edifici residenziali, fabbricati ad uso ufficio (settore terziario), fabbricati del settore artigianale e commerciale, immobili di interesse storico-artistico-archeologico, terreni, rete stradale, ecc. Il nostro studio, volto all'individuazione dei principali interventi di efficientamento energetico da attuare sull'involucro e sui sistemi tecnologici, è focalizzato sulle due categorie principali di fabbricati che caratterizzano il patrimonio immobiliare della regione, ovvero:

- Immobili destinati ad uso abitativo (principalmente immobili ATER⁷, provenienti dal demanio dello stato, provenienti dall'ENAL⁸, provenienti dall'ONC⁹, ecc.);
- Immobili di tipo non residenziale (ovvero uffici centrali e decentrati nelle provincie e nei comuni del territorio¹⁰).

È su queste classi di unità immobiliari che, considerando anche i volumi in gioco, possono essere apprezzati maggiormente i vantaggi connessi all'implementazione delle tecnologie e dei materiali di seguito descritti. Si tratta, principalmente, di strutture edificate a partire dagli anni '20 fino agli inizi degli anni '90, dislocate prevalentemente nel comune e nella provincia di Roma ma anche nelle provincie di Viterbo, Rieti, Frosinone e Latina. In termini di strutture ad uso residenziale, la regione Lazio ha un consistente patrimonio immobiliare da riqualificare in termini di efficienza energetica, che ammonta a circa 2,3 milioni di abitazioni, di cui oltre il 75% sono state costruite prima degli anni '80 e pertanto, antecedenti la prima legge sul contenimento energetico degli edifici; complessivamente tale patrimonio edilizio è di circa 230 milioni di metri quadrati. Analizzando in dettaglio l'ambiente costruito, si evidenzia che, sul territorio regionale, insistono più di 800.000 edifici residenziali di cui l'11% costruiti prima del 1919, l'8% tra il 1919 e il 1945, il 66% tra il 1946 e il 1990, il 15% dopo il 1990. La metà degli edifici sono concentrati nel comune di Roma, con una media poco più di 94 m² per abitazione e di circa 268 m² per edificio. Oltretutto lo stato di conservazione di tali edifici residenziali è, in linea di massima, mediocre-pessimo, come riportato nel seguente grafico.

⁷ Gli istituti autonomi case popolari (IACP) sono stati trasformati per mezzo della Legge regionale 3 settembre 2002, n. 30 in Aziende Territoriali per l'Edilizia Residenziale Pubblica, sono Enti Pubblici di natura economica dotato di personalità giuridica, e autonomia imprenditoriale, patrimoniale, finanziaria e contabile, che sostituiscono gli ex Istituti Autonomi per le Case Popolari, per gli immobili siti nel territorio del Lazio. Nella regione Lazio sono stati individuati sette ambiti territoriali di competenza che sono di pertinenza:

- dell'ATER del Comune di Roma;
- dell'ATER della Provincia di Roma;
- dell'ATER della Provincia di Frosinone;
- dell'ATER della Provincia di Latina;
- dell'ATER della Provincia di Rieti;
- dell'ATER della Provincia di Viterbo;
- dell'ATER del comprensorio di Civitavecchia.

⁸ ENAL - Ente Nazionale Assistenza Lavoratori

⁹ ONC – Opera Nazionale Combattenti

¹⁰ A titolo esemplificativo la sede centrale della Regione Lazio, ubicata in via Rosa Raimondi Garibaldi, 7 (Roma), è identificata, in linea con l'art. 3 comma 1 del DPR 412/93, come "Edifici adibiti a uffici ed assimilabili: pubblici o privati, indipendenti o attigui a contrazioni adibite anche ad attività industriali o artigianali, purché siano da tali costruzioni scorparabili agli effetti dell'isolamento termico"

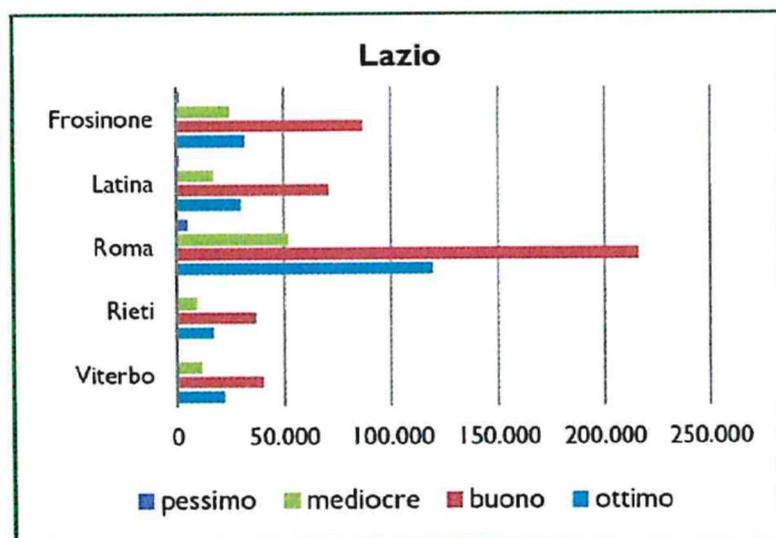


Figura 2. Numero di edifici per stato di conservazione

Sulla base della classificazione sismica dei comuni laziali emerge che più del 70% è caratterizzato da una sismicità medio-alta come rappresentato nel grafico seguente.

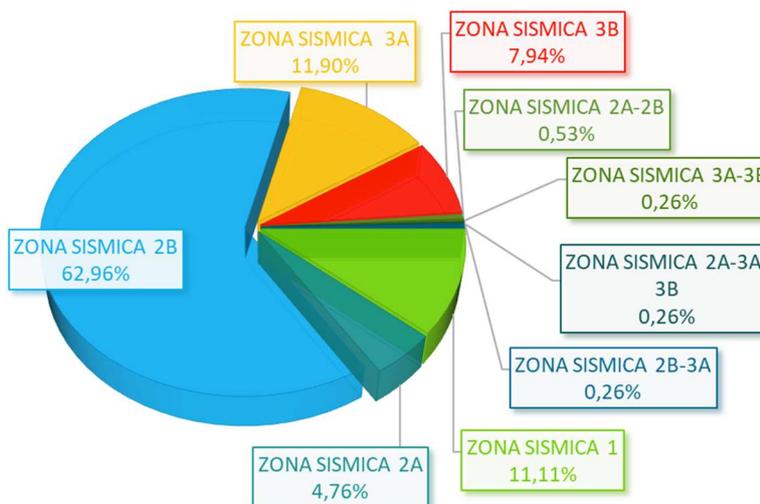


Figura 3. Classificazione comuni laziali per zona sismica

In virtù delle considerazioni esposte, visti i numeri in gioco, è facile intuire l'importanza dello studio e, di conseguenza, del più ampio progetto ENERSELVES, per effetto dei vantaggi che una efficace riqualificazione energetica del patrimonio immobiliare della regione può assicurare in termini di contenimento dei consumi elettrici e, quindi, in termini di costi. Come noto, le attività volte all'efficientamento energetico degli edifici non possono prescindere da un'accurata analisi dello status quo del sistema edificio-impianto. Lo strumento ideale per risolvere i dubbi iniziali è la diagnosi energetica, una procedura sistematica finalizzata ad ottenere un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività o impianto industriale o commerciale o di servizi pubblici o privati, atta ad individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e a riferire in merito ai risultati¹¹. Per edifici particolari, connotati da una struttura

¹¹ Definizione ricavata dall'art .2 lettera b-bis) del D.lgs. 141/2016, di integrazione al D.lgs. 102/2014.

complessa ed articolata ovvero da elementi costruttivi specifici, una corretta diagnosi energetica è essenziale per individuare, in funzione dei risultati energetici attesi, gli interventi da attuare. A tal proposito si ritiene opportuno citare, a titolo esemplificativo, la Determinazione n. G08438 avente per oggetto “POR FESR Lazio 2014-2020¹², Azione 4.1.1”, con la quale la Regione Lazio ha provveduto ad inserire l’intervento di efficientamento dell’immobile “Sede centrale della Giunta Regionale – Edificio B” tra quelli da sottoporre a diagnosi energetica¹³. Un audit energetico in tal caso è stato indispensabile poiché l’immobile è caratterizzato da una struttura complessa, avente ben 14 piani fuori terra e 2 piani interrati, che monta pannelli fotovoltaici sulle facciate esterne di altezza complessiva pari a circa 56 m, ed ospita, oltre ad uffici, anche magazzini, depositi e locali tecnici per macchinari elettrici e meccanici. Spesso però una diagnosi energetica diventa onerosa per un’amministrazione, sia in termini di costi che di tempi necessari per la sua esecuzione. Studi di settore hanno condotto alla tabella di seguito riportata che indica, conformemente ai requisiti della UNI CEI EN 16247, la stima del valore in “giorni/persona” necessari per effettuare una diagnosi energetica, con riguardo al settore terziario (uffici) e al residenziale. Una figura qualificata come l’EGE¹⁴, incaricato allo svolgimento di una diagnosi energetica, diventa quindi un costo considerevole da sostenere per un privato e, ancor di più per un’amministrazione pubblica avente un patrimonio immobiliare molto vasto, come, appunto, la Regione Lazio.

Numero di persona/giorno necessari per la DE		DIMENSIONI DELL’EDIFICIO											
		Micro <500mq			Piccola < 1.000mq			Media <2.500mq			Grande >2.500mq		
Settore	Sotto Settore	Min	Stand	Max	Min	Stand	Max	Min	Stand	Max	Min	Stand	Max
Civile		tep < 50			50 < tep < 250			250 < tep < 500			500 < tep		
	Residenziale	3	4	5	6	8	12	13	15	17	18	20	22
Terziario		tep < 100			100 < tep < 500			500 < tep < 1.000			1.000 < tep		
	Uffici	2	4	6	4	8	12	6	12	20	7	14	21

tep = tonnellate equivalenti di petrolio; Valori espressi in GG/uomo.

Figura 4. Valori di riferimento per stimare le risorse umane necessarie per una diagnosi energetica (settore residenziale e uffici)

In Italia per eseguire la diagnosi energetica occorre far riferimento alle seguenti norme:

- UNI CEI EN 16247-1: 2012 “Diagnosi Energetiche - Parte 1: Requisiti generali” che definisce i requisiti, la metodologia e la reportistica comune a tutte le DE;
- UNI CEI EN 16247-2: 2014 “Diagnosi Energetiche - Parte 2: Edifici” che si applica alle diagnosi energetiche specifiche per gli edifici, definendone i requisiti, la metodologia e la reportistica. Essa si applica anche al settore terziario.
- UNI CEI EN 16247-5: 2015 “Diagnosi energetiche - Parte 5: Competenze

¹² POR FESR 2014-2020 “Programma Operativo Regione Lazio – Fondo Europeo di Sviluppo Regionale 2014-2020”.

¹³ Cfr. “Allegato I” alla Determinazione n. G08438 – “Interventi ammessi e finanziabili da sottoporre a diagnosi energetica per la valutazione finale”.

¹⁴ EGE - Esperto in Gestione dell’Energia

In base a tali considerazioni, il presente documento si pone l'obiettivo di individuare delle linee guida applicabili al già menzionato patrimonio immobiliare della regione, anche in mancanza di una diagnosi energetica¹⁵, con riguardo a soluzioni tecniche per l'efficientamento energetico dell'involucro (coperture, pareti, chiusure trasparenti) e dei sistemi di illuminazione (compresi sistemi di gestione e monitoraggio).

¹⁵ Si rammenta che l'art. 8 del D.lgs. 102/2014 (modificato dal D.lgs. 141/2016) "Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE. (14G00113) (GU Serie Generale n.165 del 18-7-2014)", ai commi 1 e 3, individua chiaramente i soggetti obbligati ad eseguire la Diagnosi Energetica, ovvero le "grandi imprese" (impresa che occupa più di 250 persone, il cui fatturato annuo supera i 50 milioni di euro o il cui totale di bilancio annuo supera i 43 milioni di euro;) e le imprese a forte consumo di energia, cosiddette "energivore" (art. 8, comma 3). In accordo con la Direttiva 27/2014 stabilisce una periodicità quadriennale di esecuzione della diagnosi a partire dalla data del 5 dicembre 2015 e l'obbligo di comunicare all'ENEA i relativi esiti.

3. Diagnosi energetica finalizzata alla riduzione delle dispersioni e all'ottimizzazione della produzione energetica

di Tiberi Mariagrazia

L'Italia è un paese in continua crescita e da anni è impegnato nella ricerca di soluzioni per il raggiungimento degli obiettivi prefissati in ambito energetico dalla SEN¹⁶. Tale traguardo è possibile attraverso l'impegno di ciascuna Regione al rispetto degli obiettivi nazionali: efficientamento energetico e riduzione dei consumi. Con il termine efficientamento energetico si intende mirare alle azioni di risparmio di energia primaria, riduzione delle emissioni di CO₂ e conseguente riduzione dei costi energetici. Il bilancio energetico regionale al 2014, elaborato da ENEA¹⁷, ci indica che il consumo di energia primaria è per il 25% soddisfatto da combustibili solidi, per il 45% derivante dal petrolio, per il 20% da gas naturale e per il 10% da energie rinnovabili. Altro consumo energetico rilevante è quello imputabile al settore dei trasporti. Attraverso il confronto nazionale possiamo vedere come il consumo primario pro-capite di energia sia crescente nel Lazio, contrariamente alla media nazionale, a causa della tipologia di energia prodotta nella regione. Le azioni da intraprendere sono:

- intervenire in ogni settore per rafforzare l'ambito normativo e programmare interventi puntuali;
- impiego sempre maggiore delle detrazioni fiscali messe a disposizione;
- utilizzo degli incentivi.

Il processo che determina la messa in atto di queste azioni è l'analisi del territorio regionale nel rispetto delle normative energetiche che si sono susseguite nel corso degli anni. Uno dei decreti più recenti che ha apportato sostanziali cambiamenti in ambito energetico è stato il DM 26/06/2015¹⁸, il quale stabilisce i requisiti di efficienza energetica del sistema che compone l'edificio. Stabilisce nuove modalità per la determinazione della classe energetica degli edifici; definisce i requisiti degli edifici ad energia quasi zero; detta i nuovi standard energetici minimi. Il DM in oggetto, si applica all'edilizia sia pubblica che privata: sia edifici di nuova realizzazione, ristrutturazioni importanti e riqualificazione energetica. Per gli edifici di nuova realizzazione e per le ristrutturazioni importanti, i requisiti minimi devono essere determinati sulla base di un edificio preso come riferimento per tipologia edilizia e fascia climatica. L'obiettivo della normativa a livello regionale al 2021 è l'aumento degli edifici ad energia quasi zero, attraverso la messa a disposizione di incentivi per favorire gli interventi di efficienza energetica, soprattutto per gli edifici pubblici. Tra gli incentivi vi sono le

¹⁶ SEN - Strategia Energetica Nazionale

¹⁷ ENEA – Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

¹⁸ Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 26 giugno 2015 in materia di "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici"

detrazioni fiscali, il Conto Termico 2.0, i Certificati Bianchi e il Fondo Nazionale per l'Efficienza Energetica.

- Le detrazioni fiscali sono incentivi introdotti dalla legge n. 205 de 27/12/2017, bonus del 70% per interventi sulle parti comuni degli edifici se effettuati entro il 31/12/2021, per interventi che riguardano il 25% dell'involucro edilizio; detrazioni del 75% per interventi che migliorano la prestazione energetica invernale ed estiva; negli interventi ammissibili vi sono anche i microgeneratori.
- I certificati bianchi sono incentivi rivolti ai gestori dei servizi di efficienza energetica e sono identificati come titoli negoziabili che accertano il conseguimento di risparmi energetici derivanti da interventi di efficienza energetica; i distributori di energia devono garantire il raggiungimento di determinati obiettivi annuali di risparmio energetico espressi in TEP¹⁹.
- Il fondo nazionale di efficienza energetica, regolamentato dal DM 22/12/2017, si rivolge invece alle imprese ed alle pubbliche amministrazioni e consiste in un fondo nazionale che coinvolge istituti finanziari ed investitori privati che condividendo i rischi, possono ottenere incentivi anche cumulabili per interventi di efficienza energetica che riguardano: riduzione dei consumi di energia nei processi industriali; realizzazione e ampliamento delle reti di teleriscaldamento; efficientamento illuminazione pubblica ed infrastrutture pubbliche; riqualificazione energetica degli edifici.

Altra novità introdotta dal DM 26/06/2015 è l'indice di prestazione energetica finale dell'Attestato di Prestazione Energetica (APE), che prende in considerazione sia la prestazione invernale che estiva dell'involucro mentre un altro strumento utile per la conoscenza dell'immobile è la diagnosi energetica, introdotta con il D.lgs. 102/2014, è un documento obbligatorio per molti settori ma anche definita come metodologia per la conoscenza di edifici sia residenziali che industriali. La Norma UNI CEI EN 16247 contiene le linee guida per le diagnosi energetiche e si compone di 4 parti: stabilisce i requisiti generali per l'adozione della metodologia comune, definisce gli edifici interessati, indica il processo che porta all'elaborazione di una diagnosi corretta, definisce l'ambito della diagnosi anche per il settore dei trasporti attraverso la consultazione di alcuni esempi. La diagnosi energetica consente di determinare il fabbisogno di energia termica dell'edificio, i rendimenti per la produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione e climatizzazione, eventuale impiego di energie rinnovabili, calcolo dell'energia primaria e sue fonti di derivazione. In sostanza la diagnosi energetica ci permette di conoscere l'edificio dalle sue fonti e consumi di energia. Lo studio di tutti questi aspetti è il cosiddetto audit energetico. Tale metodologia viene effettuata come prima fase di analisi di un edificio per poter consentire al professionista di determinare gli interventi necessari e utili al conseguimento di un miglioramento dell'efficienza energetica di quel determinato tipo di immobile, portando di conseguenza ad un risparmio economico. La figura tecnica esperta nel settore della diagnosi energetica e nella sua procedura, può essere identificato con un singolo professionista che si occupa dell'intera attività, o con una società di servizi che opera specificatamente nell'ambito, o ancora un ente pubblico competente, oppure un gruppo di lavoro. Queste figure vengono

¹⁹ TEP - Tonnellata Equivalente di Petrolio. È un'unità di misura dell'energia. 1 TEP equivale a 41,860 GJ

nominate nell'identificazione di un ruolo ben preciso, ossia quello dell'auditor energetico. Tra i parametri che il tecnico deve valutare per una corretta diagnosi vi sono: lo stato attuale dell'edificio; la manutenzione che vi è stata effettuata, nel corso degli anni, sugli impianti; gli eventuali interventi eseguiti; studio del contesto territoriale ed urbanistico nel quale esso è inserito. In seguito all'audit energetico si iniziano a creare i diversi scenari possibili per intervenire, tenendo in considerazione tempi di realizzazione, spese e tempi di ritorno dell'investimento; ovviamente gli scenari selezionati corrisponderanno a quelli fattibili dal punto di vista tecnico/economico.

I cinque requisiti fondamentali che deve possedere la diagnosi energetica sono:

1. completezza nella descrizione del sistema energetico: si intende la descrizione esaustiva di tutti i componenti del sistema energetico dell'edificio, come l'involucro, gli impianti (condizionamento – riscaldamento – illuminazione – energie rinnovabili), inclusa la valutazione della qualità dell'aria ed eventuali impianti di movimentazione persone o cose;
2. attendibilità dei dati con quantità e qualità: dipende dall'attenzione posta al momento della reperibilità di essi e della raccolta efficiente di documentazione, ossia dati specifici e precisi per quantità e qualità;
3. tracciabilità nell'individuazione dei dati, modalità di elaborazione risultati e ipotesi di lavoro: intesa come facile intuizione dell'origine del dato raccolto, per consentire di organizzare una metodologia di lavoro comune e comprensibile per tutto il gruppo di lavoro;
4. utilità ossia la valutazione interventi sotto il profilo costi/benefici: si riferisce alla fase di ipotesi degli scenari degli interventi, attribuendo un metodo per la loro individuazione che si basa su analisi costi-benefici, eventuali conflitti con altri interventi, studio del contesto normativo di riferimento e conseguente fattibilità dell'opera;
5. verificabilità, identificazione delle procedure che consentono al committente la verifica del conseguimento dei miglioramenti di efficienza: è ciò che consente al committente di comprendere i risultati che il professionista gli consegnerà; questa fase si può racchiudere nell'esplicita elaborazione dei dati che consentono di comprendere i miglioramenti effettivi di efficienza energetica che avverranno sull'edificio con gli interventi selezionati;

Il processo pratico di una diagnosi energetica è il seguente:

- primi contatti con il committente;
- incontro con il committente;
- sopralluogo e raccolta dati;
- rilievo fotografico;
- raccolta documentazione edilizia ed impiantistica;
- analisi termofisica, in sito, dei materiali con l'ausilio di strumenti idonei;
- raccolta dati valutati e analisi degli stessi attraverso la redazione di una relazione tecnica che comprenderà l'attestato di prestazione energetica (APE), i dati raccolti, gli scenari valutati, lo scenario più idoneo individuato con motivazione della scelta

effettuata attraverso tabelle e grafici riportanti la valutazione costi/benefici, le spese e tempi di ritorno di ogni intervento.

Nel dettaglio si analizzano le fasi sopra indicate.

- Nella prima fase il tecnico deve individuare i soggetti ai quali chiedere i dati necessari per procedere all'audit energetico e contestualmente deve anche chiedere al committente di informarli, in modo da avere la piena disponibilità di tutti gli attori coinvolti nel processo. Inoltre, in accordo con il committente occorre definire il grado di dettaglio che dovrà avere la diagnosi energetica. Gli scopi per i quali si necessita una diagnosi energetica, possono essere la mera riduzione dei costi di gestione di un edificio, la volontà del committente di mettersi in regola con la normativa vigente o la riduzione degli effetti ambientali che i consumi energetici dell'edificio provocano. Quando si parla di grado di dettaglio si intende la determinazione dell'oggetto sul quale concentrarsi e ciò influenzerà sicuramente tempi, requisiti e metodologia. In base allo scopo finale individuato, viene scelto anche il parametro da utilizzare nei risultati finali (indicatore di prestazione energetica).
- La predisposizione iniziale del lavoro (seconda fase) pertanto, viene elaborata attraverso una riunione tra tutti gli attori coinvolti, in cui il tecnico definisce modalità e tempi in cui potrà reperire dati e documentazione dei vari soggetti, date dei sopralluoghi, eventuali permessi di accesso all'edificio.
- Nella terza fase vi è la raccolta dei dati, tra questi nel dettaglio: planimetria, disegni tecnici sia architettonici che impiantistici; parametri inerenti al comfort interno; affollamento tipico dell'edificio; certificazione energetica con relativa relazione tecnica; libretto delle diverse manutenzioni avvenute; dati sui consumi energetici (reperibili tramite bollette o letture dei contatori); tipologia e numero degli apparecchi presenti.
- Durante il sopralluogo si verifica la rispondenza tra i dati raccolti e lo stato dei luoghi, si apportano eventuali modifiche attraverso l'utilizzo di strumenti idonei per rilevare i flussi di calore trasmessi dalle pareti e si effettuano le opportune misurazioni. Nella fase di analisi dei dati raccolti, si prende una media come consumo di riferimento, tra quelli raccolti e da questo punto fisso si ipotizzano gli interventi di miglioramento. Nell'analisi dei dati energetici si tengono in considerazione i dati in entrata e in uscita ed il tipo di energia impiegata.
- L'arco temporale di cui prendersi carico per esaminare i dati è di 3 anni e verifica mese per mese dove si concentrano le perdite maggiori e quali ne sono le cause. Da tenere in considerazione alcuni parametri che possono incidere nelle anomalie, come l'andamento climatico, le destinazioni d'uso i locali, l'utilizzo degli impianti, la gestione e manutenzione. Nell'organizzazione dei dati raccolti per ogni tipologia di energia impiegata, si possono utilizzare tabelle o grafici a torta con l'individuazione delle percentuali di consumo. In questa fase, vicino ad ogni consumo si possono inserire i corrispondenti oneri gravanti sul committente. Gli indicatori di prestazione energetica possono essere così divisi: effettivi, operativi, obiettivo, benchmark. Gli indicatori effettivi sono quelli quantitativi, quelli operativi sono quelli estrapolati dalle analisi effettuate, quelli definiti obiettivo indicano il valore quantitativo globale che diventa

punto di riferimento, infine quelli di Benchmark sono i parametri di riferimento medi per tipologia energetica e edilizia.

- Nelle ultime fasi vengono individuate le azioni possibili, che possono riguardare l'involucro, gli impianti meccanici, elettrici o impianti di fonti rinnovabili.

Nella simulazione delle azioni su ogni singolo intervento non bisogna soffermarsi solo sui vantaggi che esso ha apportato in termini di riduzione dei consumi, ma bisogna anche valutare se tali vantaggi rimangono inalterati anche nel momento in cui vengono realizzati in maniera combinata; pertanto l'effettivo risparmio energetico è quello dato dagli interventi combinati che non interferiscono tra di loro. Per la valutazione edificio-impianto si possono utilizzare due metodi: stazionario e dinamico orario.

- Il metodo stazionario si basa sulla UNI/TS 11300²⁰, viene effettuato su base mensile, utile per valutare il fabbisogno invernale ma non considera quello estivo.
- Il metodo dinamico orario viene effettuato sulla base oraria e quindi prende in considerazione più variabili ed in ogni calcolo tiene conto del calcolo effettuato nell'ora precedente.

La scelta del metodo da impiegare è in funzione dello scopo della diagnosi energetica. Dopo le analisi tecniche, non meno importante, vi è l'analisi costi-benefici, ossia bisogna definire il tempo di ritorno degli investimenti: rapporto tra l'investimento ed il risparmio economico conseguito. Quest'ultimo si definisce attraverso il prodotto tra il costo unitario (€/kWh) ed il risparmio energetico ottenuto. Questo calcolo deve essere fatto per ogni tipo di intervento ed infine occorre calcolare la percentuale del risparmio rispetto al valore preso come riferimento. In alcuni casi si può verificare che l'intervento non risulti vantaggioso in termini economici ma necessario a causa dello stato di degrado in cui si trova l'elemento da sostituire (ed in tal caso si può effettuare un'analisi considerando solo i costi marginali), oppure che il tempo di ritorno dell'investimento sia superiore alla durata dell'elemento sostituito, in questi casi il tecnico deve motivare i risultati presentati e le scelte effettuate. Al committente andrà presentata la relazione tecnica e l'attestato di prestazione energetica ante e post operam, al fine di agevolare e consentire l'immediata percezione del miglioramento della classe energetica dell'edificio. Al termine della diagnosi i risultati finali presenti in relazione dovranno contenere il fabbisogno energetico dell'edificio, le problematiche individuate nel sistema edificio-impianto con individuazione delle perdite conseguenti, i risultati possibili che si otterrebbero con gli interventi proposti, in termini di risparmio energetico e riduzione di CO₂.

²⁰ La UNI/TS 11300 è nata con l'obiettivo di definire una metodologia di calcolo univoca per la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici

4. Embodied energy correlata alle attività di manutenzione

di Pennacchia Elisa

In edilizia per una corretta valutazione della ecologicità dei materiali usati per la costruzione e la manutenzione degli edifici, oltre alla provenienza dei materiali e alle loro caratteristiche di rinnovabilità, è necessario calcolare anche il valore a loro associato di energia incorporata (embodied energy). L'energia incorporata di un materiale è quella che viene impiegata per ottenere il prodotto finale a partire dalla estrazione delle materie prime includendo anche le fasi di trasporto, stoccaggio e tutte le lavorazioni effettuate. Il materiale o sistema tecnologico realizzato con bassa quantità di embodied energy ha sicuramente una sostenibilità maggiore di altri simili che richiedono maggiore dispendio di energia durante tutte le fasi del processo edilizio. È evidente come tale fattore assuma una importanza sempre maggiore man mano che la normativa vigente costringe a realizzare edifici con consumi specifici sempre più bassi che tendono all'autosufficienza energetica; conseguentemente proprio in riferimento al suddetto processo edilizio l'energia incorporata può essere divisa in due:

- Embodied energy iniziale, e cioè la quantità di energia consumata dalla fase di estrazione della materia prima fino a quella della completa realizzazione del prodotto/materiale;
- Embodied energy ricorrente che è quella quantità di energia utilizzata durante le fasi di riparazione, manutenzione ed eventuale sostituzione di quel componente/materiale durante l'intero ciclo di vita dell'edificio.

Con riferimento alle differenti fasi del processo edilizio emerge chiaramente come le modalità di scelta dei materiali e di configurazione degli elementi tecnici (tecniche costruttive) tendano ad influenzare le prestazioni ambientali dell'edificio nel corso della sua vita utile. I soli consumi energetici connessi all'estrazione, produzione, trasporto, movimentazione ed assemblaggio dei materiali e prodotti edilizi (initial embodied energy) manifestano un'incidenza stimabile fra il 10 ed il 15%. Per l'Italia tale valore si attesta intorno al 13,58% del totale di settore. A questi si aggiungono i consumi energetici legati alle attività di manutenzione, smontaggio/sostituzione (recurring embodied energy) e dismissione (disposal embodied energy) che si attestano intorno al 3-8%. L'incidenza complessiva dell'energia inglobata nell'edificio sul ciclo di vita (life cycle embodied energy) oscilla pertanto fra il 13 ed il 23%; volendo estendere l'indagine agli impatti ambientali correlati (consumo di risorse, emissioni e relativi danni causati alla salute umana ed all'ecosistema), emerge come tale incidenza si attesti, in funzione dei differenti contesti territoriali, mix energetici e tecnologie impiegate, fra il 24 ed il 28% degli impatti complessivi generati dall'edificio. Studi scientifici sull'argomento evidenziano la possibilità di ridurre gli impatti correlati agli usi energetici in fase di esercizio (pari a circa l'85% del totale) agendo sulla scelta delle tecnologie edilizie ed impiantistiche. Limitando la trattazione è importante illustrare come il considerare aspetti di qualità più strettamente edilizia, in fase progettuale,

possa modificare i risultati delle più comuni analisi. L'energia incorporata è definita come l'energia consumata e quindi "accumulata" nei prodotti che costituiscono l'edificio. La figura seguente mostra il quantitativo medio di embodied energy incorporato in vari materiali da costruzione; risulta evidente dal grafico che la plastica, l'alluminio ed anche il vetro richiedono generalmente un'elevata energia incorporata rispetto ad altri materiali come il calcestruzzo o il legno.

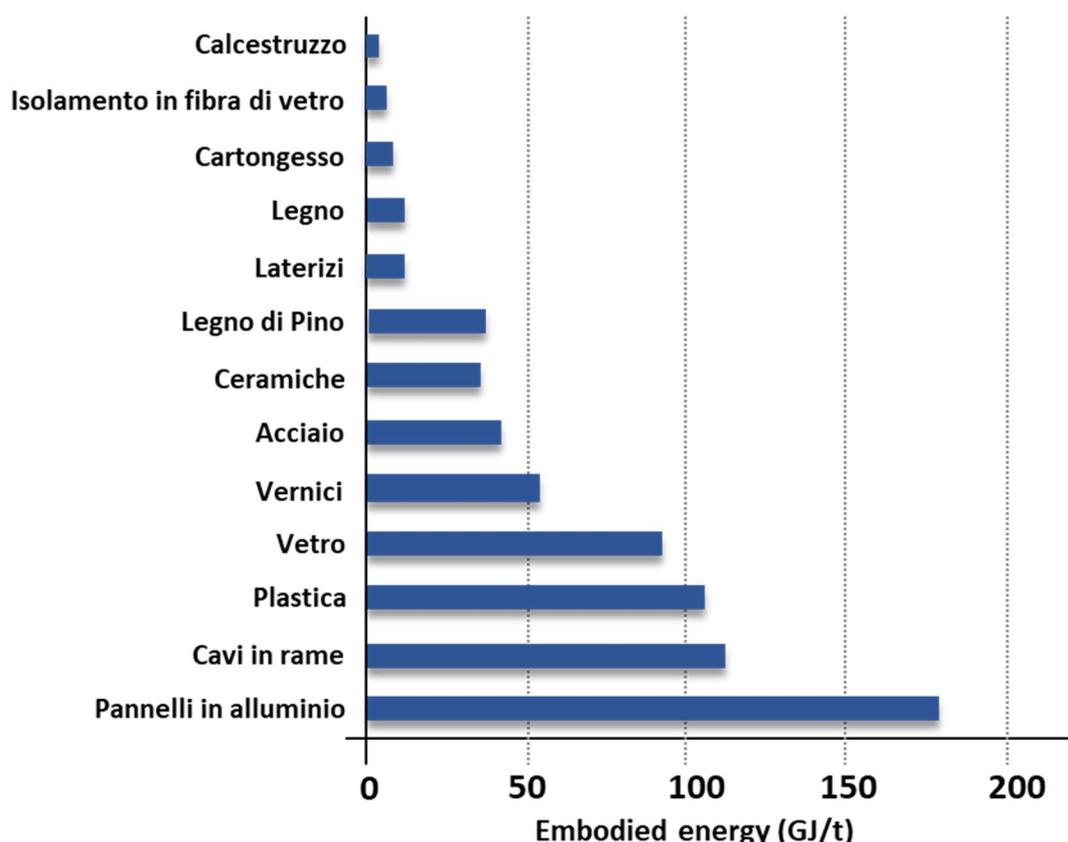


Figura 5. Confronto dell'energia incorporata dei materiali da costruzione per tonnellata di prodotto. [Fonte: Meddah, Seddik 2017. Recycled aggregates in concrete production: engineering properties and environmental impact, MATEC Web of Conferences, DOI: 10.1051/mateconf/201710105021]

Se si considerano anche aspetti di qualità dell'ambiente interno e di durabilità si devono prendere in esame fasi successive alla costruzione, che determinano cicli di interventi, quali integrazioni impiantistiche, manutenzione e sostituzione, di durata ben inferiore alla vita utile degli edifici, assunta di 50 anni in assenza di consistenti ristrutturazioni, e, di conseguenza, ulteriori consumi di energia in fase d'esercizio. Nella tabella successiva si riporta la vita utile espressa in anni dei principali elementi che costituiscono l'involucro opaco e trasparente, dei sistemi e dei componenti impiantistiche.

<i>Elementi di involucro, sistemi e componenti impiantistiche</i>	<i>Vita utile (anni)</i>
Mura	15
Sistemi solari	25
Pompa di calore	25
Unità di trattamento aria	25

Finestre	35
Coperture e pavimenti	35
Sistema di distribuzione del gas	35
Caldaia ausiliaria	35
Pavimento radiante	40
Sistema ACS	50
Tubazioni unità trattamento aria	50

Tabella 1. Vita utile dei componenti soggetti a sostituzione. [Fonte: M. Cellura, M. Beccali, F. Guarino, V. Lo Brano 2013 "Redesign di edifici a energia netta zero e caratterizzazione degli edifici scolastici nella Regione Sicilia"]

La scelta di determinati materiali e prodotti edilizi e l'applicazione di specifici criteri di progettazione hanno già un notevole peso (da alcuni studi, pari al 40%) sull'energia necessaria all'edificio. In tal senso l'embodied energy è una misura dell'impatto ambientale, specie per quanto attiene le emissioni aeree di CO₂ e va computata, come mostrato di seguito, per tutti i materiali realmente utilizzati: non solo messi in opera durante il cantiere originario di costruzione ma anche impiegati durante la fase d'uso e gestione dell'edificio. I maggiori ostacoli a un approccio rigoroso che includa nell'LCA fattori di qualità edilizia sono:

- la mancanza di dati disaggregati, che permettano l'inventario degli input e output ambientali derivanti da singoli processi del processo edilizio;
- la difficoltà di prefigurare fasi di vita quali la messa in opera, le modalità d'uso da parte degli utenti, le reali modalità di manutenzione, dismissione e smaltimento;
- la mancanza e l'onerosità di modelli e di statistiche di affidabilità delle diverse soluzioni costruttive e di una manutenzione programmata. I dati da analizzare in fase di inventario dovrebbero essere raccolti sul campo (primary data or site data).

Tuttavia, è oggi alquanto limitata in Italia, la disponibilità di dati ambientali derivanti da analisi dirette effettuate presso ditte produttrici di materiali e prodotti per l'edilizia, così come sono pressoché inesistenti dati relativi alla fase di cantiere e alle fasi di manutenzione e gestione. È quindi necessario servirsi dei pochi dati derivati (secondary data) ricavabili dalla letteratura. Nel calcolo dell'embodied energy come illustrato precedentemente possono essere distinte:

- fasi che contribuiscono ad una embodied energy "iniziale", consumata fino al completamento dell'edificio (estrazione delle materie prime; produzione di materiali, prodotti e componenti edilizi, trasporto, cantiere);
- fasi che determinano una embodied energy "ricorrente", consumata per processi manutentivi di sostituzione e di ripristino, durante la fase d'uso dell'edificio, relative alle quantità di materiali e prodotti necessari agli interventi periodici. O globale riguarda l'acquisizione dei dati che sono fortemente influenzati dalle specificità locali: caratteristiche del mercato e disponibilità di materie prime e prodotti, regole d'arte tradizionali e abitudini della manodopera.

Per quanto attiene le fasi d'uso, i dati dovrebbero derivare da monitoraggi, audit e feedback ad oggi pressoché inesistenti, che rendono la valutazione della quota "ricorrente" di embodied energy affetta da ampi margini di approssimazione. Per l'esposizione ad agenti esterni e per la pluralità delle funzioni, la vita utile di materiali e prodotti di finitura è di gran lunga inferiore ai 50 anni. Ciò implica, un errore notevole nel computare l'uso di tali materiali

e prodotti un'unica volta (quella precedente alla costruzione) nel ciclo di vita dell'edificio. A titolo di esempio sono stati calcolati i valori di embodied energy per tre tipologie costruttive di parete perimetrale verticale: parete monostrato, parete isolata a cappotto, parete complessa pluristrato (Tab. 2).

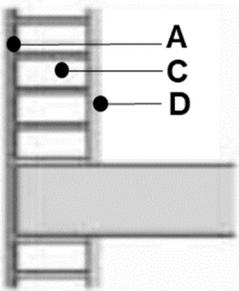
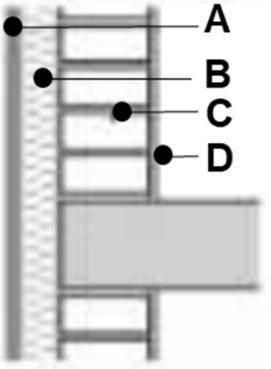
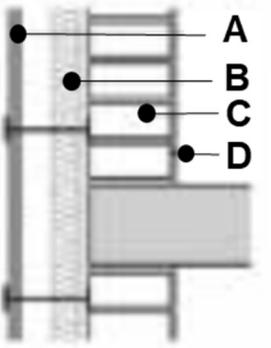
Parete Monostrato						
	A Malta cementizia	3.200	20.352	Riparazione parziale 30%	5	30.400
	Tinteggiatura esterna	128/l	70	Tinteggiatura	7	484
	C Blocchi cls all.	2.350	188.235			
	Malta cementizia	3.200	28.400			
	D Pannello in gesso	5.890	28.096			
	Pittura all'acqua	115/l	55	Tinteggiatura	5	276
	Totale/m³ parete		244.786			31.160
Parete isolata a cappotto						
	A Malta cementizia	3.200	20.352	Riparazione parziale 30%	5	30.400
	Tinteggiatura esterna	128/l	70	Tinteggiatura	7	484
	B Isolante in lana minerale	139	1.768	Riparazione parziale 30%	2	1.061
	C Blocchi cls all.	2.350	160.270			
	Malta cementizia	3.200	24.320			
	D Pannello in gesso	5.890	28.095			
	Pittura all'acqua	115/l	55	Tinteggiatura	5	276
Totale/m³ parete		234.930			32.221	
Parete complessa multistrato						
	A Lastre in pietra	1.890	12.020	Sostanziale parziale 10%	2	2.404
	B Isolante in lana minerale	139	1.768	Riparazione parziale 30%	2	1.061
	C Blocchi cls all.	2.350	134.514			
	Malta cementizia	3.200	20.352			
	D Pannello in gesso	5.890	28.095			
	Pittura all'acqua	115/l	55	Tinteggiatura	5	276
	Totale/m³ parete		196.805			2.680

Tabella 2 Calcolo delle quote di EE iniziale e ricorrente per tre tipi di parete perimetrale verticale (Fonte: Costanzo, E. (2003), Indicatori di compatibilità ambientale e durabilità negli edifici, in ENERGIA, AMBIENTE E INNOVAZIONE, pp. 88-90)

I valori ottenuti si riferiscono al volume unitario di parete. Le due quote di embodied energy, quella "iniziale" e quella "ricorrente", considerando frequenze medie di manutenzione, sono state computate in base a dati aggregati per volume unitario, reperiti in letteratura. I risultati mostrano una notevole incidenza dell'energia intrinseca dei materiali utilizzati per gli interventi di manutenzione, sostituzione e di recupero durante la fase di esercizio

dell'edificio. I frequenti interventi, necessari a mantenere livelli qualitativi sufficienti attraverso l'integrità degli strati cosiddetti di "sacrificio", determinano una quota rilevante di energia consumata in modo ricorrente (Eer) che raggiunge una percentuale del 12-13% di quella iniziale (Eei) laddove gli strati sono maggiormente interconnessi e simultaneamente coinvolti in processi di degrado (tipologie 1 e 2). Questi risultati suggeriscono di non trascurare, anche in sede di valutazione o certificazione degli edifici, le prestazioni ambientali di materiali e prodotti utilizzati in tutte le fasi del processo edilizio. Sull'esempio di quanto intrapreso dai paesi più avanzati per quanto attiene le azioni di salvaguardia ambientale, sarebbe necessaria la costruzione di una struttura di soggetti, supportata e in parte costituita dalle istituzioni, al fine di redigere strumenti regolamentari e normativi complementari ed efficaci, partendo dalla messa a sistema delle informazioni sui fattori impattanti e sui contributi delle attività antropiche (produttive, progettuali, gestionali) relative alle fasi del processo edilizio. Solo dall'analisi congiunta di tali fattori, e di quelli socioeconomici correlati, si potrebbero valutare e mettere a punto criteri, tecnologie, metodologie per orientare le politiche relative al processo e al prodotto edilizio ai fini di un contributo allo sviluppo sostenibile, nel rispetto dei più recenti documenti programmatici internazionali. Occorre quindi inserire, in modo organico, obiettivi, priorità e azioni in un piano di azione, secondo gli schemi riportati nelle figure seguenti.

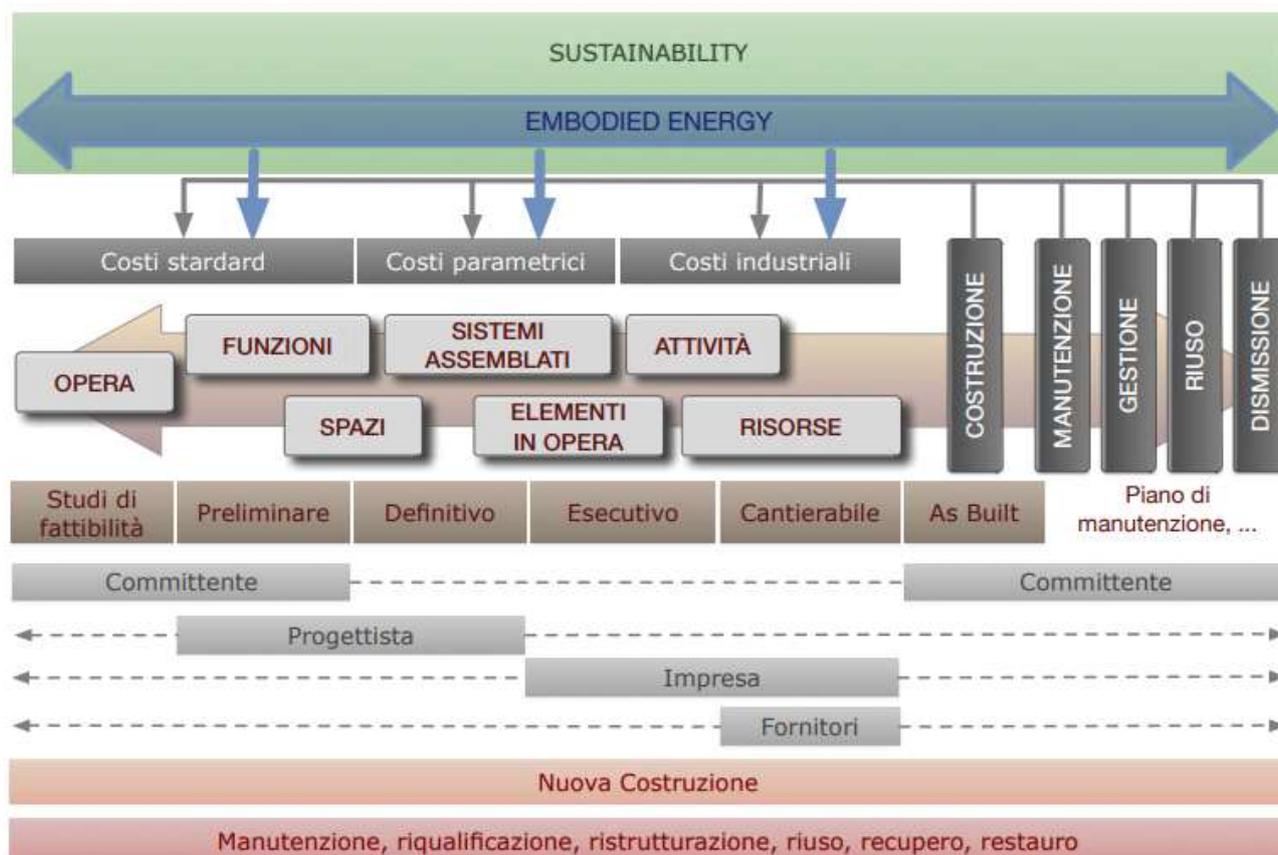


Figura 6. Schema di flusso inerente alla valutazione dell'embodied energy all'interno del processo edilizio

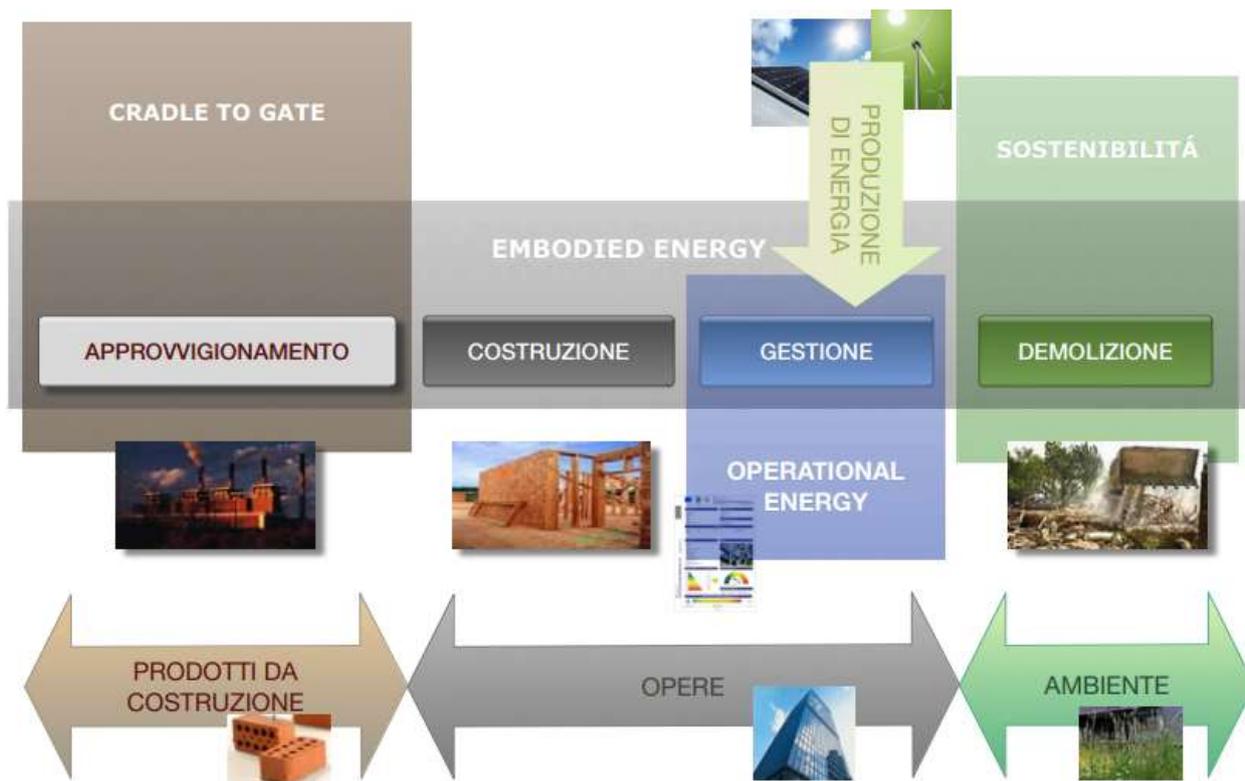


Figura 7. Analisi delle fasi di calcolo delle differenti tipologie di energia incorporata in un prodotto edilizio

Le principali azioni per la riduzione dell'energia incorporata in fase di manutenzione negli edifici sono:

- progettare gli interventi manutentivi e di ristrutturazione in maniera tale da garantire adattabilità e lunga durata;
- utilizzare materiali duraturi e a bassa richiesta di manutenzione;
- assicurarsi che i materiali possano essere facilmente separati;
- evitare di costruire più abitazioni del necessario per risparmiare materiali;
- modificare/riadattare invece di aggiungere/demolire;
- assicurarsi che i materiali provenienti dalla demolizione di edifici esistenti e da discariche di materiali edili vengano riutilizzati o riciclati;
- utilizzare materiali rinvenibili localmente, inclusi quelli recuperati nel cantiere per ridurre i trasporti;
- scegliere materiali a basso contenuto di energia grigia (che possono includere materiali con contenuto altamente riciclato) basandosi preferibilmente su dati prodotti da fornitori specifici;
- specificare dimensioni standard, e non utilizzare materiale ad alto contenuto energetico come riempitivi;
- assicurarsi che gli avanzi vengano riciclati ed evitare strutture ridondanti;
- alcune finiture ad altissimo contenuto energetico come le pitture hanno spesso alti livelli di spreco;
- scegliere materiali che possono essere riutilizzati e riciclati facilmente alla fine del loro ciclo di vita utilizzando sistemi di riciclaggio esistenti;

- dare preferenza a materiali prodotti utilizzando fonti di energia rinnovabili;
- utilizzare progetti e allestimenti di rivestimento degli edifici efficienti per minimizzare l'uso di materiali (per esempio un rivestimento energeticamente efficiente può ridurre o eliminare la necessità di dispositivi riscaldanti e raffreddanti, rubinetti efficienti permettono la riduzione delle tubature);
- chiedere ai fornitori informazioni sui loro prodotti e condividere queste informazioni.

5. Installazione di sistemi di isolamento per l'involucro edilizio

di Agostinelli Sofia, Pennacchia Elisa

Le prestazioni energetiche dell'intero organismo edilizio dipendono dall'efficienza dell'involucro chiamato a circoscriverlo. Se le componenti di chiusura (verticali, orizzontali, trasparenti, opache) non sono state progettate e realizzate in maniera consona alle prestazioni energetiche dell'edificio, le dispersioni dei flussi di calore passanti attraverso le stesse ne comprometteranno i consumi energetici finali.

Le azioni termiche che agiscono sull'esterno di un edificio sono combinazioni d'impatti radiativi e convettivi. La componente radiativa consiste nella radiazione solare incidente e nello scambio termico radiativo con l'ambiente esterno. L'impatto termico convettivo è una funzione dello scambio con la temperatura dell'aria circostante, e può essere accelerato dal movimento dell'aria.

Le dispersioni termiche che avvengono sotto forma di calore, dipendono dalla differenza di temperatura tra la facciata interna e esterna dell'involucro stesso e dalla resistenza termica del materiale o combinazione di materiali dei quali è fatto l'involucro.

I materiali componenti l'involucro che separa due ambienti a temperature differenti offrono una resistenza al passaggio del calore che varia in relazione diretta allo spessore del materiale e in relazione inversa alla sua "facilità" a trasmettere il calore (trasmittanza).

Al fine di migliorare le prestazioni energetiche degli edifici, il D.lgs. n. 192/2005²¹ e s.m.i. impone, in relazione alle diverse zone climatiche nazionali, precisi limiti al valore della trasmittanza termica delle chiusure opache per gli edifici esistenti di superficie utile superiore a 1000 m² soggetti a importanti interventi di ristrutturazione. Successivamente con il D.M. Requisiti minimi del 26/06/2015 vengono introdotti nuovi valori richiesti a partire dal 01 luglio 2015 e dal 01 Gennaio 2021.

Le proprietà termofisiche dei materiali e le resistenze termiche di murature e solai possono essere ricavate dalle norme UNI 10351, UNI 10355, UNI EN 1745 o da dichiarazioni del produttore conformi alle norme di prodotto armonizzate. A tal proposito si riportano i valori limite dei parametri caratteristici degli elementi edilizi negli edifici esistenti sottoposti a riqualificazione energetica (Tab. 3). In particolare, la regione Lazio presenta 4 zone climatiche: dalla C alla F.

²¹ Decreto Legislativo 19 agosto 2005 n. 192 in materia di "attuazione della Direttiva 2002/31/CE relativa al rendimento energetico in edilizia

ZONA CLIMATICA	U (W/m^2K) 2015 ²²	U (W/m^2K) 2021 ²³
A	0,45	0,40
B	0,45	0,40
C	0,40	0,36
D	0,36	0,32
E	0,30	0,28
F	0,28	0,26

Tabella 3. Trasmittanza termica U massima delle strutture opache verticali, verso l'esterno soggette a riqualificazione (Tabella 1, appendice B, D.M. 26/06/2015)

Come per le pareti opache, gli scambi di calore che si verificano attraverso una parete trasparente sono espressi tramite la trasmittanza termica (U). La trasmittanza termica del vetro è indicata con U_g (U_{glass}), quella del telaio con U_f (U_{frame}), quella del serramento (vetro e telaio) con U_w (U_{window}). Questa grandezza ha estrema importanza nel calcolo delle dispersioni energetiche invernali quando è elevata la differenza di temperatura tra interno ed esterno dell'edificio. Il D.M. Requisiti Minimi del 26/06/2015 introduce nuovi valori richiesti anche per le chiusure trasparenti a partire dal 01 Luglio 2015 e dal 01 Gennaio 2021.

ZONA CLIMATICA	U_w (W/m^2K) 2015 ²⁴	U_w (W/m^2K) 2021 ²⁵
A	3,20	3,00
B	3,20	3,00
C	2,40	2,00
D	2,10	1,80
E	1,90	1,40
F	1,70	1,00

Tabella 4. Trasmittanza termica U massima delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati soggette a riqualificazione (Tabella 4, appendice B, D.M. Requisiti Minimi del 26/06/2015)

5.1 Chiusure verticali

Si definisce chiusura l'insieme delle unità tecnologiche e degli elementi del sistema edilizio aventi funzione di separare e di conformare gli spazi interni del sistema edilizio stesso rispetto all'esterno (UNI 8290-1)²⁶. La separazione serve a ottenere le condizioni necessarie allo svolgimento delle attività umane all'interno dell'edificio attraverso la regolazione dei flussi di materia e di energia. Infatti, i flussi luminosi, termici, sonori e dell'aria attraversano la chiusura in modo tale da rendere lo scambio con l'esterno controllabile. La consistenza fisica e la particolarità della sua posizione nell'edificio determinano la rilevanza morfologica

²² dal 1° luglio 2015 per tutti gli edifici

²³ dal 1° gennaio 2021 per tutti gli edifici

²⁴ dal 1° luglio 2015 per tutti gli edifici

²⁵ dal 1° gennaio 2021 per tutti gli edifici

²⁶ Norma in materia di "Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia"

della chiusura verticale, e influiscono sulla forma dell'edificio e sulle caratteristiche dell'ambiente interno. Le chiusure verticali si distinguono in due classi di elementi tecnici:

- *Chiusure opache*: possono essere portanti, nel caso siano di supporto alle strutture sovrastanti o di tamponamento, nel caso siano costruite successivamente alla realizzazione della struttura portante. I requisiti specifici delle chiusure opache sono: isolare dalle temperature invernali, ovvero ridurre la dispersione del calore, isolare dal calore esterno estivo, impedire fenomeni di condensazione superficiale ed interstiziale e isolare dai rumori.
- *Chiusure trasparenti*: possono chiudere bucatore aperte nelle strutture opache verticali o sostituirsi a esse. Le chiusure trasparenti permettono di illuminare gli spazi interni, di captare l'energia solare in inverno e di porsi in relazione visiva con l'esterno. Tuttavia, le chiusure trasparenti non presentano soltanto aspetti positivi ma espongono gli ambienti interni alla dispersione termica invernale e al surriscaldamento estivo.

Per garantire il benessere delle attività umane all'interno dell'edificio è necessario che le chiusure verticali posseggano determinati requisiti, in particolare in termini di traspirabilità, tenuta all'acqua, isolamento termico e rimozione delle condensazioni superficiali.

In particolare, l'isolamento termico è la capacità della parete di conservare la superficie interna a temperature prossime a quelle dell'aria nell'ambiente, evitando il rischio di condensazioni superficiali e di fenomeni di trasmissione del calore. Tali proprietà sono favorite dalla presenza di strati continui di materiale con buone proprietà di isolamento termico in lastre rigide o materiale sciolto.

5.1.1 Tipologie di chiusure verticali opache

- *Parete monostrato*: costituita da uno solo strato che può avere anche funzione portante oltre a quella di isolamento termico. Si realizza con blocchi semplici, a bassa conduttanza quali quelli in pietra, in laterizio o in conglomerati cementizi. In questa tipologia il contrasto alla trasmissione termica è ripartito uniformemente lungo tutto lo spessore del muro.
- *Parete pluristrato*: l'isolamento termico posto in questo pacchetto murario può essere concentrato in tre collocazioni diverse, ovvero all'interno, all'esterno (isolamento a cappotto) e intermedio (a cassa vuota o a intercapedine). Il posizionamento dell'isolante all'esterno è quello che consente la risoluzione dei ponti termici mentre, quello all'interno della parete consente, oltre all'impiego di materiali isolanti rigidi, anche l'utilizzo di materiali isolanti sciolti come perlite e vermiculite; la parete può anche essere costituita solo dalla intercapedine d'aria non ventilata, naturalmente con una minore efficacia nell'isolamento termico.

- *Parete ventilata*: è un sistema di rivestimento dell'edificio tecnologicamente complesso, che sfrutta ancoraggi di tipo meccanico per fissare alla parete esterna una nuova pelle. Dal punto di vista strutturale è un vero e proprio sistema "a sbalzo" rispetto alle facciate tradizionali; infatti, la struttura metallica portante è fissata al muro dell'edificio mediante staffe ed ancoraggi che consentono l'assemblaggio di strati "indipendenti", come un paramento esterno e un materassino coibente, al fine di creare un'intercapedine d'aria. Il sistema a facciata ventilata è una delle tecnologie di rivestimento esterno degli edifici più efficace per risolvere le problematiche della protezione dall'umidità e dagli agenti atmosferici e dell'isolamento termico e acustico. L'aria che entra nell'intercapedine dal basso verso l'alto infatti crea un efficace flusso aerato che sviluppa le funzioni di traspirazione della facciata ed eliminazione dell'umidità. In estate infatti la facciata ventilata crea un flusso d'aria in movimento fra lastra esterna e pannello isolante, che permette all'aria surriscaldata che si forma nella camera di ventilazione, di essere espulsa alla sommità dell'edificio, diminuendo gli apporti termici dall'esterno e svolgendo anche la funzione di schermatura solare, assorbendo e riflettendo una grande quota di energia solare. Nel periodo invernale, invece, questa ventilazione favorisce la rapida eliminazione del vapore acqueo proveniente dall'interno; in questo modo si riduce sensibilmente il fenomeno della condensa e vengono drasticamente eliminati gli effetti negativi di eventuali penetrazioni di acqua con conseguente riduzione della quantità di calore che esce dall'edificio.

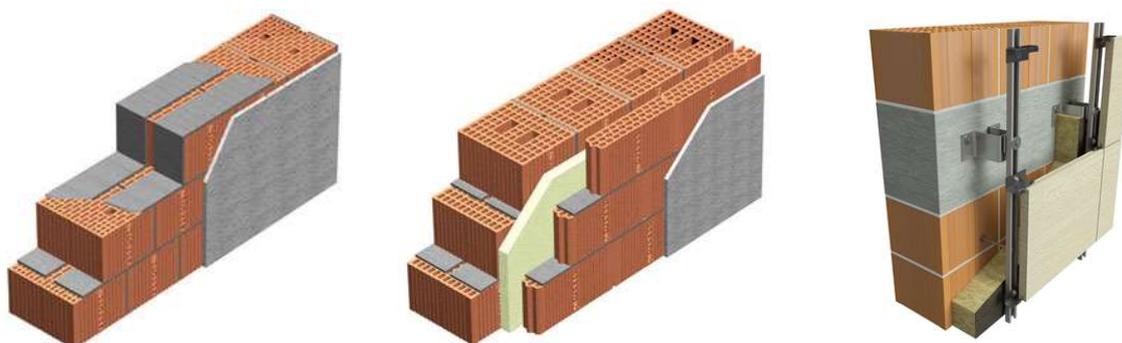


Figura 8. Esempio 1-Parete monostrato (a sinistra); Esempio 2-Parete pluristrato (al centro); Esempio 3-Parete ventilate (a destra)

5.1.2 Tipologie di chiusure verticali trasparenti

Le chiusure verticali trasparenti si distinguono a loro volta per:

- Tipologia di telaio:
 - *Infisso in legno*: grazie al fatto che il legno è di per sé un buon isolante termico e acustico è largamente utilizzato per costruire e realizzare serramenti. Le sue caratteristiche funzionali ed estetiche dipendono dalla qualità del legno utilizzato; può essere verniciato con tecniche differenti, come laccature colorate coprenti, laccature

a poro aperto oppure con l'applicazione di vernici trasparenti. Tale tipologia di telaio, pur essendo estremamente resistente, necessita di una assidua manutenzione a causa dell'esposizione al sole e alle intemperie. Per realizzare questi profili sono da preferire le specie legnose a fibratura dritta e parallela senza nodi o altre discontinuità.

- *Infisso in alluminio*: è generalmente leggero, robusto ed estremamente resistente agli agenti atmosferici, molto utilizzato per realizzare serramenti e persiane. L'alluminio usato può essere in esecuzione anodizzata, ossidata o verniciata a polveri o a sublimazione. L'alluminio in quanto metallo è un conduttore naturale, e quindi tale proprietà rende non particolarmente efficienti infissi in alluminio nell'isolamento termoacustico. Per ovviare a questo inconveniente e garantire buone prestazioni di isolamento, gli infissi in alluminio vengono prodotti con la tecnica del "taglio termico" che differisce dal comune "taglio freddo" per l'inserimento, all'interno delle camere d'aria dei profili, di listelli in materiali a bassa conducibilità termica interrompendo la continuità del metallo e isolando quindi la finestra da dispersioni termiche. Gli infissi in alluminio sono stabili, robusti, molto semplici da pulire e non richiedono particolari accorgimenti o manutenzione;
- *Infisso in acciaio*: detto anche ferro-finestra, e caratterizzato da elevata resistenza meccanica e da un limitato ingombro con una conseguente maggiore luminosità delle aperture. A causa degli elevati coefficienti di dilatazione termica e di conduttività termica, oltre ai costi di produzione e alla richiesta di maggiore manutenzione, vengono impiegati sempre meno;
- *Infisso in PVC*: viene estruso dopo un trattamento a oltre 200 °C, per la finitura viene ricoperto con pellicole dello spessore di circa 200 micron, rendendolo un ottimo isolante termico e acustico, con in più una durabilità molto elevata. È infatti caratterizzato da elevata resistenza al danneggiamento da parte degli agenti atmosferici e anche dalla salsedine marina;
- *Infisso con materiali combinati*: Si tratta di telai che utilizzano una combinazione dei materiali sopra descritti per ottenere risultati migliori sia esteticamente che a livello di isolamento, come ad esempio: legno/alluminio dove il legno è utilizzato per la parte interna del telaio e l'alluminio per la parte esterna; PVC/alluminio infisso in PVC ricoperto da alluminio; PVC/legno dove il legno è utilizzato per la parte interna del telaio e il PVC per la parte esterna; legno/PVC/alluminio, legno all'interno del telaio, struttura in PVC, alluminio come rivestimento esterno. Le aperture dei serramenti possono essere a battente, a ribalta o scorrevoli ma ovviamente la tipologia di apertura riveste solo un'importanza funzionale e potrebbe non influire sul comportamento termico del componente.

- Tecnologia dei vetri:
 - *Infisso a vetro singolo*: composto da un'unica lastra di vetro temperato. Tale soluzione ha una trasmittanza termica altissima e scarse proprietà di isolamento acustico.
 - *Infisso a doppi vetri evacuati*: è composto da almeno due lastre di vetro, nella cui intercapedine è stato praticato il vuoto. Il vantaggio di questa soluzione è di eliminare il trasferimento termico dovuto alla conduzione e alla convezione del gas presente nell'intercapedine. Le prestazioni energetiche diventano molto interessanti se accoppiate all'uso di vetri basso emissivi, con i quali si riduce anche lo scambio di tipo radiativo. Altri due vantaggi tipici delle finestre evacuate sono l'indipendenza delle proprietà isolanti dallo spessore dell'intercapedine, con la possibilità di avere componenti non ingombranti, e l'aspetto della finestra, identico a quello di un vetro camera tradizionale.

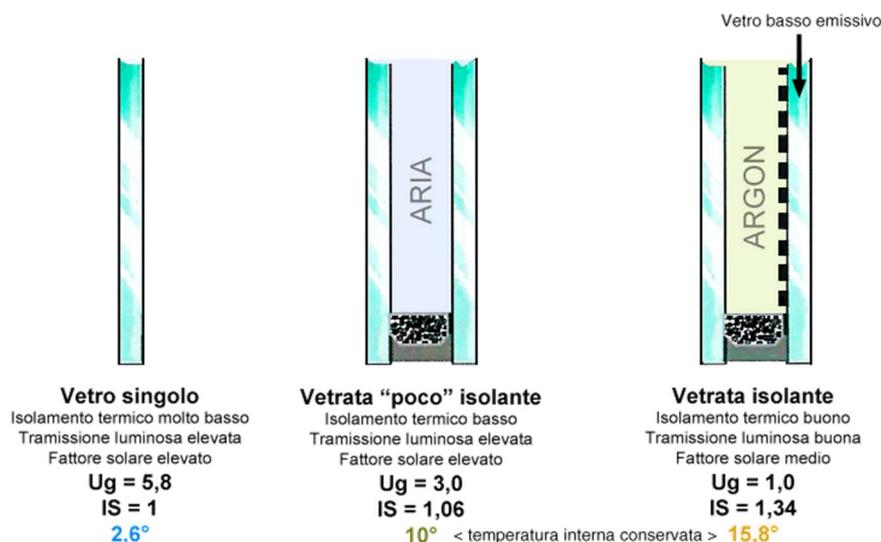


Figura 9. Confronto tipologie di vetro

5.2 Evoluzione della tecnologia delle chiusure verticali

Come detto in premessa il patrimonio immobiliare della Regione Lazio riguarda fabbricati costruiti a partire dagli anni '20 fino al 1990 circa. Quindi un'analisi storica può essere utile per ipotizzare, in base all'epoca di costruzione, quali materiali potremmo trovare nella composizione dell'involucro.

Gli edifici realizzati nel dopoguerra sono tra quelli con maggiori problemi, in quanto in assenza di leggi in materia sono spesso stati realizzati con involucri scadenti e senza strato isolante. Ma lo stesso problema si può rilevare in molti altri edifici realizzati fino all'entrata in vigore, e all'effettivo recepimento della Legge 10/91 sul risparmio energetico. Altri fattori importanti nel processo di conoscenza della composizione dell'involucro sono:

- la tipologia dell'edificio (ad esempio, a seconda che si tratti di edifici isolati, a torre o a schiera ci saranno tecniche costruttive differenti e, quindi, materiali differenti);
- la localizzazione geografica e le tradizioni costruttive locali (un'unità abitativa rurale sarà costituita da materiali differenti rispetto ad un villino cittadino, o ad una casa sul mare).

5.2.1 Chiusure verticali opache

- ANNI '20 – '30:
 - o *Muratura in pietra*: essa rappresenta un tipo di muratura economica assai diffusa nelle opere murali tradizionali. Per la sua realizzazione si necessita di requisiti fisici ben precisi quali la durezza, la lavorabilità, la granulosità e l'affinità con la malta. Inoltre, deve rispondere a caratteristiche chimiche quali la resistenza al gelo e di decomposizione a contatto con l'aria e l'acqua. Fra le qualità di pietre più idonee vi sono i calcari e molte qualità di tufi. La costruzione della muratura procede a strati orizzontali concatenando le pietre fra loro, disponendo alternativamente una pietra trasversale dopo due pietre poste longitudinalmente e sfalsando con cura tra un ricorso e l'altro i giunti verticali. Gli spazi vuoti che potranno formarsi tra le pietre dovranno essere riempiti con altre più piccole o colmando con la malta tutti gli interstizi. A seconda della forma più o meno regolare del materiale potranno ottenersi vari tipi di paramenti, con conci uguali o disuguali, con superficie esterna liscia o ruvida. Inoltre, alcuni elementi possono essere realizzati attraverso cordoli di cemento o mattoni ottenendo così una muratura mista o listata. Nella stratigrafia della muratura sono utilizzate all'esterno rocce eruttive quali graniti, porfidi e basalti la cui inalterabilità è proporzionale alla durezza e conservano le loro caratteristiche per un tempo indefinito. Storicamente in Italia le pareti perimetrali degli edifici erano realizzate in muratura portante, costituita da blocchi di pietra. La parete così realizzata aveva generalmente un forte spessore, quindi una massa termica. Inoltre, tale metodo costruttivo fu a lungo utilizzato nelle zone rurali.
 - o *Muratura a sacco con ricorso di mattoni*: è un tipo di muratura che si ritrova usata di frequente per la costruzione di edifici storici e opere difensive, consistente in due paramenti (muri) realizzati in pietra o mattoni paralleli e distanziati fra loro (aventi la funzione di cassero di contenimento e finitura superficiale), riempiti all'interno con una miscela di pietrisco e avanzi di lavorazione dei paramenti, legati da malta di cemento o di calce. Il nome deriva dal fatto che i due muri costituiscono una specie di sacco nel quale viene versato il riempimento. In tale tipologia muraria i mattoni pieni vengono utilizzati a rinforzo della stessa sia tramite ricorsi verticali che sugli angoli del manufatto. Tale tipologia muraria si riscontra in particolare nei fabbricati storici dei primi anni del '900 in cui il compito di sostenere i vari piani era assegnato,

appunto, alle murature perimetrali e ad alcuni muri interni degli edifici, soprattutto se questi erano di grandi dimensioni. Per sostenere il peso, le murature dovevano essere realizzate con spessori notevoli. Lo spessore della muratura costituisce la massa termica che si oppone al passaggio del calore tra interno ed esterno e viceversa: è per questo che gli edifici in muratura portante sono abbastanza caldi in inverno e freschi in estate.

- ANNI '30 – '50:

- *Muratura in mattoni pieni*: sono il tipo di muratura più diffuso e più antico e allo stesso tempo costituiscono elemento strutturale e rifinitura dell'edificio. Nel disporre i mattoni nei vari filari bisogna procedere avendo cura di mettere la maggior parte degli elementi di punta cioè con il lato più lungo normale alla parete esterna. Così lo spessore di una struttura laterizia risulterà sempre un multiplo del lato minore del mattone, cioè della testa. I muri si chiameranno di conseguenza ad una testa, 2, 3 ecc. che corrisponde agli spessori. Le pareti realizzate con tale sistema costruttivo solitamente hanno funzione portante grazie alla sua elevata resistenza a compressione. Tale tipologia costruttiva era un'operazione lunga e costosa, e perciò riservata per lo più agli edifici di pregio.

- ANNI '50 - '60:

- *Muratura in laterizi forati*: solitamente costituiscono murature di tamponamento ma possono essere usati come sistema portante (in questo caso svolgono la stessa funzione dei blocchi di pietra, solo per edifici di modeste dimensioni). Esse quindi vengono utilizzate a chiusura di pilastri in calcestruzzo armato. Tale tipologia di muratura è quella che possiede migliori requisiti in termini di leggerezza coibenza e afonicità. Il laterizio, infatti, è un materiale con ottime prestazioni termoisolanti. Nel caso di murature portanti in laterizio di forte spessore (40-50 cm) potrebbe non essere necessario lo strato di isolamento termico, poiché l'elevato spessore del laterizio funziona da massa termica. L'isolamento risulta invece necessario se le pareti in laterizio sono di spessore minore, nel caso in cui, ad esempio, il laterizio non ha funzione portante ma è usato come elemento di tamponamento.

- ANNI '60 - '70:

- *Muratura con forati in cemento precompresso*: la produzione industriale ha permesso una grande evoluzione dei prodotti nel tempo. I blocchi in calcestruzzo, rispetto ai mattoni in laterizio possiedono dei vantaggi legati alle loro maggiori dimensioni che di conseguenza comportano tempi ridotti di posa e costi complessivi minori. Inoltre, hanno una ottima resistenza meccanica a compressione. I blocchi in calcestruzzo vibro-compresso possono essere portanti o non portanti, ciò dipende dal rapporto di foratura. Generalmente l'aumento della capacità portante va a discapito soprattutto della leggerezza e in secondo luogo dell'isolamento termico, questo a causa della maggior

compattezza e omogeneità del calcestruzzo. Grazie all'elevata resistenza di questi manufatti sono state realizzate grandi murature con rapporti di snellezza sempre maggiori, rispondendo alla sempre maggiore richiesta di realizzazioni come per esempio quelle legate alla grande distribuzione.

- *Muratura a cassetta con laterizi forati*: L'intercapedine all'epoca costituiva una forma rudimentale di isolamento termico. In effetti laddove ci sono spessori di vuoto limitati (2-3 cm) l'aria contenuta nell'intercapedine costituiva una sorta di isolante tra interno ed esterno. Nella realtà poi e soprattutto laddove abbiamo spessori importanti di intercapedine (superiore a 5-6 cm fino ad arrivare a 30 e oltre) all'interno del muro si creano dei veri e propri moti convettivi (vera e propria corrente d'aria) che determinano una notevole dispersione termica. La principale soluzione tecnica prevede paramento esterno ed interno in blocchi di laterizio o cls alleggerito, paramento interno a blocchi ed esterno in mattoni faccia vista, paramento interno in calcestruzzo armato ed esterno in laterizio. Ad ogni modo le soluzioni tecniche più efficaci prevedono un paramento interno con massa maggiore rispetto a quello esterno, per un maggiore accumulo termico dello strato interno e una più efficace permeabilità al vapore dello strato esterno.
- ANNI '70 - '90:
 - *Muratura a cassetta con isolamento all'intercapedine*: questa tipologia prevede l'inserimento di materiale isolante per ridurre i carichi estivi e disperdere quelli invernali. Il materiale coibente inserito tra i due paramenti richiede, in caso di assenza della camera d'aria, il posizionamento di una barriera al vapore per garantire una parete interna asciutta. In caso di zone umide e particolarmente fredde è invece necessaria la realizzazione della camera d'aria. Il sistema murario composto con isolamento termico in intercapedine è, in Italia a tutt'oggi, la tipologia più diffusa di realizzazione delle chiusure d'ambito esterno. Tale sistema si compone solitamente di due pareti dello stesso o di diverso materiale, di differenti dimensioni, separate dalla camera d'aria e in cui la parete esterna viene realizzata con elementi di maggior spessore e densità. L'isolamento in intercapedine eseguito con i prodotti in lana di roccia o di vetro, di sufficiente spessore, che sono in grado di assicurare un ottimo isolamento termico e acustico oltre che un elevato comfort igrometrico.

5.2.2 Chiusure verticali trasparenti

- ANNI '20 – '60:
 - *Infisso in legno a vetro singolo*: essendo il legno un buon isolante termico e acustico è stato largamente utilizzato per costruire e realizzare serramenti. Pertanto, ad oggi, in Italia è possibile riscontrare numerosi infissi con telaio in

legno che venivano opportunamente laccati per aumentare la loro resistenza alle intemperie. Al centro del telaio veniva poi incastonata un'unica lastra di vetro temperato. Tale soluzione, però, ha una trasmittanza termica altissima e scarse proprietà di isolamento termo-acustico.

- ANNI '70 – '90:
 - o *Infisso in alluminio a taglio freddo*: la continuità di materiale tra la superficie esterna e quella interna determinano un effetto ponte termico più accentuato, data dall'alta conducibilità termica del materiale, che incide notevolmente sul riscaldamento o il raffreddamento degli ambienti. Gli infissi a taglio freddo sono composti di un materiale che non ha interruzioni termiche, è passante dall'esterno all'interno. Non sarebbe corretto chiamarlo "taglio freddo" proprio perché non c'è nessun taglio, ma per comodità per fare distinzione dal taglio termico viene spesso chiamato "taglio freddo". Sono considerati a taglio freddo i vecchi infissi in alluminio, quelli che in inverno portavano dentro casa il freddo che era fuori. Anche i vecchi serramenti in acciaio (comunemente chiamato ferro) sono infissi a taglio freddo e hanno gli stessi problemi dell'alluminio.
 - o *Infisso in legno a doppio vetro*: per non rinunciare al pregio estetico degli infissi in legno alla fine degli anni '70 si iniziò a studiare un metodo per il loro efficientamento. La soluzione fu quella di realizzare i telai come si faceva negli anni precedenti ma sostituendo al centro degli stessi il cosiddetto doppio vetro o vetrocamera composto da un vetro esterno, un'intercapedine chiamata camera e il vetro interno. Tale tecnologia in una fase iniziale andò a migliorare leggermente la resistenza termica degli infissi in legno.

5.3 Strategie di intervento

In linea generale per poter efficientare l'involucro di un edificio esistente è bene capire dove e come isolarlo effettuando una diagnosi energetica, o audit energetico, dell'edificio oggetto dell'intervento. Lo scopo di quest'ultima è di individuare possibili soluzioni tecniche ideali in termini di costi/benefici che possano ottimizzare l'efficienza energetica, limitando i consumi di energia e rendendo economicamente interessanti i tempi di ammortamento dell'investimento. L'involucro, fondamentale sottosistema dell'organismo edilizio, viene classificato in tre tipologie:

- caldo;
- freddo;
- isolato internamente.

Alla prima categoria appartengono tutte le stratigrafie verticali e orizzontali, in cui la struttura è ricoperta da uno strato isolante più esterno, in assenza di ventilazione; fanno parte di questa tipologia: il sistema a cappotto non ventilato esterno sulle pareti verticali, le coperture isolate discontinue non ventilate, le coperture continue non ventilate isolate a tetto caldo e

a tetto rovescio e le intercapedini contenenti aria o materiale isolante. Alla categoria di involucro freddo appartengono quelle stratigrafie in cui la parte strutturale prevede uno strato coibente che ha una camera di ventilazione a contatto con il suo estradosso; di questa categoria fanno parte le facciate a cappotto ventilato, le coperture discontinue isolate ventilate e quelle continue a tetto freddo. Alla terza categoria appartengono le stratigrafie che prevedono la presenza di materiale isolante all'interno della struttura portante.

Categoria di intervento	Tipologia di intervento
Isolamento termico sulla superficie interna della parete	Cappotto a contatto
	Cappotto su struttura di supporto
Isolamento termico sulla superficie esterna della parete	Véture
	A cappotto
Isolamento termico all'interno dell'intercapedine (parete a cassetta)	Soluzioni tecniche realizzate in opera
	Paramento interno in calcestruzzo armato ed esterno in laterizio
	Paramento interno ed esterno in blocchi di laterizio o di cls alleggerito
	Paramento interno in blocchi di laterizio o di cls alleggerito ed esterno in mattoni faccia a vista
	Soluzioni tecniche semi prefabbricate
	Soluzioni tecniche prefabbricate
	Paramento interno in calcestruzzo armato ed esterno in pannelli leggeri
	Paramento interno di blocchi di laterizio ed esterno in pannelli di cls armato
	Pannello prefabbricato in cls armato con paramento esterno in laterizio alleggerito
	Pannello prefabbricato in cls armato di tipo sandwich

Tabella 5. Principali tipologie di interventi per efficientamento dell'involucro opaco

5.3.1 Soluzioni per efficientare la parete perimetrale verticale opaca

L'isolamento termico della parete perimetrale verticale opaca dell'involucro edilizio può essere realizzato posizionando il materiale isolante sul lato interno o esterno della parete oppure in una apposita intercapedine realizzata all'interno della muratura.

Isolamento termico sulla superficie interna della parete

Per isolare una parete dall'interno si possono impiegare due tecniche: il cappotto a contatto e il cappotto su struttura. Nel primo caso si utilizzano delle lastre prefabbricate composte da materiale coibente rigido, come ad esempio lana di roccia, schiuma poliuretana o polistirene espanso, e da uno strato di cartongesso; tali pannelli vengono fissati alla parete

tramite tamponi adesivi a base di gesso o tasselli di ancoraggio presenti direttamente sullo strato resistente. La seconda soluzione prevede l'impiego di una sottostruttura in alluminio o legno all'interno della quale vengono posizionati i pannelli coibenti. Per migliorare le prestazioni termiche di questo sistema ed aumentare la protezione contro l'umidità è possibile realizzare una camera d'aria tra il materiale isolante ed uno o due pannelli di cartongesso o legno. Questa tecnica viene utilizzata con spessori maggiori di isolante e consente il passaggio delle reti elettriche, idrico-sanitarie, di riscaldamento. In presenza di forti escursioni termiche è bene scegliere un isolante idrofugo come lana di roccia, polistirene estruso o fibra di legno, nonché la predisposizione di una barriera al vapore. La finitura consiste nella rasatura e tinteggiatura.

ISOLAMENTO INTERNO	
VANTAGGI	CRITICITÀ
Adatto su un edificio di pregio o con facciata vincolata;	I ponti termici non vengono eliminati in facciata;
Incide sensibilmente la capacità di accumulazione termica della parete.	Possibili rischi di condensazione interstiziale in zone fredde ed umide;
Realizzabile anche in fase di ristrutturazione edilizia con costi contenuti senza gli oneri aggiuntivi necessari per la realizzazione di ponteggi esterni.	Si riduce la superficie utile degli ambienti.

Tabella 6. Vantaggi e criticità dell'isolamento termico sulla superficie interna della parete

Isolamento termico all'interno dell'intercapedine (parete a cassetta)

La parete isolata nell'intercapedine, detta anche "a cassetta", può essere realizzata tramite inserimento di materiale isolante o attraverso la creazione di una camera d'aria per ridurre i carichi estivi e disperdere quelli invernali. Le principali soluzioni tecniche sono:

- realizzate in opera (paramento esterno ed interno in blocchi di laterizio o cls alleggerito, paramento interno a blocchi ed esterno in mattoni faccia vista, paramento interno in calcestruzzo armato ed esterno in laterizio);
- semi prefabbricate (paramento interno di blocchi in laterizio ed esterno in pannelli di cls armato, paramento interno in cls armato ed esterno in pannelli leggeri);
- prefabbricate (pannello prefabbricato in cls armato con paramento esterno in calcestruzzo alleggerito, pannello prefabbricato in cls armato di tipo sandwich).

Le soluzioni tecniche più efficaci prevedono un paramento interno con massa maggiore rispetto a quello esterno, per un maggiore accumulo termico dello strato interno e una più efficace permeabilità al vapore dello strato esterno. Dal punto di vista realizzativo è caratterizzato da sistemi di collegamento meno complessi tra struttura interna ed esterna. In questo caso vengono impiegati generalmente pareti in calcestruzzo prefabbricate o gettate in opera o blocchi semipieni in laterizio o cls per realizzare lo strato resistente interno, mentre mattoni faccia vista o in pannelli leggeri o elementi in cls alleggerito ecc., per lo strato

esterno. Il materiale coibente inserito tra i due paramenti richiede, in caso di assenza della camera d'aria, il posizionamento di una barriera al vapore per garantire una parete interna asciutta. In caso di zone umide e particolarmente fredde è invece necessaria la realizzazione della camera d'aria. Il collegamento dei paramenti murari avviene tramite la realizzazione di marcapiani in calcestruzzo o sistemi di appoggio in acciaio fissati al solaio. La prefabbricazione consente di ridurre molto le tempistiche di realizzazione attraverso l'impiego di pareti perimetrali in calcestruzzo armato prefabbricate di tipo sandwich, con funzione anche di struttura portante; il pannello è costituito da uno strato portante interno, uno di protezione superficiale in calcestruzzo alleggerito e uno strato isolante solitamente in polistirene ad alta densità. Un'ulteriore soluzione intermedia è costituita da pannelli prefabbricati in cls di tipo monostrato per realizzare il paramento esterno mentre gli strati di isolamento e di paramento esterno possono essere completati in opera.

ISOLAMENTO ALL'INTERNO DELL'INTERCAPEDINE	
VANTAGGI	CRITICITÀ
Aumenta l'inerzia termica della parete	I ponti termici non vengono eliminati;
	Può comportare problemi di tipo statico e la predisposizione di idonei sistemi di collegamento tra gli strati;
	Realizzabile principalmente durante la costruzione dell'edificio o in fase successiva tramite insufflaggio.

Tabella 7. Vantaggi e criticità dell'isolamento all'interno dell'intercapedine

Isolamento termico sulla superficie esterna della parete

La parete isolata dall'esterno viene generalmente adottata per efficientare gli edifici esistenti, riducendo i consumi energetici ed eliminando eventuali ponti termici. Anche in questo caso si predilige l'impiego di pannelli coibenti rigidi per resistere alle sollecitazioni meccaniche indotte dagli agenti atmosferici che possono provocare dilatazioni termiche; per ridurre questo rischio è bene scegliere determinate soluzioni tecniche tra cui:

- un materiale a basso coefficiente di dilatazione termica;
- giunti di dilatazione e dispositivi di ripartizione dei carichi;
- fissaggio meccanico dell'isolante alla struttura con tasselli o profili meccanici a sviluppo orizzontale;
- impiego di uno strato di regolarizzazione e barriera al vapore tra isolante e parete;
- applicazione di una rete esterna di armatura che con il primo strato di intonaco regolarizza eventuali discontinuità tra i pannelli isolanti;
- realizzazione di uno strato di collegamento con malta cementizia a supporto dell'armatura porta intonaco.

Lo strato di protezione esterna può essere realizzato attraverso due soluzioni tecniche: mediante un intonaco su più strati di rivestimento seguiti da finitura o con pannelli isolanti già accoppiati ad elementi di protezione. Nel primo caso (sistema a cappotto) si procede con la stesura di strati sottili a base cementizia con spessore variabile tra i 2 e i 5 mm:

- primo strato a base cementizia, inerti ed aggreganti in resina posato sul pannello isolante;
- secondo strato posato con l'inserimento di una rete di ripartizione dei carichi in fibra di vetro;
- terzo strato di finitura con malta a base resinosa con pigmenti colorati direttamente in pasta.

Un'ulteriore soluzione prevede la realizzazione di uno strato unico di intonaco di circa 1,5-2 cm, posato a spruzzo su una rete di armatura in fibra di vetro o metallica collegata con giunti metallici direttamente allo strato sottostante, con finitura costituita da un sottile strato di intonaco plastico. La seconda tecnica, detta anche "véture", consiste nell'impiego di pannelli coibenti, spesso in polistirene ad alta densità, con spessore variabile da 3 a 12 cm e con uno strato di protezione sovrapposto; essi vengono applicati a parete mediante giunzioni metalliche o in PVC. Il rivestimento per la finitura può essere realizzato con diversi materiali:

- lamiera in acciaio inox o smaltato o plastificato, alluminio, rame o zinco-titanio;
- intonaco armato;
- lastre in cemento fibrorinforzato o in materiale lapideo;
- elementi in poliestere armato o PVC.

Qualora fossero scelte finiture metalliche o plastiche è necessario impiegare elementi microventilati per evitare fenomeni di condensa interstiziale.

CAPPOTTO ESTERNO	
VANTAGGI	CRITICITÀ
Eliminazione dei ponti termici e della conseguente formazione di condensa, muffe e macchie;	Costi più elevati a causa della necessità di un ponteggio all'esterno degli edifici;
I muri svolgono la funzione di volano termico, accumulando calore e cedendolo lentamente, riducendo quindi le ore di funzionamento dell'impianto di riscaldamento e migliorando l'inerzia termica anche nelle stagioni più calde e soleggiate;	Irrealizzabile in caso di edifici storici vincolati.
Si riducono i movimenti interstrutturali degli edifici evitando così il generarsi di fessurazioni;	
Soluzione realizzabile anche in fase di ristrutturazione edilizia.	

Tabella 8. Vantaggi e criticità dell'isolamento esterno (a cappotto)

Dall'analisi fin ora effettuata pertanto è emerso che la strategia di intervento va valutata sulla base della tipologia dell'edificio nonché della muratura che muta sia per ragioni temporali che geografiche.

Abaco delle soluzioni consigliate per le pareti opache in clima mediterraneo

Riducendo il campo di applicazione alla sola regione Lazio, dagli anni '20 agli anni '90, si sono evidenziate sette principali tipologie murarie:

- Muratura in pietra;
- Muratura a sacco con ricorso di mattoni;
- Muratura in mattoni pieni;
- Muratura in laterizi forati;
- Muratura con forati in cemento precompresso;
- Muratura a cassetta con laterizi forati;
- Muratura a cassetta con isolamento all'intercapedine.

Le strategie di intervento per l'efficientamento dell'involucro opaco possono essere sintetizzate in isolamento all'interno, insufflaggio nell'intercapedine e isolamento a capotto. Le modalità operative di intervento pertanto si definiscono in base alla tipologia muraria e a quella del fabbricato oggetto di intervento, mentre si riporta di seguito una tabella dei materiali utilizzabili che sono stati individuati per economicità e sostenibilità.

MATERIALE	CONDUCIBILITÀ TERMICA λ [W/(m ² K)]	RICICLATO / RICICLABILE	ISOLAMENTO INTERNO	INSUFFLAGGIO	CAPPOTTO ESTERNO
Polistirene espanso sinterizzato	0,035	✓	✓		✓
Fibra 100% poliestere	0,034	✓			✓
Vetro granulare espanso	0,040	✓	✓		✓
Pannello in fibra di lino	0,040	✓	✓		✓
Fibra di cellulosa	0,039	✓		✓	
Fibra di mais	0,036	✓	✓		
Fibre di kenaf e canapa	0,037	✓	✓		✓
Lana di pecora	0,039		✓		✓
Lana roccia	0,040	✓	✓		✓
Schiuma di poliuretano espanso	0,025			✓	

Tabella 9. Caratteristiche dei materiali utilizzabili per l'efficientamento dell'involucro

Per le schede tecniche relative ai materiali contenenti caratteristiche e indicazioni per una corretta pratica si rimanda all'Allegato A del presente documento.

- *Muratura in pietra*: come precedentemente analizzato essa rappresenta un tipo di muratura economica assai diffusa. Tale tipologia muraria ha una tradizione molto lunga sia in Italia che nel Lazio, infatti, la maggior parte delle pareti perimetrali degli edifici fino agli anni '30 erano realizzate in muratura portante, costituita da blocchi di pietra di varia natura. La parete così realizzata aveva generalmente un grande spessore, superiore ai 40 cm. Inoltre, tale metodo costruttivo, data la sua economicità e facilità di posa in opera, ha continuato ad essere la tipologia più utilizzata nelle zone rurali fino agli anni '80 - '90, in particolare nella realizzazione di fabbricati di modeste dimensioni sia come muratura portante che come tamponamento a strutture in cemento armato. A seconda del tipo di pietra utilizzata la trasmittanza totale U oscilla dai 2,70 W/(m²K) del pietrame ai 1,39 W/(m²K) del tufo. Inoltre, tali valori variano in base allo spessore della muratura stessa. Quindi, in fase di intervento, sulla base di quanto detto, si sceglierà lo spessore del materiale isolante tenendo conto della trasmittanza di partenza. Al fine di rientrare nelle prescrizioni della trasmittanza di legge è evidente che l'isolante avrà uno spessore significativo di circa 8-9 cm. Data, inoltre, la tipologia di fabbricato sul quale si andrà ad intervenire, qualora si riscontrasse un eventuale pregio storico artistico, si prediligerà l'isolamento all'interno rispetto a quello esterno. Si ricorda, che nonostante il sovrapprezzo per l'utilizzo di ponteggio, in caso di isolamento esterno, quello interno non è in grado di correggere i ponti termici e necessita dell'applicazione di barriera al vapore per evitare la formazione di umidità e conseguenti muffe.
- *Muratura a sacco con ricorso di mattoni*: tale tipologia muraria venne utilizzata in particolare nei fabbricati storici di grandi dimensioni, dei primi anni del '900, le cui murature avevano il compito di sostenere i vari piani. Per sopportare tale peso, le murature dovevano essere realizzate con spessori maggiori di 40 cm. Lo spessore della muratura costituisce la massa termica che si oppone al passaggio del calore tra interno ed esterno, pertanto questa tipologia di edifici in muratura portante risulta abbastanza calda in inverno e fresca in estate con una trasmittanza U che oscilla tra gli 1,24 W/(m²K) ai 0,98 W/(m²K) a seconda del materiale utilizzato per i paramenti. La parete, infatti, è costituita da due paramenti (muri) realizzati in pietra di diversa natura o mattoni paralleli e distanziati fra loro (aventi la funzione di cassero di contenimento e finitura superficiale), riempiti all'interno con una miscela di pietrisco e avanzi di lavorazione dei paramenti, legati da malta di cemento o di calce. Per intervenire su tale tipologia muraria è preferibile l'isolamento interno, nonostante le problematiche suddette, poiché la maggior parte degli edifici su cui si riscontra tale tipologia muraria sono fabbricati di interesse storico di grande dimensione e che nella maggior parte dei casi presentano anche vincoli esterni.
- *Muratura in mattoni pieni*: una delle murature più antiche, è costituita tramite sovrapposizione di elementi; in questo modo lo spessore di una struttura laterizia risulterà sempre un multiplo del lato minore del mattone, cioè della testa. I muri si chiameranno di conseguenza ad una testa, 2, 3 ecc. che corrispondono agli spessori. Le pareti realizzate con tale sistema costruttivo solitamente hanno funzione portante grazie alla sua elevata resistenza a compressione. Generalmente la trasmittanza di tali pareti varia tra gli 1,41 W/(m²K) ai 1,24 W/(m²K). Per efficientare tale tipologia muraria

si dovrà agire tramite l'installazione di pannelli isolanti all'interno o all'esterno della muratura, tenendo conto del pregio e delle rifiniture della stessa.

- *Muratura in laterizi forati e muratura in forati di cemento precompresso*: solitamente costituiscono murature di tamponamento ma possono essere usate come sistema portante. Nella maggior parte dei casi vengono utilizzate a tamponamento di pilastri in calcestruzzo armato. Tali tipologie murarie possono essere assimilabili, infatti possiedono i migliori requisiti in termini di coibenza ed hanno una trasmittanza U compresa tra $1,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ e $0,90 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ in base al grado di foratura dei blocchi. La sostanziale differenza tra le due tipologie consiste nelle maggiori dimensioni dei blocchi in cemento che di conseguenza comportano tempi ridotti di posa e costi complessivi minori. Inoltre, questi ultimi hanno un'ottima resistenza meccanica a compressione. Generalmente l'aumento della capacità portante va a discapito dell'isolamento termico, questo a causa della maggior compattezza e omogeneità del calcestruzzo. Ad ogni modo, per efficientare tali tipologie murarie, sono sufficienti pannelli isolanti di circa 5 – 8 cm di spessore. In questo caso le modalità operative che si possono reputare valide sono l'isolamento a cappotto e quello interno tenendo conto di tutte le accortezze del caso.
- *Muratura a cassetta con laterizi forati*: l'intercapedine costituisce la prima forma rudimentale di isolamento termico. In effetti, con spessori di vuoto limitati (2-3 cm), l'aria contenuta nell'intercapedine costituisce una sorta di isolante tra interno ed esterno, mentre con spessori importanti di intercapedine (superiore a 5-6 cm) all'interno del muro si creano dei veri e propri moti convettivi che determinano una notevole dispersione termica. Tale pacchetto murario ha una trasmittanza U di circa $0,87 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. La migliore soluzione tecnica prevede l'insufflaggio di materiale isolante all'interno dell'intercapedine, infatti, in questo modo si evita di creare ulteriori spessori nonché di dover intonacare grandi superfici. In questo caso è importante la scelta di un materiale con elevate proprietà coibenti.
- *Muratura a cassetta con isolamento all'intercapedine*: questa tipologia prevede l'inserimento di materiale isolante per ridurre i carichi estivi e disperdere quelli invernali. Il materiale coibente inserito tra i due paramenti può essere in lana di roccia o di vetro. In alcuni casi, se di sufficiente spessore, l'isolamento assicura una trasmittanza U di circa $0,36 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Pertanto, al fine di rientrare nelle prescrizioni della trasmittanza di legge è evidente che sarà sufficiente il montaggio di un pannello isolante dello spessore di soli circa 1-2 cm.

5.3.2 Soluzioni per efficientare l'involucro trasparente

Nell'ambito dell'efficientamento dell'involucro edilizio vengono presi in considerazione solo i serramenti esterni, ovviamente, che contribuiscono in maniera considerevole alla determinazione dei carichi termici invernali e soprattutto estivi. Solitamente dovendo l'infisso esterno permettere, tra le altre cose, il passaggio di luce naturale verso gli ambienti interni,

esso è realizzato montando un componente vetrato su un telaio di supporto. Avendo quindi già descritto le tipologie e le proprietà termofisiche dei componenti vetrati, di seguito i serramenti verranno descritti e classificati esclusivamente in funzione delle tipologie di telaio. I componenti trasparenti contribuiscono in modo significativo al bilancio energetico dell'edificio, sia con riferimento al periodo del raffrescamento estivo sia di quello del riscaldamento. Lo scopo di garantire il comfort indoor richiede un'analisi di aspetti diversi e alle volte tra loro contrastanti: se da un lato ampie finestrate consentono un'elevata illuminazione naturale degli ambienti, dall'altro obbligano a trovare soluzioni per ridurre il notevole carico termico che l'irraggiamento solare produce, i fenomeni di abbagliamento ed il conseguente discomfort locale. Il posizionamento e il dimensionamento delle aperture svolgono un ruolo fondamentale per la riduzione delle dispersioni termiche e variano a seconda della zona climatica. I benefici relativi a una buona progettazione dell'illuminazione naturale sono numerosi e riguardano:

- l'aumento della produttività in ambito lavorativo, in quanto la luce naturale crea ambienti più sani, più efficienti e più creativi;
- la riduzione dei carichi prodotti dalla luce artificiale con un conseguente risparmio economico, in quanto l'utilizzo della luce artificiale comporta da un 20% a un 25% del consumo di energia elettrica di un edificio;
- la diminuzione dei carichi termici, in quanto lo spettro solare si sviluppa maggiormente nel campo del visibile come energia luminosa rispetto alla zona dell'infrarosso associata all'emissione di calore;
- la restrizione dei carichi elettrici di picco soprattutto nel periodo estivo;

- il miglioramento delle condizioni di comfort poiché alcuni studi dimostrano come la variabilità della luce naturale durante l'arco di un giorno costituisce uno stimolo positivo sia dal punto di vista psicologico che biologico per l'essere umano;
- l'ottimizzazione della qualità delle prestazioni visive in quanto la luce naturale rappresenta la migliore sorgente di luce per la visione, sia in termini di qualità per la resa cromatica e le temperature colore, che in termini di quantità per i livelli di illuminamento.
- Un'adeguata progettazione dell'illuminazione naturale richiede la valutazione del parametro del fattore medio di luce diurna (FLDM), ovvero il rapporto fra il livello di illuminamento in un punto posto su un piano orizzontale all'interno del locale (E_{int}) e il livello di illuminamento in un punto posto su di un piano orizzontale sotto l'intero emisfero celeste in assenza di ostruzioni e di irraggiamento solare diretto (E_0) con misure fatte nello stesso momento.

Alcune condizioni necessarie ma non sufficienti per il soddisfacimento del requisito riguardano:

- il rapporto di illuminazione;
- il coefficiente di trasparenza delle superfici vetrate;
- la profondità dell'ambiente illuminato.

Molto spesso l'involucro trasparente, in termini di dispersioni, è il punto debole di un fabbricato, con vetrate composte da vetri singoli e infissi ormai deteriorati. Di conseguenza essi sono la causa di elevate dispersioni termiche in inverno ed eccessivi accumuli di calore in estate. Avere delle finestre performanti può giovare anche agli abitanti stessi dell'edificio, poiché permettono il contatto visivo con l'esterno, l'apporto di luce naturale, la protezione dagli agenti atmosferici e dai rumori esterni. Una riqualificazione energetica prevede di intervenire sulle performance di vetri e telai, riducendo gli apporti solari in eccesso, regolando la permeabilità all'aria - eliminando gli spifferi indesiderati, ma senza trascurare la necessità di un ricambio d'aria adeguato - e riducendo le dispersioni termiche. Le possibilità di intervento sull'involucro trasparente esistente può migliorare notevolmente l'efficienza energetica di un edificio e si può andare dalla totale sostituzione del serramento al rifacimento di alcune singole parti di esso. Di seguito vengono riportate le principali strade percorribili per efficientare l'involucro trasparente.

Inserimento di pellicole basso emissive: questo intervento è particolarmente indicato nel caso in cui gli infissi siano in buone condizioni, vi sia un doppio vetro e nessun problema di infiltrazione d'aria. L'inserimento di queste pellicole permette di migliorare le prestazioni termiche del vetro, che riflette verso l'interno la radiazione a onde lunghe, limitando la dissipazione di calore. Allo stesso tempo durante la stagione estiva gran parte della radiazione solare viene riflessa e tenuta all'esterno, garantendo un buon microclima interno.

Sigillare le infiltrazioni: anche in questo caso, l'intervento trova ragion d'essere nel momento in cui gli infissi siano in buone condizioni e le vetrocamere abbiano prestazioni accettabili. Le capacità di tenuta all'aria delle finestre degli edifici esistenti generalmente decadono con il passare del tempo, incidendo sulle prestazioni globali dell'edificio e, soprattutto, sul comfort interno degli ambienti. Sigillare le infiltrazioni significa ricorrere ad un materiale che può essere silicone, poliuretano o polifosfuro a seconda della compatibilità chimica con altri materiali presenti che permette di migliorare la situazione anche del 90% con un intervento veloce ed economico. Inoltre, per risolvere il problema delle infiltrazioni è possibile decidere di inserire delle guarnizioni. Un infisso deve resistere al vento e impedire che vi siano spifferi indesiderati, ma allo stesso tempo permettere un certo grado di permeabilità per evitare fenomeni spiacevoli come la condensa. Per capire su quali infissi e come è opportuno intervenire è possibile ricorrere ad apposite indagini visive e strumentali, come ad esempio il Blower Door Test²⁷.

Inserimento di una doppia finestra: nel caso sia necessario un intervento più incisivo, ma non è possibile intervenire sulla finestra esistente se ne valuta l'inserimento di una seconda più performante. Questo intervento è indicato, ad esempio, in tutti quegli edifici in cui non è possibile modificare l'estetica della facciata e l'infisso originale non possa essere sostituito. Allo stesso modo risulta efficace in un clima rigido, in cui una doppia protezione può solo giovare al comfort interno. L'inserimento di una doppia finestra è da valutare in base allo spazio disponibile e alle prestazioni del serramento esistente. Il risparmio di energia può

²⁷ Sistema per la verifica della permeabilità dell'aria negli edifici.

arrivare anche al 20% e si possono scegliere infissi di diverso materiale e vetri di diversa tipologia, in base alle prestazioni ottenibili dalla combinazione con l'esistente.

Inserimento di un secondo vetro: come per l'inserimento di una doppia finestra, questa operazione può essere utile quando non si ha la libertà di apportare significative modifiche estetiche all'edificio. Se il serramento è composto da un vetro singolo, ma è in buone condizioni e c'è lo spazio sufficiente, è possibile inserire un controvetro, sostenuto dall'infisso esistente. In questo modo aumenta l'isolamento termico della finestra e si riducono anche le dispersioni d'aria. I fattori da considerare sono la capacità dell'infisso esistente di reggere il peso di un nuovo elemento, la quantità di luce che entra nei locali attraverso entrambi i vetri, la trasmittanza termica totale e la necessità di eventuali schermature. Come per i normali serramenti, anche nel caso del controvetro, è opportuno valutare quale tipologia di vetro corrisponda al meglio alle necessità del progetto.

Sostituzione del vetro esistente: quando l'infisso è in buone condizioni, ma è presente un vetro singolo con scarse prestazioni termiche, si valuta la sostituzione del solo vetro. La scelta dovrebbe ricadere su un vetrocamera, composto da più vetri distanziati da intercapedini contenenti del gas di varia natura. La scelta della superficie vetrata si compie una volta verificate le condizioni del telaio e la sua capacità di supportare il nuovo elemento trasparente. I vetri possono essere basso emissivi o selettivi e nell'intercapedine troviamo aria o gas nobili, che aumentano il potere isolante.

Sostituzione dell'intero infisso: con il passare degli anni è normale che gli infissi tendano ad usurarsi e a non garantire più le stesse prestazioni. È utile evidenziare che gli infissi generalmente hanno una durata media di 20/30 anni. Di conseguenza se si è giunti a tal limite la sostituzione è più conveniente. La maggior parte delle aziende che realizzano infissi e serramenti il più delle volte consigliano ai propri clienti di investire nella sostituzione piuttosto che nella manutenzione, vista anche la possibilità di beneficiare delle agevolazioni fiscali. In particolare, è consigliato procedere in tal senso quando si dispone di infissi in legno la cui manutenzione risulta essere più corposa, in termini economici, rispetto alla loro sostituzione. Gli infissi in alluminio che si facevano una volta non comportano vantaggi, anzi. L'alluminio presenta alcuni difetti, a partire dal fatto che non è adatto a garantire un ottimo isolamento termico, di naturale conseguenza predispone a muffe e condensa nell'abitazione. Oggi, tuttavia, esistono soluzioni miste che permettono di godere di enormi benefici. Parliamo delle finestre in legno-alluminio e alluminio-legno, naturalmente a taglio termico, dalle prestazioni eccellenti. Una valida alternativa è inoltre costituita dagli infissi in PVC²⁸, di per sé molto versatili, che dunque richiedono poca manutenzione rispetto a quelli realizzati in solo legno e garantiscono performance migliori. Questo perché il PVC è un materiale isolante, ignifugo, eco-sostenibile e duraturo nel tempo. Sostituire infissi ormai obsoleti con infissi in PVC o in legno-alluminio significa godere di un risparmio energetico grazie all'efficienza garantita, generata dalla caratteristica di essere degli ottimi isolanti.

²⁸ Cloruro di Polivinile, materiale termoplastico ricavato da materie prime naturali.

Tipologie di vetri per efficientamento dell'involucro trasparente

Nella fisica dell'edificio la scelta della tipologia di vetro da impiegare deve essere fatta in funzione delle esigenze progettuali, con particolare riguardo alla trasparenza alla luce solare e alle caratteristiche di resistenza alla trasmissione del calore.

Si possono quindi evidenziare le seguenti tipologie di vetri ad oggi in commercio:

- *vetri stratificati*: un insieme composto da un foglio di vetro e da uno o più fogli di vetro e/o di plastica, uniti assieme con uno o più intercalari; il vetro stratificato può essere realizzato assemblando vetri, fogli di plastica ed intercalandoli in molteplici combinazioni. I fogli di plastica possono essere chiari, colorati o rivestiti, trasparenti o traslucidi. Gli intercalari possono essere chiari o colorati, trasparenti, traslucidi, opachi oppure rivestiti. I vetri stratificati, oltre che essere indicati per le elevate caratteristiche di sicurezza antinfortunistica, svolgono anche le seguenti funzioni di: controllo della visione e della luce, isolamento termico, protezione solare, isolamento acustico, tutto ciò ovviamente con i dovuti abbinamenti vetrati;
- *vetri isolanti*: ovvero quelli con due o più lastre di vetro, detti vetri doppi, tripli, ecc. formanti camere. Le lastre di vetro vengono poste a distanza tra loro e poi vengono sigillate ermeticamente così da costituire un unico elemento con all'interno intercapedini d'aria con funzione di isolante termico. Al posto dell'aria si possono impiegare altri gas di riempimento, con prestazioni termiche più elevate dei normali vetri isolanti; a tal fine si usano gas inerti, che non reagiscono con gli altri materiali ma che aumentano la resistenza al passaggio del flusso di calore rispetto all'aria, riducendo la trasmittanza termica del vetro. Solitamente vengono impiegati gas come Argon o Krypton, quest'ultimo più performante ma anche più costoso e quindi indicato solo per esecuzioni particolari;
- *vetri con rivestimento a bassa emissività*: hanno la possibilità di diminuire ulteriormente il passaggio di calore attraverso i vetri isolanti, garantendo una riduzione delle dispersioni termiche almeno del 30%. Il rivestimento basso emissivo applicato sul vetro è un film di metallo o di ossido di metallo che agisce sia in regime invernale che in regime estivo: per la stagione estiva in zone dai climi caldi, per gli infissi esposti a sud, est, ovest il rivestimento basso emissivo viene applicato sulla lastra esterna del vetro isolante, per il funzionamento invernale deve essere applicato sulla lastra interna del vetro;
- *vetri con rivestimenti riflettenti*: il rivestimento riflettente riduce la componente della radiazione solare che penetra nell'edificio attraverso la superficie del vetro; tali vetri sono in grado quindi di ridurre sia la frazione di radiazione visibile che complessivamente il valore di guadagno di calore solare. Vengono realizzati mediante la deposizione sulla superficie vetrosa di un sottile film metallico che aumenta il coefficiente di riflessione del materiale a discapito di quello di trasparenza

e di assorbimento per quasi tutte le radiazioni di lunghezza d'onda compresa nel campo del visibile dell'infrarosso;

- *vetri con rivestimenti spettralmente selettivi*: sono vetri realizzati con particolari rivestimenti basso emissivi che li rendono riflettenti alle radiazioni termiche con una diminuzione del carico termico trasmesso in ambiente tra il 40 e il 70% ma al contempo non riflettono le radiazioni luminose rimanendo così altamente trasparenti alla luce solare;
- *vetri colorati*: hanno la caratteristica di assorbire una buona parte della radiazione solare incidente riducendo sensibilmente il coefficiente di guadagno di luce solare, ma conseguentemente anche la trasmissione di radiazione visibile e l'abbagliamento. Il tipo di colore del vetro influenza i meccanismi di trasmissione delle radiazioni luminose e termiche; ad esempio il bronzo e il grigio riducono allo stesso modo la penetrazione di luce visibile e calore solare, mentre colori come blu e verde offrono una maggiore penetrazione della luce visibile opponendosi maggiormente allo scambio di calore;
- *vetri fotovoltaici*: progettati per sfruttare l'energia del sole, presentano sulla superficie del vetro un film sottilissimo realizzato con materiale fotocatalitico che lo riveste sotto forma di gel. Il gel, nella cui composizione è presente il silicio amorfo, attraverso una serie di processi di lavorazione in laboratorio, viene reso semiconduttore e poi trasformato e lavorato così da poter essere applicato sulle superfici trasparenti;
- *vetri cromogenici*: sono una tipologia di vetri che assumono un diverso comportamento in funzione del tipo di luce incidente, del campo di temperature alla quale sono sottoposti e di un'eventuale differenza di potenziale elettrico applicato dall'esterno. Questi vetri assumono diverse denominazioni a seconda del fattore che ne influenza il cambio di proprietà:
 - *fotocromici*: quando la loro trasparenza ed il controllo solare variano nel tempo in funzione dell'intensità luminosa incidente; maggiore è la radiazione luminosa più riflettono la luce attraverso un cambio di colorazione tendente allo scuro (blu); al buio invece tornano chiari e trasparenti.
 - *termocromici*: è la temperatura a modificarne le caratteristiche di trasparenza alla radiazione luminosa e termica, quindi maggiore è la temperatura, più il vetro si opacizza.
 - *elettrocromici*: una variazione della tensione elettrica appositamente indotta è la causa dell'alterazione del coefficiente di trasmissione della radiazione luminosa. Sono vetri stratificati, la cui struttura è costituita da un elettrolita che è inglobato tra due elettrodi che a loro volta sono incorporati tra due conduttori trasparenti ed inseriti tra due lastre di vetro. Quando viene applicata una tensione elettrica, si

verifica una reazione elettrochimica che causa la migrazione di ioni da un elettrodo all'altro provocando una variazione del colore del componente. Quando al sistema viene applicata la tensione, il vetro si colora, a circuito aperto il sistema conserva la colorazione poiché l'elettrolita ha una bassa conduttività elettronica. Per ottenere il ritorno alle condizioni di trasparenza bisogna invertire la polarità.

- *vetri a cristalli liquidi*: nei quali i cristalli che ne costituiscono la struttura cambiano orientamento nel momento in cui viene applicata una differenza di potenziale tra gli elettrodi del sistema: quando il dispositivo è acceso, la vetrata è trasparente perché i cristalli o le particelle sono allineate mentre quando il dispositivo è spento, la vetrata appare traslucida.
- *vetri ventilati*: in cui l'aria viene aspirata all'interno di una camera ventilata per creare un cuscinetto d'aria a temperatura costante. Un sensore collocato in prossimità della ventola di aspirazione rileva tale temperatura: qualora quest'ultima aumentasse la ventola entra in funzione facendo circolare l'aria e spingendo via quella riscaldata dall'irraggiamento. In inverno invece l'aria viene impiegata per scaldare l'ambiente interno.

Abaco di soluzioni consigliate per le chiusure vetrate in clima mediterraneo

Come analizzato in precedenza è possibile efficientare l'involucro trasparente attraverso vari interventi quali:

- inserimento di pellicole basso emissive;
- sigillare le infiltrazioni;
- inserimento di una doppia finestra;
- inserimento di un doppio vetro;
- sostituzione del vetro esistente;
- sostituzione del serramento completo.

Tali interventi, ad ogni modo, nella maggior parte dei casi non sono in grado di raggiungere la trasmittanza U di $2,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ prescritta nella normativa di legge. Infatti, la sola applicazione di pellicole trasparenti può essere sufficientemente indicata nel caso in cui gli infissi siano in buone condizioni, vi sia un doppio vetro e nessun problema di infiltrazione di aria. Quindi, solo partendo da un infisso con ottime prestazioni energetiche si può raggiungere la prestazione energetica di legge. Anche nel caso in cui si intervenisse solo mediante la sigillatura degli infissi tramite un materiale che può essere silicone, poliuretano o polifosforo a seconda della compatibilità chimica con altri materiali presenti, ad ogni modo, non si otterrebbe un risultato ottimale solo qualora siano in buone condizioni e le vetrocamere abbiano prestazioni accettabili. Mentre per quanto concerne, la possibile introduzione di un secondo infisso risulta valido solo nel caso in cui sia necessario un intervento più incisivo, ma non è possibile intervenire sulla finestra esistente poiché non è possibile modificare l'estetica della facciata e l'infisso originale non possa essere sostituito. Come per

l'inserimento di una doppia finestra, la sostituzione del vetro può essere utile quando non si ha la libertà di apportare significative modifiche estetiche all'edificio. Ma come appare evidente le ultime tipologie di intervento citate risultano costose quanto la completa sostituzione dell'infisso stesso. Al vetro tradizionale è bene preferire un doppio o triplo vetro basso emissivo, con le vetrocamere riempite di gas Argon, il più frequentemente utilizzato, o gas Krypton, più efficace ma anche più costoso e difficile da reperire. La funzione della patina è riflettere il calore, trattenendolo nell'ambiente e riducendo le dispersioni termiche. Il vantaggio si avverte soprattutto d'inverno, con una conseguente diminuzione delle spese di riscaldamento, e anche in termini di comfort ambientale.

INFISSI IN LEGNO	
VANTAGGI	SVANTAGGI
Aspetto gradevole	Costo elevato del legno di qualità
Basso coefficiente di trasmittanza termica (quercia 0,18 W/m ² K, abete 0,126 W/m ² K)	Deformabilità dovuta ad oscillazioni del tasso di umidità
Facilità di lavorazione	Deperibilità causata da agenti biologici come funghi ed insetti

Tabella 10. Vantaggi e svantaggi degli infissi in legno

INFISSI IN ALLUMINIO	
VANTAGGI	SVANTAGGI
Inalterabilità a contatto con molte sostanze liquide	Elevata conduttività termica (209 W/mk)
Maggiore durabilità rispetto agli infissi in legno	
Non richiede riverniciature	
Leggerezza	
Resistenza agli agenti atmosferici	
combinazione con altri materiali per aumentarne le prestazioni	

Tabella 11. Vantaggi e svantaggi degli infissi in alluminio

INFISSI IN ACCIAIO	
VANTAGGI	SVANTAGGI
Elevata resistenza meccanica	Elevata conduttività termica (50 W/mK)
Ingombro limitato	Elevato coefficiente di dilatazione termica
	Maggiore manutenzione nel tempo

Tabella 12. Vantaggi e svantaggi degli infissi in acciaio

INFISSI IN PVC	
VANTAGGI	SVANTAGGI
Elevato isolamento acustico e termico	Elevato coefficiente di dilatazione termica dei profili
Facilità di lavorazione	

Inattaccabilità da parte degli agenti chimici esterni	
Indeformabilità	
Manutenzione minima	

Tabella 13. Vantaggi e svantaggi degli infissi in PVC

Nell' Allegato B sono riportate le schede tecniche relative ai materiali contenenti caratteristiche e indicazioni per una corretta pratica.

6. Efficietamento dei sistemi di riscaldamento

di Sforzini Matteo

Oltre il 90% degli edifici presenta un sistema di riscaldamento caratterizzato da un generatore di calore a combustione, il 9% utilizza sistemi alternativi senza combustione mentre soltanto l'1% non presenta l'impianto di riscaldamento. Il consumo energetico associato al riscaldamento ed al raffrescamento rappresenta oltre il 70% di tutta l'energia consumata dall'edificio con particolare riferimento a quelli residenziali.

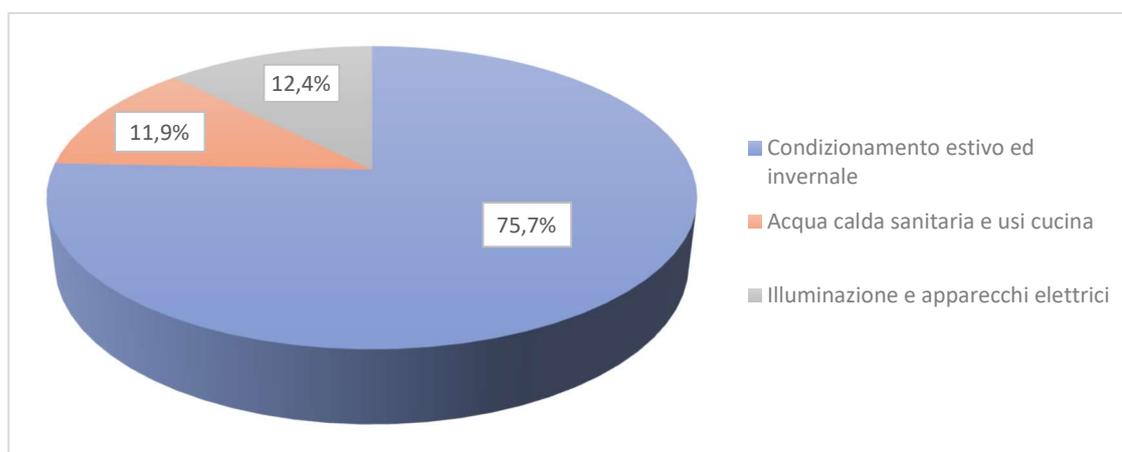


Figura 10. Consumi energetici globali per usi finali degli edifici residenziali italiani

È opportuno quindi che ogni singolo edificio, dalla singola abitazione al condominio, dal capannone industriale ai grandi centri commerciali, sia dotato di un impianto di riscaldamento ben funzionante ed efficiente. Infatti, un impianto termico efficiente, a parità di calore consuma meno combustibile, inquinando meno e riducendo il costo della bolletta energetica. La maggior parte degli edifici, ad oggi, presentano un generatore di calore a bassa efficienza mediamente con oltre 10 anni di esercizio. La scelta di un sistema di riscaldamento innovativo svolge naturalmente un ruolo chiave in grado di risolvere i problemi di consumi energetici eccessivi e di mancanza di regolazione degli impianti vetusti soprattutto nell'ottica di una riqualificazione "profonda", intesa come mix di ottimizzazione di efficienza cui devono concorrere tutti i componenti di un edificio (involucro, copertura, impiantistica). Le soluzioni tecnologiche per il riscaldamento devono puntare su efficienza e sostenibilità affinché gli edifici possano trasformarsi da un impianto oneroso a forte dispersione energetica in un impianto con un perfetto rapporto tra comfort e costi di gestione. L'efficientamento di tali sistemi deve riguardare tutti i componenti, da quelli necessari alla generazione del calore ai sistemi di distribuzione e regolazione climatica.

6.1 Generatore di calore

Negli ultimi anni, l'attenzione al risparmio energetico e alla riduzione delle emissioni inquinanti in atmosfera derivanti dalla combustione hanno portato i generatori di calore ad essere oggetto di una ricerca tecnologica che ne massimizzasse il rendimento e che al tempo stesso abbattesse le concentrazioni di sostanze nocive contenute nei fumi di combustione rilasciati in atmosfera. Il generatore di calore è il cuore di ogni impianto di riscaldamento. Se ha più di 15 anni, oppure se si basa su una tecnologia a bassa efficienza, conviene valutarne la sostituzione in quanto l'efficacia complessiva diminuisce con il passare del tempo. È opportuno in questi casi optare per sistemi più efficienti ed innovativi come ad esempio le nuove caldaie a condensazione, le pompe di calore, o impianti integrati dove la caldaia è alimentata con acqua preriscaldata da un impianto solare termico e/o da una pompa di calore alimentata da un impianto fotovoltaico. Inoltre, la corretta manutenzione è un'operazione di fondamentale importanza sia sul piano della sicurezza che dal punto di vista dell'efficienza energetica. Generatori di calore non mantenuti a parità di comfort ambientale consumano una quantità di combustibile maggiore riducendo l'efficienza complessiva del sistema, oltre a rappresentare un pericolo dal punto di vista della sicurezza.

6.1.1 Manutenzione del generatore di calore

La manutenzione, in generale, consiste in tutte quelle operazioni ordinarie che si eseguono su un impianto o parte di esso per verificare la rispondenza di quest'ultimo alle norme di sicurezza, per mantenerlo in buono stato e per garantire la sua efficienza nel tempo. In particolare, le operazioni da compiere per una corretta manutenzione del generatore di calore vengono stabilite dal produttore così come la loro periodicità. In riferimento alle caldaie, la manutenzione è obbligatoria e le tempistiche per la manutenzione di ciascun apparecchio/componente sono riportate dai produttori stessi nei libretti d'uso e manutenzione. Di seguito sono riportate le operazioni più comuni di manutenzione delle caldaie.

- Pulizia dello scambiatore di calore;
- Pulizia del bruciatore;
- Controllo ed eventuale ripristino della pressione dei vasi d'espansione;
- Rimozione incrostazioni nel circuito di riscaldamento;
- Controllo di efficienza energetica.

Il controllo di efficienza energetica (c.d. prova dei fumi) consiste nella misura dei parametri di combustione tramite uno strumento e nella determinazione del rendimento dell'apparecchio. Il rendimento minimo da soddisfare è previsto dall'Allegato B del DPR 74/2013²⁹, mentre la concentrazione di monossido di carbonio deve essere inferiore a 1.000

²⁹ Decreto Presidente della Repubblica 16 aprile 2013 n. 74 in materia di "Regolamento recante definizione dei criteri generali in materia di esercizio, conduzione, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti termici per la

ppm (parti per milione), secondo quanto prescritto dalla norma UNI 10389. Il controllo di efficienza è bene eseguirlo ogni volta che si effettua la manutenzione, ma il DPR 74/2013 impone per le caldaie a gas domestiche una cadenza almeno quadriennale. Pertanto, il controllo di efficienza energetica non necessariamente segue la periodicità prevista per le manutenzioni, ma per le caldaie a gas di potenza inferiore a 100 kW deve essere svolto con periodicità quadriennale, anche se è vivamente consigliato eseguirlo ogni volta che viene effettuata la manutenzione all'apparecchio. Di fatto è un controllo veloce che si esegue a fine manutenzione ed assicura la regolare funzionalità del generatore salvaguardando la sicurezza delle persone e garantendo un risparmio di combustibile. Le regole base per una buona manutenzione sono valide naturalmente anche per i sistemi che utilizzano pompe di calore, risultando fondamentali per il loro corretto funzionamento. La manutenzione base di una pompa di calore può essere effettuata anche direttamente dall'utente. Essa però deve essere svolta con costanza prestando grande attenzione alla regolarità temporale di tale intervento. Gli interventi di manutenzione più comuni per una pompa di calore si possono riassumere come segue e riguardano principalmente interventi di pulizia dei componenti che compongono il sistema.

- Pulizia dell'evaporatore e del condensatore;
- Pulizia dei filtri dell'aria;
- Pulizia del tubo di scarico della condensa.

6.1.2 Sostituzione del generatore di calore

Se l'edificio presenta un generatore di calore datato e se a seguito di una diagnosi energetica o a seguito di un controllo di efficienza energetica, esso risulta essere poco efficiente, è opportuno procedere alla sua sostituzione. La scelta del nuovo generatore di calore può riguardare diverse tipologie: i generatori di calore più efficienti a servizio degli edifici residenziali possono essere caldaie a gas a condensazione o a biomassa, pompe di calore o sistemi ibridi caratterizzati da una combinazione di tecnologie.

Caldaia a condensazione

La ricerca di tecnologie innovative per ottenere standard sempre più elevati di efficienza energetica ha prodotto una nuova generazione di caldaie a gas definite "a condensazione". Le caldaie tradizionali rispetto a quelle a condensazione differiscono nella modalità di recupero del calore dai fumi di combustione.

Le caldaie tradizionali utilizzano solo una parte del calore ricavabile dai fumi di combustione perché ne evitano la condensazione in quanto possibile causa di corrosione dei condotti di evacuazione e delle parti del generatore stesso. Quando la temperatura dei fumi di combustione scende al di sotto del punto di rugiada, generalmente 56 °C se si utilizza gas metano, il vapore acqueo prodotto, presente nei fumi, condensa (passando dallo stato gassoso allo stato liquido) liberando energia sotto forma di calore (c.d. calore latente) utile per preriscaldare l'acqua in ingresso. Una caldaia tradizionale, come detto, utilizza solo

climatizzazione invernale ed estiva degli edifici e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, a norma dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e c), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192.

parte del calore latente generato dalla combustione del gas, poiché il vapore acqueo viene disperso in atmosfera insieme ai gas esausti. Nelle caldaie a condensazione, invece, si sfrutta proprio questo potenziale: viene recuperato parte del calore latente dei fumi prima che vengano espulsi. I fumi di combustione, in questo caso, vengono convogliati all'interno di un apposito scambiatore di calore in grado di sottrarre il calore latente generato dalla condensazione e di sfruttarlo per il preriscaldamento dell'acqua di ritorno dall'impianto di riscaldamento e/o l'acqua destinata agli usi sanitari.

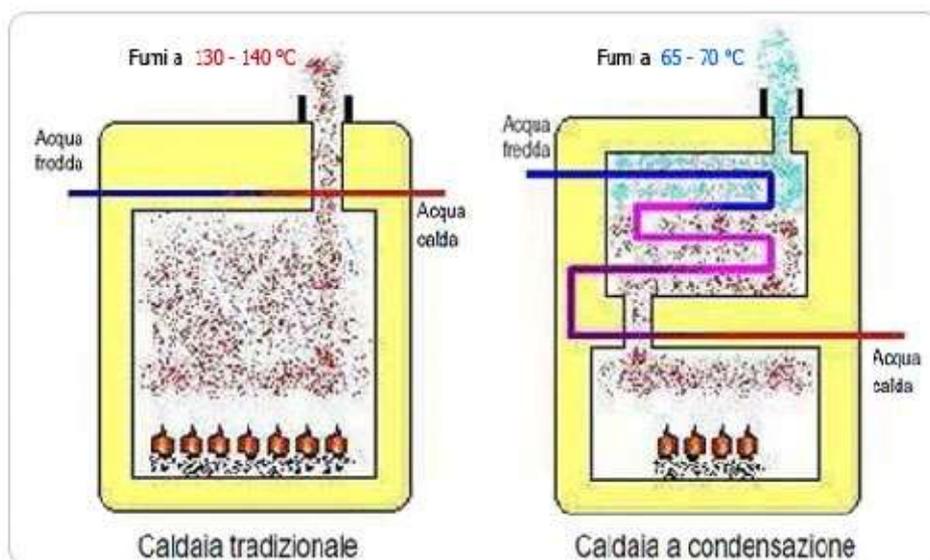


Figura 11. Confronto caldaia tradizionale e a condensazione

La temperatura dei fumi di scarico sarà, quindi, minore rispetto ad una caldaia tradizionale. Con questo sistema, la temperatura dei fumi, una volta sottratto il calore latente, si mantiene prossima al valore della temperatura di mandata dell'acqua, compreso tra i 40° e i 60 °C (nei generatori a condensazione più efficienti, la temperatura dei fumi può essere addirittura inferiore alla temperatura di mandata dell'acqua), valore molto inferiore ai 140-170 °C di quelle tradizionali.

Le caldaie a condensazione devono essere realizzate con materiali resistenti all'acidità della condensa per poter sfruttare l'energia termica dei fumi. Questo significa che per ottenere una data temperatura dell'acqua, la caldaia a condensazione utilizza meno combustibile, dando luogo sia ad un risparmio immediato in termini economici che ad un minore inquinamento in termini di emissioni.

Le canne fumarie delle caldaie a condensazione caratterizzate dalle basse temperature dei fumi di scarico, richiedono specifici materiali per resistere alla condensa acida che si forma al loro interno. In presenza di esistenti canne fumarie in acciaio inox si possono ricollegare alle nuove caldaie mentre non è possibile impiegare canne fumarie in alluminio a causa della sua ridotta resistenza alle condense acide presenti nei fumi.

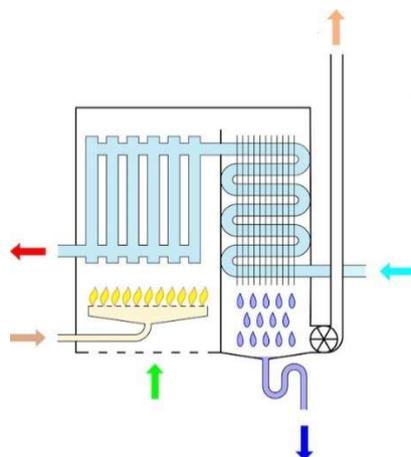


Figura 12. Schema di funzionamento semplificato di una caldaia a condensazione

La caldaia a condensazione è un generatore a tenuta stagna e, come riportato sopra, i fumi di scarico sono a bassa temperatura poiché il calore disponibile viene utilizzato per preriscaldare l'acqua. Quindi, di fatto, il calore prodotto dalla condensazione dei fumi anziché diventare un prodotto di scarto viene trasformato in energia utile senza utilizzare altro combustibile. Il sistema di combustione delle caldaie a condensazione consiste in una miscela di aria e gas, prodotta all'interno del dispositivo stesso e controllata elettronicamente viene inviata al bruciatore in maniera diretta e continua garantendo in questo modo un rendimento costante senza sprechi o dispersioni.

Vantaggi

La caldaia a condensazione non è sempre la migliore soluzione per ogni edificio. Infatti, per un edificio residenziale che utilizza un classico impianto a radiatori (impianto ad alta temperatura), una caldaia tradizionale può essere ancora preferibile così come nel caso di un edificio che non viene riscaldato per molte ore durante il giorno. Il risparmio di combustibile dovuto all'installazione di un generatore a condensazione ci sarebbe comunque, tuttavia il maggior risparmio si avrebbe quando la caldaia a condensazione alimenta un impianto a bassa temperatura (pannelli radianti e/o ventilconvettori), questo perché, per sfruttare il vantaggio della condensazione, bisogna scendere al di sotto del punto di rugiada dei fumi (55-60 °C) e pertanto avere temperature di mandata dell'acqua non superiori a 45-55 °C. Inoltre, in alcuni casi, il tempo di ammortamento e recupero dell'elevato costo iniziale di acquisto e installazione diviene molto lungo e di conseguenza finisce con il costituire uno svantaggio più che un vantaggio. Il maggiore e più immediato vantaggio da un generatore a condensazione si avrà quando la superficie da riscaldare è elevata ed è presente un impianto di riscaldamento a bassa temperatura che lavora per molte ore. In ambiti differenti rispetto a quello residenziale, ad esempio nell'industriale e nel terziario, la caldaia a condensazione risulta meno conveniente rispetto ad altre tecnologie come la cogenerazione e la pompa di calore. Infine, oltre che dall'ambito di applicazione, la convenienza delle caldaie a condensazione dipende anche dalla zona climatica in cui è situato l'immobile: in un clima freddo dove l'uso del riscaldamento è intensivo e continuativo questi generatori trovano l'ambiente ottimale per massimizzare la loro efficienza. Rimane comunque indiscutibile il valore nettamente superiore del rendimento rispetto ai generatori

a gas di tipo tradizionale. Infatti, quest'ultimi riescono ad ottenere un valore medio circa del 70% (arrivando all'85% nei casi di caldaie ad alto rendimento), mentre i generatori a condensazione hanno un'efficienza che si avvicina e che può superare il 100% (rendimento di primo principio). È importante ricordare che dal 26 settembre 2015 i produttori di caldaie hanno l'obbligo di immettere sul mercato solo dispositivi a condensazione.

Nell'ambito del progetto Enerselves, la Regione Lazio ha realizzato una riqualificazione energetica sul complesso scolastico "Malfatti School" nel comune di Contigliano, in Provincia di Rieti, sostituendo le vecchie caldaie con delle nuove caldaie a condensazione per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria.

Caldaia a biomassa

Un'alternativa sostenibile per riscaldare l'edificio è data dalla biomassa legnosa. Questo combustibile naturale proviene da residui di lavorazioni agricole, deforestazioni controllate, scarti di lavorazioni industriali del legno o della carta oppure da coltivazioni dedicate. Tali generatori sono in grado di riscaldare l'acqua da convogliare all'impianto di riscaldamento e, se presente un accumulo termico, possono anche essere destinati alla produzione di acqua calda sanitaria. La legna e i suoi derivati (pellet, segatura e cippato) sono fonti energetiche a impatto neutro. Ciò significa che, durante il processo di combustione, liberano una quantità di CO₂ pari a quella che la pianta ha assorbito durante la sua crescita mediante il processo di fotosintesi.

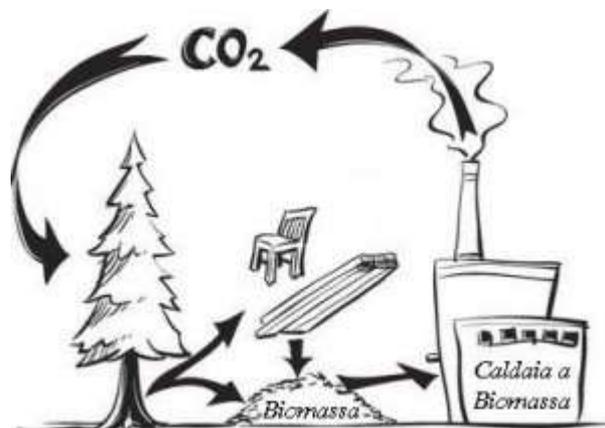


Figura 13. Ciclo della biomassa legnosa

Le caldaie a biomassa si differenziano principalmente in base al tipo di combustibile utilizzato: caldaie a pellet, caldaie a cippato e caldaie a legna. Le caldaie a pellet offrono il comfort di una caldaia a gas e hanno un buon rendimento grazie alle dimensioni ridotte del combustibile. Le caldaie a cippato sono più flessibili perché in grado di funzionare anche con altri combustibili non legnosi come residui vegetali secchi opportunamente lavorati. Le caldaie a legna possono risultare interessanti quando si necessita di caldaie di media potenza (10-40 kW), poiché in tal caso si possono utilizzare caldaie a gassificazione (o caldaie a legna "a fiamma inversa"), le quali sono in grado di bruciare con elevata efficienza (fino al 95%) qualsiasi tipo di biomassa legnosa secca e talvolta anche umida.

Vantaggi

Le caldaie a biomassa consentono risparmi fra il 20% e il 50% rispetto ai sistemi tradizionali a gas metano e a gasolio. I vantaggi non sono solo economici ma anche ambientali. Infatti, queste caldaie sono ecologiche, perché sono caratterizzate da basse emissioni di zolfo e di altri inquinanti atmosferici. Inoltre, l'impiego di combustibili come il pellet, il cippato, la legna, etc., contribuisce a ridurre la dipendenza da fonti non rinnovabili quali il petrolio, il carbone e il gas naturale. Anche il fatto che la biomassa di solito proviene da brevi distanze dal luogo di utilizzo contribuisce a diminuire l'impronta ecologica, poiché il trasporto è, in genere, di per sé inquinante. Gli impianti a biomassa sono totalmente automatizzati e non hanno limiti dimensionali, potendo raggiungere potenze di vari MW termici. Per l'automazione e il risparmio in termini di esercizio, sono particolarmente indicati per il riscaldamento di edifici di medie o grandi dimensioni come alberghi, scuole, centri commerciali, serre e capannoni industriali.

Pompa di calore

Le pompe di calore rappresentano una tecnologia sempre più diffusa e adottata per il riscaldamento degli edifici. Per funzionare, una pompa di calore necessita ovviamente di energia, ma con la particolarità che quella che trasferisce all'interno dell'ambiente, sotto forma di calore, è maggiore di quella che consuma, garantendo così un notevole risparmio energetico ed aumentando l'efficienza complessiva del sistema. La pompa di calore sfrutta, infatti, il calore gratuito e illimitato disponibile di una sorgente rinnovabile quale aria, acqua superficiale, falde acquifere sotterranee oppure il terreno. Per questo motivo, la Direttiva RES³⁰ le aveva riconosciute ufficialmente come tecnologie che impiegano energie rinnovabili. I sistemi a pompa di calore sono una valida alternativa ai tradizionali sistemi di riscaldamento a combustione, costituiscono uno dei sistemi di climatizzazione a ciclo annuale attualmente più efficiente e sono in grado di contribuire al raggiungimento degli obiettivi di riduzione dei consumi di energia, di riduzione delle emissioni di gas climalteranti e di incremento dell'utilizzo di fonti rinnovabili: consentono, infatti, risparmi dal 40 al 60% di energia primaria, con pari riduzione della CO₂ impiegando per il loro funzionamento circa il 75% di energia rinnovabile. In Italia, ed in particolare nella regione Lazio, esistono le condizioni climatiche ideali per l'utilizzo delle pompe di calore, anche di quelle aerotermiche che hanno costi di installazione inferiori rispetto alle altre tipologie. Le temperature medie italiane consentono, infatti, efficienze molto elevate, considerando il fatto che comunque queste apparecchiature sono in grado di funzionare anche a temperature molto basse (-15 ÷ -20 °C), garantendo buone prestazioni. Le due principali tipologie di pompe di calore utilizzate per il riscaldamento degli edifici sono la pompa di calore ad assorbimento e a compressione, anche se quest'ultima risulta quella maggiormente diffusa.

Pompa di calore elettrica a compressione

Le pompe di calore maggiormente diffuse sono quelle alimentate elettricamente. Una pompa di calore elettrica a compressione è costituita da un circuito chiuso percorso da un fluido frigorigeno che, in funzione delle condizioni di temperatura e di pressione in cui si trova, assume lo stato di liquido o di vapore. Una pompa di calore elettrica a compressione

³⁰ Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 in materia di "Promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle Direttive 2001/77/CE e del 2003/30/CE

è costituita da 4 principali componenti: un compressore, un condensatore, una valvola di espansione e un evaporatore. Tali componenti possono essere raggruppati in un unico blocco o divisi in due parti (sistemi split) collegate dalle tubazioni nelle quali circola il fluido frigorifero.

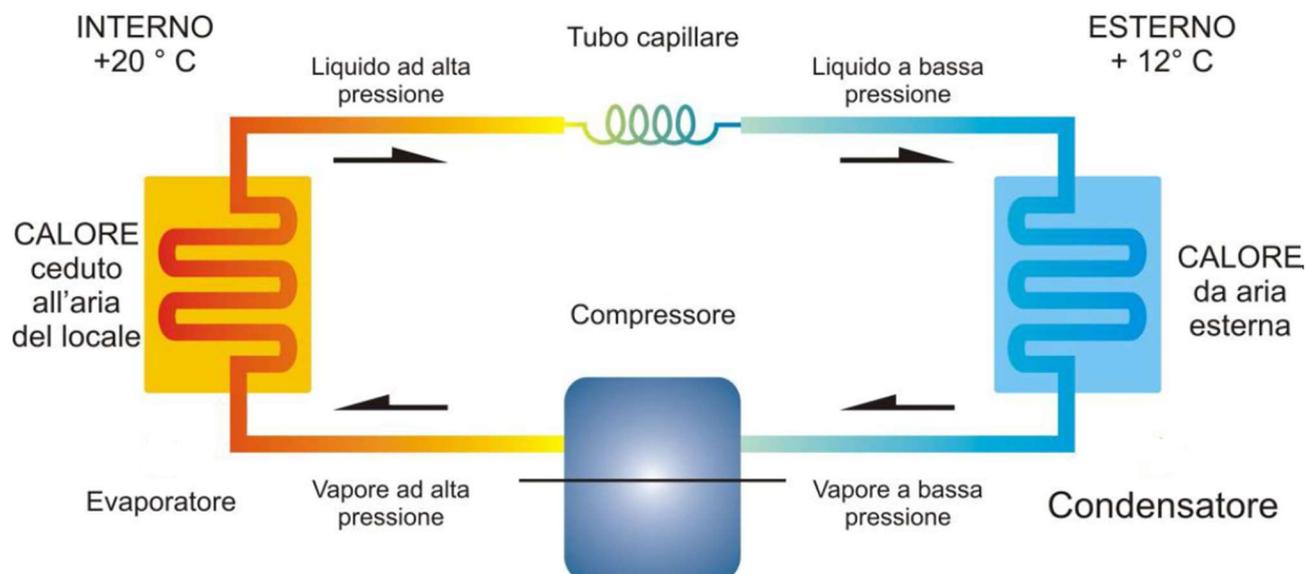


Figura 14. Ciclo di funzionamento di una pompa di calore elettrica a compressione aria/aria

Come accennato precedentemente, il vantaggio della pompa di calore deriva dalla sua capacità di fornire più energia (sotto forma di calore) di quella elettrica impiegata per il suo funzionamento in quanto è in grado di estrarre calore dalla sorgente rinnovabile. L'efficienza di una pompa di calore è espressa dal coefficiente di prestazione COP (Coefficient of Performance), che rappresenta il rapporto tra l'energia fornita (calore ceduto all'ambiente da riscaldare) e l'energia elettrica consumata. Il COP varia a seconda del tipo di pompa di calore e delle condizioni di funzionamento ed è tanto maggiore quanto più bassa è la temperatura a cui il calore viene ceduto (nel condensatore) e quanto più alta è quella della sorgente da cui viene assorbito (nell'evaporatore). Nella figura seguente viene riportato l'andamento del COP in funzione della temperatura esterna dell'aria per le pompe di calore che utilizzano l'aria come fonte rinnovabile.

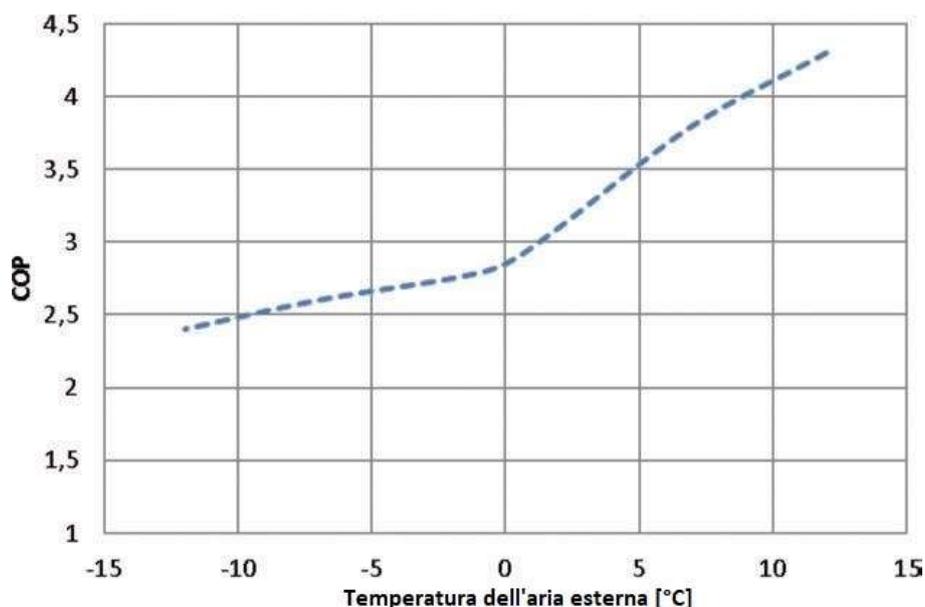


Figura 15. Variazione del COP in funzione della temperatura dell'aria esterna

Pompa di calore ad assorbimento

La sostanziale differenza del ciclo ad assorbimento, rispetto al classico ciclo frigorifero delle macchine elettriche a compressione, è il modo in cui avviene l'aumento di pressione all'interno del ciclo. In una pompa di calore elettrica, esso avviene per azione meccanica, grazie ad un compressore mentre in un sistema ad assorbimento, l'aumento di pressione avviene per azione termica: un generatore a gas scalda la soluzione refrigerante/assorbente, innescando così il ciclo. In luogo della fase di compressione si introducono quindi le fasi di generazione e assorbimento. La particolarità del ciclo utilizzato nelle macchine ad assorbimento è quella di poter contare su di uno sviluppo di energia termica all'interno del ciclo stesso grazie alla reazione d'assorbimento tra il refrigerante (per esempio ammoniaca) e l'assorbente (generalmente acqua). Questa caratteristica consente di ridurre il fabbisogno energetico della macchina, contenendo i consumi di combustibile e rendendo l'efficienza della macchina poco influenzabile dalla temperatura esterna della fonte rinnovabile. Questo tipo di sistema è particolarmente consigliato per il riscaldamento degli edifici in climi estremamente rigidi utilizzando l'aria come fonte rinnovabile, e dove si ha accesso a tariffe vantaggiose per la fornitura di gas.

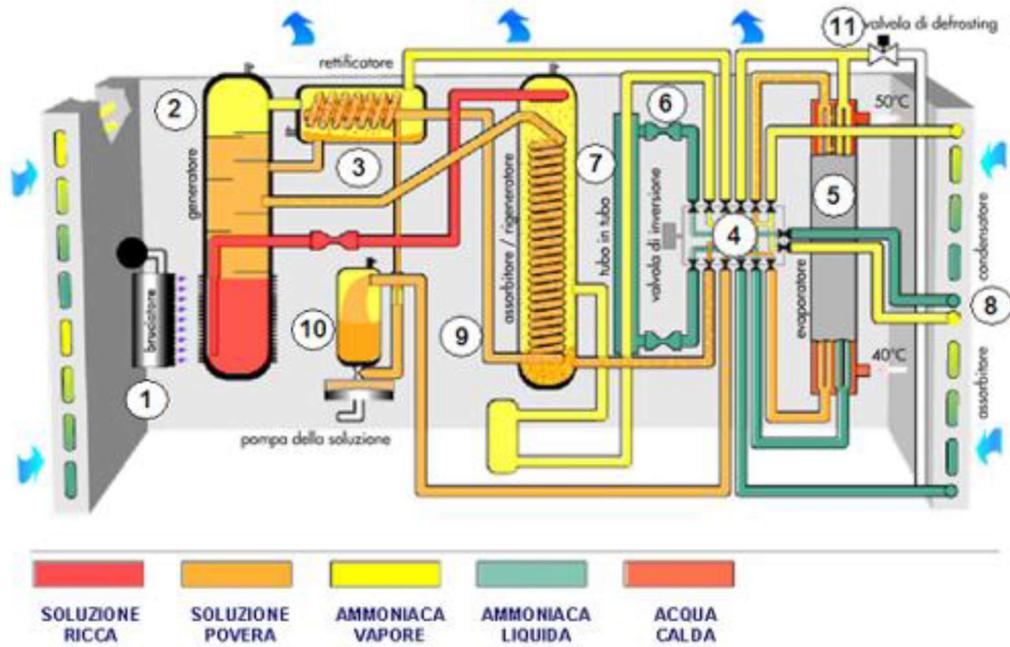


Figura 16. Ciclo di funzionamento di una pompa di calore a gas ad assorbimento

L'efficienza di una pompa di calore ad assorbimento a gas è espressa dal GUE (Gas Utilization Efficiency), che rappresenta il rapporto tra l'energia fornita (calore ceduto all'ambiente da riscaldare) e l'energia consumata dal bruciatore. Lo sfruttamento della grande quantità d'energia che viene a liberarsi durante la fase di assorbimento consente di ottenere elevate temperature di mandata all'impianto di riscaldamento trasferendo l'energia rinnovabile prelevata da aria, acqua o terreno, con efficienze ragguardevoli. Le temperature del fluido inviato alla sorgente fredda variano da -10°C a $+45^{\circ}\text{C}$, mentre quelle del fluido termovettore caldo variano da $+35^{\circ}\text{C}$ a $+65^{\circ}\text{C}$ e quindi si integrano perfettamente ai più comuni sistemi di riscaldamento presenti negli edifici. Come per le pompe di calore a compressione anche per quelle ad assorbimento che utilizzano aria come fonte rinnovabile, l'efficienza risente della temperatura esterna dell'aria anche se in modo meno marcato.

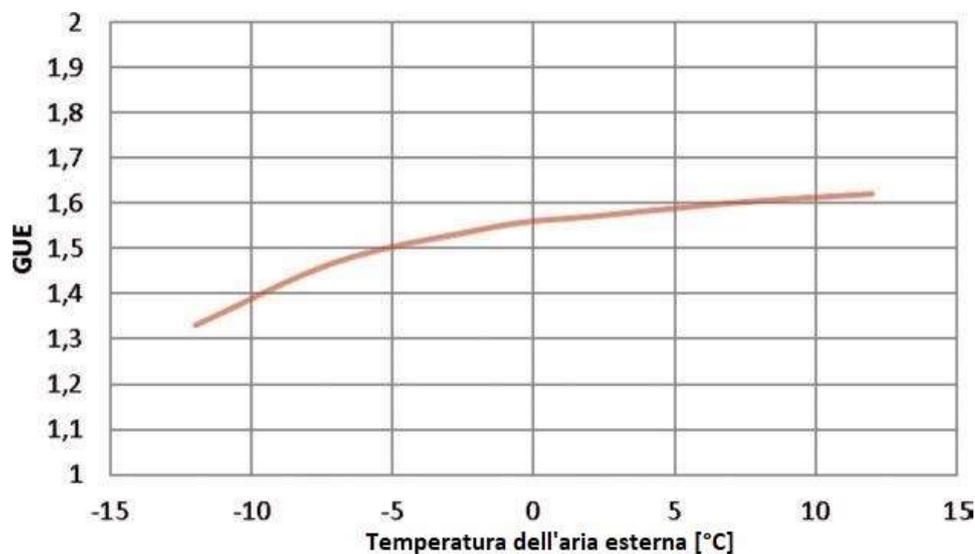


Figura 17. Variazione del GUE in funzione della temperatura dell'aria esterna

Tipologie di sorgenti disponibili

Esistono quattro tipologie di pompe di calore (aria-aria, aria-acqua, acqua-aria, acqua-acqua), che derivano dalla combinazione dei due fluidi che scambiano calore con il refrigerante, aria o acqua, verso la sorgente esterna (primo termine) e verso quella interna dell'edificio (secondo termine). La pompa di calore può riscaldare (o raffreddare se reversibile) direttamente l'aria degli ambienti oppure può farlo attraverso un fluido intermedio, normalmente acqua, che trasporta il calore nei vari ambienti, dove un ulteriore scambiatore di calore presente nei terminali di erogazione (ventilconvettori, sistemi radianti ecc.) lo trasferisce all'aria. Per quanto riguarda la sorgente esterna, la pompa di calore può scambiare calore direttamente con l'aria oppure attraverso un fluido intermedio, acqua o acqua glicolata, che a sua volta lo scambierà con la sorgente esterna: acqua superficiale o di falda, terreno o rocce con sonde verticali od orizzontali (geotermia a bassa entalpia). Una soluzione molto economica dal punto di vista impiantistico e particolarmente adatta alle nostre zone climatiche è quella che utilizza come sorgente termica esterna l'aria, che ha il vantaggio di essere disponibile sempre e ovunque; un limite di questa tipologia è dato dal fatto che la potenza resa dalla pompa di calore, in modalità di riscaldamento, decresce con il diminuire della temperatura dell'aria esterna. Può risultare molto vantaggioso impiegare, come sorgente fredda, l'aria estratta dai locali, che deve essere comunque rinnovata. Nel corso degli ultimi anni le prestazioni delle pompe di calore ad aria sono nettamente migliorate, raggiungendo COP di oltre 4, e sono quindi in grado di garantire un importante risparmio di energia primaria rispetto alle tecnologie tradizionali. La scelta di sorgenti termiche diverse dall'aria e caratterizzate da valori di temperatura mediamente più elevati e meno variabili consente di ottenere prestazioni energetiche superiori e una maggiore stabilità della potenza termica resa dalla pompa di calore. Le sorgenti alternative all'aria esterna sono: le acque di falda, di fiume, di lago, di mare e il terreno. L'acqua (di falda, di fiume, di lago, di mare) come sorgente fredda garantisce prestazioni costanti e migliori rispetto alla sorgente aria in quanto non risente delle condizioni climatiche esterne; necessita però di opere di prelievo e di scarico soggette a vincoli legislativi. Il terreno come sorgente fredda garantisce buone prestazioni energetiche e ha il vantaggio di subire minori sbalzi di temperatura rispetto all'aria. Grazie al fatto che il terreno è, appunto, a temperatura praticamente costante durante tutto l'anno, le pompe di calore che utilizzano il terreno come sorgente rinnovabile, mantengono sempre un'elevata efficienza e, di conseguenza, non necessitano di sorgenti termiche ausiliarie. Per sfruttare il terreno come sorgente è necessario installare nel sottosuolo sistemi di scambio termico a circuito chiuso all'interno dei quali circola una soluzione di acqua e antigelo o di sola acqua. Le pompe di calore a terreno richiedono ampie superfici in cui interrare le tubazioni, nel caso di sonde orizzontali, o comportano operazioni di perforazione, nel caso di sonde verticali.



Figura 18. Pompa di calore a terreno con sonde orizzontali (a sinistra) e verticali (a destra)

Vantaggi

I vantaggi della tecnologia a pompe di calore sono numerosi e possono essere così riassunti:

- climatizzazione a ciclo annuale (riscaldamento e raffrescamento) con un'unica macchina;
- incremento dell'efficienza energetica;
- utilizzo di fonti di energia rinnovabile;
- riduzione delle emissioni inquinanti;
- aumento della classe energetica e del valore dell'immobile;
- riduzione dei costi gestionali e manutentivi dell'impianto.

Le pompe di calore possono essere installate all'esterno, se di tipo aerotermico, o in qualsiasi locale perché non necessitano di ambienti dedicati. Inoltre, sono integrabili con altre fonti energetiche rinnovabili, come sistemi solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria e sistemi fotovoltaici. Quindi i sistemi a pompa di calore sono in grado di lavorare su due fronti - l'efficienza energetica e le rinnovabili termiche - migliorando la classe energetica dell'edificio e migliorando la qualità dell'aria nelle grandi aree urbane.

6.2 Rete di distribuzione dell'impianto di riscaldamento

Il sistema di distribuzione è costituito essenzialmente dall'insieme delle tubazioni di mandata e di ritorno che collegano il generatore di calore ai terminali di emissione (radiatori, pannelli radianti e ventilconvettori). Generalmente, negli impianti di riscaldamento di edifici residenziali, l'acqua calda (compresa tra i 50 ed i 90°C) partendo dal generatore di calore, percorre le tubazioni di mandata, riscalda i terminali e quindi l'ambiente, ed in seguito torna a temperatura più fredda al generatore stesso. L'efficientamento energetico dei sistemi di riscaldamento riguarda, oltre al generatore di calore, anche la rete di distribuzione, spesso causa di un basso valore complessivo dell'efficienza del sistema. I principali interventi

riguardano la sostituzione dei terminali di emissione dove possibile e la coibentazione delle tubazioni.

6.2.1 Coibentazione delle tubazioni

Le tubazioni utilizzate per l'impianto termico possono essere di diversa tipologia: in materiale metallico (rame, acciaio) o in materiale plastico (polietilene, polipropilene ecc). Il tubo multistrato in polietilene a differenza dei tubi metallici riduce al minimo la dispersione di calore ed essendo un materiale elastico non permette il deposito di calcare al suo interno, inoltre la sua installazione è semplice e veloce, è facilmente lavorabile e piegabile ed è resistente alla corrosione e all'usura. Per limitare le dispersioni ed aumentare l'efficienza dell'intero sistema, le tubazioni della rete di distribuzione devono essere protette da un adeguato strato di materiale isolante, il cui spessore, dipende dal diametro della tubazione, dal tipo di isolante, e dall'ambiente che attraversa. A titolo di esempio, si riportano i materiali isolanti impiegati per la coibentazione delle tubazioni degli impianti di riscaldamento con le relative caratteristiche termiche:

- polietilene estruso (conduttività a 40 °C pari a 0,045 W/(mK));
- lana di vetro in coppelle (conduttività a 40 °C pari a 0,039 W/(mK));
- poliuretano espanso in coppelle (conduttività a 40 °C pari a 0,038 W/(mK));
- polistirene estruso rigido in coppelle (conduttività a 40 °C pari a 0,040 W/(mK)).



Figura 19. Esempio di isolamento termico di una tubazione in rame (a sinistra) e struttura di un tubo multistrato (a destra)

6.2.2 Sostituzione delle unità terminali di emissione

Le unità terminali sono i terminali di emissione attraverso i quali scorre il fluido termovettore (generalmente acqua) che permette il riscaldamento (ed eventualmente anche il raffrescamento) in ogni locale in cui sono posizionati. Le unità terminali si suddividono in:

- unità a prevalente scambio termico convettivo: radiatori, piastre radianti (convezione naturale) e ventilconvettori, aerotermini (convezione forzata);
- unità a prevalente scambio termico radiativi: pannelli radianti;
- unità per il condizionamento dell'aria o split (trattamento estivo ed invernale).

Radiatori

Sono i terminali di emissione più comunemente utilizzati negli edifici ad uso residenziale. Questi componenti scambiano calore per irraggiamento (20-30% circa) e per convezione naturale (70-80% circa). L'effetto scaldante del radiatore deriva dal fatto che l'aria fredda passa attraverso il radiatore dal basso verso l'alto riscaldandosi per poi tornare nell'ambiente. Sono formati da elementi componibili in ghisa, alluminio o acciaio, collegati fra di loro in parallelo, entro cui scorre il fluido termovettore che scambia calore con l'ambiente. I radiatori presentano caratteristiche diverse a seconda del tipo di materiale utilizzato. I radiatori in ghisa a colonnine o a piastra sono caratterizzati da una elevata inerzia termica (hanno una capacità di conservare il calore molto più a lunga rispetto ai radiatori in acciaio o in alluminio). Sono i primi termosifoni ad essere nati e sono grandi, pesanti e fragili. L'unica possibilità di installazione è a terra (a volte con piedini). Per scaldare i termosifoni in ghisa è necessaria una temperatura di ingresso o mandata di 65-80 °C (molto alta) e impiegano più tempo a riscaldare l'ambiente. Le alte temperature possono rendere l'aria che respiriamo molto secca. La resa termica è inferiore, ovvero a parità di calore ceduto, i termosifoni in ghisa sono più grandi delle altre tipologie (in particolare di quelli in alluminio). I radiatori in ghisa sono inoltre immuni dalla corrosione e modulari, ovvero si possono aggiungere o togliere elementi al bisogno. I radiatori in alluminio a piastra hanno un costo relativamente contenuto ed una resa termica superiore ai radiatori in ghisa. I radiatori in acciaio a colonnine, a parità di resa termica pesano circa il 65/70% in meno rispetto ai radiatori in ghisa e hanno comunque una bassa inerzia termica nei tipi a piastra, più elevata però nei tipi a colonna. Sono inoltre soggetti a fenomeni corrosivi, a differenza di quelli a ghisa. I radiatori in ghisa preferibilmente vanno installati in ambienti dove l'occupazione è continua, mentre nel caso di occupazione saltuaria è bene installare corpi scaldanti a bassa inerzia termica come per esempio ventilconvettori o radiatori in alluminio. Dal punto di vista termico è molto importante la collocazione del corpo scaldante: se il radiatore è adiacente ad una parete interna tutta l'energia emessa si riversa nell'ambiente riscaldato, mentre se la collocazione è su parete perimetrale (tipicamente sotto una finestra dove la parete è meno spessa) una quota importante della potenza termica erogata viene dissipata verso l'esterno soprattutto se la parete non presenta isolamento termico. In questo caso per migliorare l'efficienza di emissione è sempre bene isolare la parete retrostante con uno schermo di materiale a bassa conduttività (incremento della resistenza termica della parete) e riflettente (riduzione dello scambio netto radiativo). I corpi scaldanti installati a muro nella sottofinestra, devono stare ad una distanza di circa 5 cm dalla parete e 10 cm dal pavimento in modo da permettere la circolazione dell'aria calda, la pulizia del pavimento e delle pareti. Se la distanza è rispettata, si crea un "effetto camino" che genera una buona portata d'aria in grado di prelevare una notevole quantità di energia termica anche dal retro del radiatore. Quanto più la distanza è ridotta, tanto minore è la portata d'aria che vi passa e minore sarà la trasmissione del calore dal radiatore all'aria ambiente. Se il radiatore è a ridosso del muro si può avere una perdita di emissione termica anche superiore al 5%.



Figura 20. Esempio di radiatore in alluminio (a sinistra) e in ghisa (a destra)

Piastre radianti

Le piastre radianti sono piastre in acciaio o alluminio saldate tra loro al cui interno scorre il fluido termovettore. Vengono utilizzate sia per il riscaldamento che per il raffrescamento. Rispetto ai tradizionali radiatori permettono una distribuzione più uniforme del calore, riducendo al minimo le dispersioni termiche, mentre, come per i radiatori, scambiano calore principalmente per convezione naturale e solo in minima parte per irraggiamento. Le piastre radianti funzionano, a differenza dei termosifoni, a basse temperature. Per ottenere la massima efficienza è sufficiente che la temperatura del fluido termovettore sia compresa tra i 25 e 32°C, con conseguente risparmio energetico che può agevolmente superare il 40%. Il loro utilizzo è quindi consigliato con caldaie a condensazione o comunque con generatori a bassa temperatura. Per quanto riguarda l'installazione, le piastre radianti possono essere posizionate a parete, a pavimento e a soffitto, interessando superfici più o meno estese, in funzione della cubatura dell'ambiente da climatizzare. Hanno inoltre spessori contenuti, attorno ai 5 cm. Un altro punto a favore nell'utilizzo di piastre radianti rispetto ai tradizionali radiatori risiede nel fatto che le piastre riscaldano oggetti e pareti all'interno delle stanze anziché l'aria: in questo modo non c'è il fenomeno di sollevamento della polvere, né quello della secchezza dell'aria, che potrebbero creare problemi soprattutto a persone allergiche, ma comunque importanti per chiunque desideri vivere in un ambiente salubre. In conclusione, le piastre radianti rappresentano una valida alternativa rispetto agli altri sistemi di riscaldamento sia per l'economicità di esercizio (risparmio energetico) che per il comfort abitativo.



Figura 21. Esempio di piastra radiante

Ventilconvettori

I ventilconvettori sono sistemi di emissione del calore (sotto forma di aria calda) per convezione forzata. Sono infatti dotati di un piccolo motore elettrico che aziona una ventola la quale aumenta considerevolmente la quantità di aria che viene immessa nell'ambiente. Nel dettaglio il ventilconvettore è una unità a "tutto ricircolo" di aria. L'aria ambiente viene prelevata dal ventilatore, passa attraverso il filtro dove si libera delle polveri grosse, viene spinta verso la batteria di scambio termico dove per convezione forzata scambia calore con l'acqua e poi viene espulsa. In caso di riscaldamento il calore viene prelevato, in caso di raffreddamento viene ceduto. Quando l'aria viene raffreddata si opera anche una deumidificazione: l'umidità che viene trattenuta durante lo scambio termico condensa e l'acqua prodotta viene raccolta in un'apposita vaschetta. Questa poi viene fatta evacuare per caduta (o gravità) oppure tramite una pompa di rilancio. I ventilconvettori possono essere montati a terra, a parete o a soffitto. I ventilconvettori presentano il vantaggio di una bassa inerzia termica e quindi garantiscono una risposta immediata a tutte le esigenze di riscaldamento e raffreddamento dell'utenza, a fronte di un maggior costo di installazione e di manutenzione rispetto alle altre tipologie di sistemi di emissione.

I ventilconvettori presentano inoltre altri vantaggi:

- *comfort termico*: permettono un costante ricircolo dell'aria, assicurando una temperatura uniforme negli ambienti ed evitando una eccessiva stratificazione verticale del calore (a differenza degli impianti a radiatori). Inoltre, possono essere alimentati con acqua calda a temperature decisamente inferiori (45-50 °C) a quelle dei radiatori (60-70 °C), condizione che rende l'aria più umida, riducendo quindi il fenomeno di eccessiva secchezza. Infine, la presenza di filtri trattiene le impurità e scongiura così fenomeni di sporco delle pareti, tipiche dei radiatori. Queste tre caratteristiche garantiscono un miglior livello di salubrità ed un maggior comfort termico.
- *risparmio energetico*: la temperatura di uscita dell'aria da un ventilconvettore è di circa 35-45 °C, mentre la temperatura dell'acqua che alimenta il ventilconvettore è pari a circa 45-50 °C, condizione quest'ultima che rende i ventilconvettori adatti per funzionare in abbinamento a generatori di calore caratterizzati da elevata efficienza e da temperature

di lavoro medio-basse, come caldaie a condensazione, pompe di calore e impianti solari termici per il riscaldamento.



Figura 22. Esempio di ventilconvettore installato a parete

Pannelli radianti

I pannelli radianti sono una tipologia di corpo scaldante che può lavorare a temperature relativamente basse ($T_{max}=45\text{ °C}$), caratteristica che li rende idonei per l'abbinamento con caldaie a condensazione. Possono essere utilizzati anche per il raffrescamento estivo, facendo circolare nello stesso impianto acqua fredda ($T=18\text{ °C}$), con limiti ben precisi dovuti alla limitata resa frigorifera (potenza massima frigorifera pari a 50 W/m^2 per evitare fenomeni di condensa superficiale) e all'incapacità di deumidificare. Possono essere installati a pavimento, a parete e a soffitto. I pannelli radianti a pavimento sono utilizzati normalmente per il riscaldamento dell'ambiente (con una potenza termica pari a $P=90-100\text{ W/m}^2$), mentre per il raffrescamento estivo la resa migliore si ha con i pannelli radianti a soffitto. Lo scambio termico si realizza per convezione naturale con l'aria ambiente e anche per irraggiamento. Per i pannelli orizzontali, lo scambio termico è più efficace con flusso termico ascendente. I principali vantaggi offerti dagli impianti a pannelli radianti sono:

- il benessere termico;
- la qualità dell'aria;
- le condizioni igieniche;
- l'impatto ambientale;
- il calore utilizzabile a bassa temperatura;
- il risparmio energetico.

Per poter assicurare in un ambiente condizioni di benessere termico si devono mantenere zone leggermente più calde a pavimento e più fredde a soffitto. I pannelli radianti a pavimento soddisfano questa condizione grazie al fatto che oltre ad essere posizionati a pavimento, cedono calore soprattutto per irraggiamento, evitando così il formarsi di correnti convettive d'aria calda a soffitto e fredda a pavimento. Il riscaldamento a pannelli consente una migliore qualità dell'aria, dal momento che evita sia la combustione del pulviscolo

atmosferico (che può causare senso di arsura e irritazione alla gola) che l'elevata circolazione di polvere (che può essere causa di allergie e difficoltà respiratorie). Gli impianti a pannelli favoriscono il mantenimento di buone condizioni igieniche ambientali, in quanto evitano sia il formarsi di zone umide a pavimento che l'insorgere di muffe sulle pareti che confinano con i pavimenti caldi. Nelle nuove costruzioni e negli interventi di recupero edilizio con rifacimento dei pavimenti, gli impianti a pannelli hanno un ridotto impatto ambientale in quanto oltre a non porre vincoli di natura estetica (vincoli architettonici), garantiscono condizioni di benessere termico ottimale, buone condizioni igieniche ed una migliore qualità dell'aria. Gli impianti a pannelli radianti lavorano con temperature del fluido termovettore (acqua) basse, rispetto ad esempio ai radiatori. Questo li rende ideali ad essere utilizzati con sorgenti di calore la cui resa aumenta al diminuire della temperatura del fluido termovettore richiesta: pompe di calore, caldaie a condensazione, pannelli solari, sistemi di recupero del calore e sistemi di teleriscaldamento. Gli impianti a pannelli, rispetto ai sistemi di riscaldamento tradizionali, consentono risparmi energetici dell'ordine del 10-15%. Lo svantaggio principale nell'utilizzo di impianti a pannelli è la loro elevata inerzia termica che li rende ideali all'uso nel caso di ambienti riscaldati con una certa continuità (abitazione principale). Per contro in ambienti riscaldati solo per brevi periodi l'inerzia termica degli impianti a pannelli comporta sensibili sfasamenti tra i tempi di avviamento e quelli di effettivo utilizzo. In questo caso conviene ricorrere ad altri sistemi di riscaldamento (ad esempio ad aria).



Figura 23. Esempio di un pannello radiante a pavimento

Nella tabella seguente si riportano i rendimenti medi di emissione per tipologia di terminale in funzione del carico termico medio annuo.

Tipo di terminale di erogazione	Carico termico medio annuo W/m ³		
	<4	4-10	>10
	η_e		
Radiatori su parete esterna isolata	0,95	0,94	0,92
Radiatori su parete interna	0,96	0,95	0,92
Ventilconvettori (**) valori riferiti a t_{media} acqua = 45°C	0,96	0,95	0,94
Termoconvettori	0,94	0,93	0,92
Bocchette in sistemi ad aria calda (°)	0,94	0,92	0,90
Pannelli isolato annegato a pavimento	0,99	0,98	0,97
Pannelli annegati a pavimento	0,98	0,96	0,94
Pannelli annegati a soffitto	0,97	0,95	0,93
Pannelli a parete	0,97	0,95	0,93

Tabella 14. Rendimenti di emissione

6.3 Sistemi di termoregolazione

Un elemento fondamentale dell'impianto di riscaldamento, oltre ai terminali (radiatori, fancoil o impianto a pavimento) e al generatore (caldaia a condensazione, a biomassa, etc), è il sistema di regolazione della temperatura. Il sistema di regolazione ha quindi il compito di mantenere la temperatura ambiente interna al set point impostato, che, nel caso di abitazioni civili, per il periodo diurno invernale, è fissato a +20°C. Un buon sistema di regolazione deve perciò percepire rapidamente l'eventuale incremento della temperatura ambiente così da arrestare la fornitura del calore e, nel caso contrario, rispondere velocemente alla richiesta di calore, così da limitare le oscillazioni della temperatura ambiente. Inoltre, dovrebbe poter percepire gli apporti di calore gratuiti, forniti ad esempio dall'irraggiamento solare, e modulare proporzionalmente la potenza termica del corpo scaldante, in modo da sfruttare tali contributi energetici senza un esubero della temperatura interna. I sistemi di regolazione che si possono attuare in un edificio per ottenere il massimo comfort e benessere termoigrometrico sono la regolazione climatica, ambiente o di zona. È possibile attuare anche combinazione di sistemi di regolazione in modo da massimizzare il risparmio energetico.

6.3.1 Regolazione climatica

La regolazione climatica associa una determinata temperatura di mandata del generatore di calore in funzione delle condizioni climatiche esterne. Per ogni valore di temperatura esterna c'è un corrispondente valore di temperatura di mandata, in relazione alla particolare curva scelta che dipende dalla zona climatica in cui ci si trova in riferimento proprio alle condizioni climatiche di temperatura esterna minima raggiungibile nel periodo invernale. La condizione di temperatura esterna, infatti, influenza l'andamento delle dispersioni termiche dell'edificio, che richiederà una potenza termica inversamente proporzionale alla

temperatura esterna. Si pensi, ad esempio, a condizioni esterne minime di temperatura (ad esempio $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$) alle quali l'impianto di riscaldamento dovrà fornire una notevole potenza termica per compensare la forte dispersione di energia dell'edificio. Sulla base di questa considerazione, la regolazione climatica assume valori massimi di temperatura di mandata del generatore di calore quando all'esterno vi sono temperature molto basse, e valori moderati quando le condizioni esterne saranno più favorevoli (ad esempio $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$). La misurazione della temperatura esterna avviene con una sonda installata all'esterno dell'edificio con orientamento preferibile a nord e lontano da fonti di calore. Nei moderni generatori a condensazione la gestione della temperatura di mandata può avvenire andando ad agire sulla portata di combustibile e quindi direttamente sul bruciatore modulante, mentre nel passato, con generatori tradizionali, concepiti per il funzionamento ad alte temperature, la regolazione della temperatura di mandata avveniva miscelando parte della portata di fluido di ritorno con quella di mandata mediante l'impiego di valvole a tre vie miscelatrici, costituite da un servomotore comandato da una centralina elettronica di regolazione climatica. Il grosso limite della regolazione climatica è che non è possibile determinare una temperatura di mandata del generatore di calore univoca che risponda correttamente alle diverse esigenze delle singole unità abitative o ambienti della stessa unità abitativa. Basti pensare alle differenti superfici disperdenti, come negli ambienti all'ultimo piano con solaio disperdente verso il sottotetto o in quelli al piano terra con solaio disperdente verso terreno cantinato, così come ai diversi orientamenti (nord, sud, ovest, est). Una mera regolazione climatica, non potendo considerare queste variabili, costituisce di per sé una regolazione molto limitata.

6.3.2 Regolazione di zona

La regolazione di zona così come la regolazione ambiente rappresenta un sistema più puntuale e più preciso della semplice regolazione climatica per la termoregolazione degli edifici. La necessità di conciliare aspetti legati al risparmio energetico ha portato alla realizzazione di impianti aventi delle sottostazioni di derivazione, dette zone, da cui è possibile termoregolare e contabilizzare il calore delle singole unità abitative nel caso di impianti centralizzati. All'interno di ogni zona (singola unità abitativa, parte di essa o insieme di ambienti termicamente omogenei) un termostato rileva la temperatura e, confrontandola con il set point, valuta se disattivare o meno il flusso termovettore proveniente dall'impianto. Il termostato andrà ad agire elettronicamente su un organo idraulico la cui funzione potrà essere di due tipi:

- chiusura con interruzione della portata di fluido termovettore (valvola a due vie);
- ricircolo della portata di fluido termovettore (valvola deviatrice a tre vie).

Inserendo valvole sezionatrici a due vie l'impianto termico avrà portate variabili; dovrà, quindi, essere progettato per gestire variazioni repentine delle portate di fluido. La valvola a due vie è costituita da un corpo, realizzato in materiale ferroso, e da un servomotore elettricamente comandato dal termostato ambiente. Installando valvole deviatrici a tre vie non vi è un'interruzione della portata d'acqua, ma semplicemente, all'occorrenza, viene

esclusa l'alimentazione della zona di riferimento. L'impianto non subir , quindi, variazioni di portate idrauliche, poich  la medesima quantit  di acqua, anzich  transitare e servire l'appartamento, verr  fatta circolare all'interno della rete di distribuzione. La valvola   costituita da un corpo valvola, dotato di tre vie di passaggio, e da un servomotore elettricamente comandato dal termostato ambiente. La differenza tra i due sistemi, entrambi validi,   dettata dal fatto di poter realizzare un impianto a portata variabile (valvole sezionatrice a due vie) o a portata costante (valvole deviatrici a tre vie).

6.3.3 Regolazione ambiente

Rispetto a una regolazione di zona, la regolazione ambiente permette di gestire la temperatura in ogni singolo ambiente (vano di un edificio) agendo sul singolo corpo scaldante. Nel caso pi  comune, impianto termico costituito da radiatori, a bordo di ogni corpo scaldante viene installata una valvola termostatica, la quale regola la portata di fluido termovettore in funzione della temperatura ambiente. Cos  facendo,   possibile controllare la temperatura ambiente beneficiando degli eventuali apporti gratuiti, dati ad esempio dall'irraggiamento solare, inevitabilmente differenti in base all'orientamento.



Figura 24. Esempio di valvola termostatica elettronica (a sinistra) e meccanica (a destra)

Negli impianti termici esistenti la soluzione migliore consiste nell'installazione di valvole termostatiche su tutti i corpi scaldanti, ottenendo cos  una regolazione ambiente che, abbinata alla regolazione climatica, migliora notevolmente il rendimento di regolazione dell'impianto termico. Un buon sistema di regolazione, dovr , quindi, agire fondamentalmente sui due fronti:

- monitoraggio delle condizioni climatiche esterne (regolazione climatica);
- controllo della temperatura interna (regolazione ambiente o regolazione di zona).

6.3.4 Sistemi domotici

I nuovi dispositivi domotici di termoregolazione consentono un uso razionale dell'energia, attraverso la gestione efficiente dell'impianto e una riduzione sensibile degli sprechi. I dispositivi domotici possono incrementare l'efficacia nell'utilizzazione degli impianti termici

(rispetto ad un impianto tradizionale) che può raggiungere il 60% negli edifici a uso terziario e il 25% in un edificio residenziale. Grazie all'interazione fra i dispositivi di termoregolazione e il sistema domotico è possibile impostare la giusta temperatura in ogni ambiente dell'edificio solo in funzione della reale presenza di persone. In questo modo si possono ottenere significative riduzioni nel consumo energetico. Nel caso infatti di un impianto progettato per una gestione multi-zona del clima, la domotica offre dispositivi che interagiscono con l'impianto consentendo di differenziare le temperature tra un piano e l'altro dell'edificio (o fra l'una e l'altra stanza) per ridurre inutili sprechi. L'interazione fra il sistema di termoregolazione e i dispositivi domotici consente inoltre di eliminare ogni dispersione di calore verso l'esterno: nel caso l'impianto di riscaldamento sia in funzione, l'apertura delle finestre, per esempio, causerebbe una dispersione di calore. L'installazione di semplici sensori agli infissi invece permette di disattivare l'impianto di riscaldamento del singolo ambiente in caso di apertura di porte o finestre, evitando così inutili sprechi di energia.

In conclusione, gli interventi di efficientamento dei sistemi di riscaldamento possono beneficiare di incentivi fiscali ed economici che sono riportati e descritti dettagliatamente nell'Appendice C.

7. Sistemi di efficientamento per la produzione di acqua calda sanitaria

di Cumo Fabrizio, Sforzini Matteo

I più promettenti sistemi energeticamente sostenibili per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS) sono essenzialmente la produzione attraverso l'energia solare tramite i collettori solari e quella attraverso lo sfruttamento del potenziale geotermico del terreno mediante l'utilizzo di idonee pompe di calore. I sistemi di solare termico impiegati per la produzione di acqua calda sanitaria sono efficaci per parte dell'anno e coprono in media il fabbisogno di ACS per un 65% dell'anno. Tali sistemi solitamente vengono distinti in due grandi famiglie: circolazione naturale e circolazione forzata.

- I *sistemi a circolazione naturale* non prevedono l'uso di pompe elettriche per la circolazione del fluido, ma tutto avviene naturalmente durante il ciclo di riscaldamento. Il serbatoio è posizionato orizzontalmente al di sopra del collettore solare. Questo è il sistema più economico e facile da installare, è molto diffuso dato il suo costo esiguo ma ha un forte impatto visivo dato dal serbatoio di grandi dimensioni.
- Nei *sistemi a circolazione forzata* invece è necessaria una pompa per far funzionare il sistema, aumentando i costi di esso. I collettori vanno sempre posizionati all'esterno, ma in questo tipo di sistema l'accumulo può essere posizionato all'interno dell'edificio, rendendo l'impianto meno impattante da un punto di vista estetico sull'edificio. Posizionando l'accumulo all'interno si hanno anche meno dispersioni termiche e quindi un sensibile aumento dell'efficienza del sistema, aumento dato anche dal posizionamento verticale dell'accumulo che consente una migliore distribuzione dell'acqua all'interno del serbatoio. Questo tipo di impianto è più oneroso di quelli a circolazione naturale posti all'esterno, ma è molto più efficiente ed è meno invasivo esternamente. Lo spazio occupato dal serbatoio di accumulo è molto limitato e può essere posto all'interno di bagni o cantine.

Le pompe di calore geotermiche sono sistemi capaci di trarre energia dal terreno ed utilizzarla per fornire ACS e/o riscaldamento. Questi sistemi richiedono lavori importanti per essere installati, gli scavi per posizionare le sonde geotermiche sono una voce di spesa molto onerosa, quindi questi sistemi sono indicati in caso di ristrutturazione importante o di riqualificazione delle fondazioni. Nella maggior parte dei casi sono installate durante la costruzione di nuovi edifici e sono poco indicati nelle ristrutturazioni a meno di interventi nelle fondazioni. La geotermia ha un alto costo di installazione ma consente un grande risparmio energetico, poiché la fonte di energia è disponibile tutto l'anno, i costi di manutenzione sono molto bassi, la durata delle sonde è di 100 anni mentre quella della pompa è di circa 25 anni.

7.1 Solare termico

I collettori solari o pannelli solari termici consentono di produrre acqua calda sanitaria e possono essere impiegati anche ad integrazione del tradizionale impianto di riscaldamento; essi infatti consentono di sfruttare l'irraggiamento solare per produrre acqua calda ad una temperatura, mediamente, tra i 38-45°C. Il rendimento alla latitudine italiana è mediamente pari a 80-130 litri/giorno per ogni m² installato. Il consumo medio di acqua calda sanitaria per persona è di circa 30-50 litri al giorno, pertanto un metro quadro di pannello dovrebbe soddisfare le esigenze di acqua calda di 1-2 persone. Un collettore impiega circa 10 ore per riscaldare l'acqua del serbatoio. Il periodo di tempo necessario è fortemente variabile in base all'esposizione solare, alla stagione, alle condizioni meteorologiche e alla latitudine. In condizioni di nuvolosità e in inverno, la producibilità dei pannelli solari diminuisce riuscendo a produrre acqua calda alla massima temperatura di 40 °C.

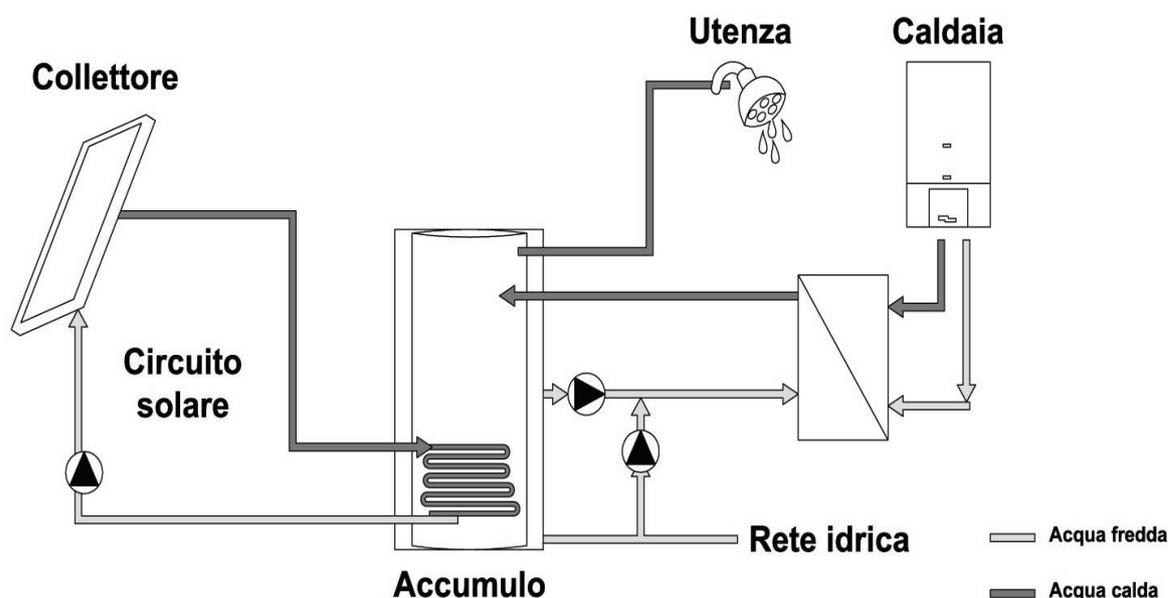


Figura 25. Schema del circuito per pannelli solari termici con caldaia integrativa ad alimentazione a gas

L'irradiazione solare media annua, in Italia, è di 1.500 kWh/m², anche se la variazione tra il nord e il sud è notevole (circa il 30%). Anche ipotizzando un rendimento medio dei pannelli solari termici, 160.000 m² di pannelli solari installati in una qualsiasi regione italiana farebbero risparmiare in bolletta circa 8 milioni di metri cubi di metano altrimenti utilizzati per alimentare la caldaia a gas o circa 80 GWh di energia elettrica degli scaldacqua elettrici ogni anno. Le tipologie di collettori solari integrabili nelle coperture edilizie attualmente sul mercato sono:

- *Collettori piani vetrati a piastre o a tubi:* funzionano con acqua oppure miscela di acqua e glicole in presenza di pericolo di gelo; sono costituiti da due piastre di acciaio stampate e saldate tra loro in modo da formare i canali di transito del fluido oppure

da tubazioni di acciaio dove scorre l'acqua da riscaldare. Sono i collettori più economici ed hanno elevate efficienze a bassa temperatura. Lo svantaggio è la bassa pressione di esercizio per la modesta resistenza meccanica delle saldature tra le piastre unitamente a una moderata diminuzione delle prestazioni in presenza di vento;

- *Collettori a tubi evacuati a piastra captante*: funzionano con miscela di acqua e glicole oppure olio diatermico. Sono formati da piastre in rame con finitura superficiale selettiva; hanno elevata efficienza ad alta temperatura e sono poco sensibili al vento. A temperature standard hanno però un basso rapporto superficie assorbente/calore prodotto e sono più costosi dei collettori piani vetrati.

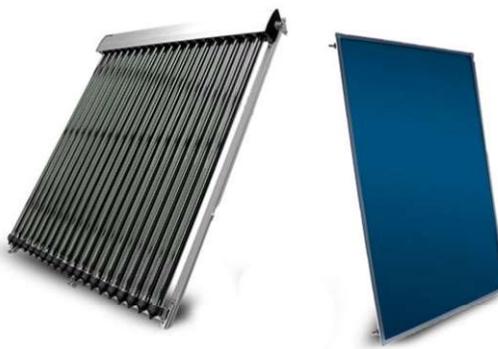


Figura 26. Collettori solari a tubi sottovuoto e a tubi evacuati a piastra piana captante

I collettori a concentrazione sono un'ulteriore tipologia ma non integrabile nella copertura, sono realizzati mediante specchi o lenti che riflettono la radiazione verso pannelli o caldaie per l'utilizzo diretto dell'acqua calda ad alte temperature oppure per la produzione di vapore da convogliare ad una turbina per la generazione di energia elettrica.

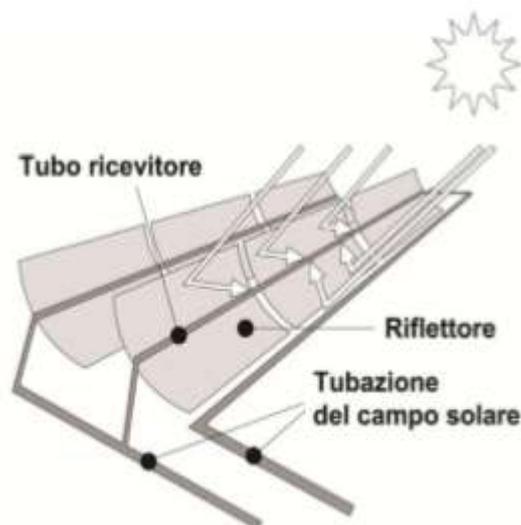


Figura 27. Schema collettori a concentrazione.

Di seguito si riportano alcuni tra i sistemi più performanti per la produzione di ACS tramite fonte solare.

Efficientamento dei sistemi di produzione di acqua calda sanitaria

SISTEMA SOLARE A CIRCOLAZIONE FORZATA CON BOLLITORE INTEGRATO SERPENTINA PER LA PRODUZIONE DI ACS



CARATTERISTICHE

Sistema solare termico a circolazione forzata sviluppato per essere facile da installare ed avviare come una circolazione naturale, garantendo, però, massima integrazione architettonica e un'efficienza elevata nella produzione di acqua calda sanitaria. Nel pacchetto è presente il modulo accumulo mono o doppio serpentino estremamente compatto che integra tutti i componenti dell'impianto. La centralina di comando, il gruppo di circolazione, il vaso di espansione e la miscelatrice termostatica sanitaria sono già collegati e testati in fabbrica; ciò riduce del 40% il tempo di installazione. L'accesso frontale a tutti i componenti permette di installare il modulo accumulo anche in una nicchia.

PRESTAZIONI

Circolazione	Naturale <input type="checkbox"/>	Forzata <input checked="" type="checkbox"/>	Accumulo	Dimensioni 70x126x890 cm
Collettori	Superficie lorda 4.02 mq			Capacità 192 litri
	Superficie captante 3.48 mq		Verticale <input checked="" type="checkbox"/>	Interno <input checked="" type="checkbox"/>
	Peso a Vuoto 70 kg		Orizzontale <input type="checkbox"/>	Esterno <input type="checkbox"/>
	Assorbimento 95%		Dispersioni termiche: 1.6 Kwh/24h	
	Emissione: 5%		Massima temperatura di servizio: 85/90 °C	

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche	<input checked="" type="checkbox"/>	Descrizione posa in opera I collettori solari sono fissati tramite profili metallici in dotazione all'impianto, mentre il serbatoio di accumulo è posto all'interno e fissato a parete tramite dispositivi di ancoraggio.
Con malta o colle	<input type="checkbox"/>	
Leganti e fissaggi meccanici	<input type="checkbox"/>	

PARAMETRI DI CONFRONTO

Uso residenziale: SI	Incentivi Fiscali: SI
Idoneo per Ristrutturazioni: SI	Costo Iniziale: MEDIO
Salva Spazio: SI	Manutenzione: BASSA
Riscaldamento: NO	Acqua Calda Sanitaria: SI

POSIZIONAMENTO



Efficientamento dei sistemi di produzione di acqua calda sanitaria

SISTEMA SOLARE A CIRCOLAZIONE NATURALE CON BOLLITORE IN ACCUMULO PER LA PRODUZIONE DI ACS



CARATTERISTICHE

Kit solare termico a circolazione naturale in grado di garantire massima prontezza nel riscaldamento dell'acqua sanitaria anche in situazioni di ridotto irraggiamento solare. Grazie al vetro testato contro la grandine, alla protezione anodica del bollitore contro la corrosione e ai 5 anni di garanzia, il sistema KAIROS THERMO rappresenta un investimento sicuro e proficuo nel tempo. È disponibile nelle versioni per installazione a terra e tetto inclinato.

PRESTAZIONI

Circolazione	Naturale <input checked="" type="checkbox"/>	Forzata <input type="checkbox"/>	Accumulo	Dimensioni 60X150 cm	Capacità 153 litri	
Collettori	Superficie lorda 2.2 mq	Superficie captante 2.1 mq	Verticale <input type="checkbox"/>	Interno <input type="checkbox"/>	Orizzontale <input checked="" type="checkbox"/>	Esterno <input checked="" type="checkbox"/>
	Peso a Vuoto 135 kg			Dispersioni termiche: 2.4 Kwh/24h		
	Assorbimento 95%			Massima temperatura di servizio: 55/65 °C		
	Emissione: 5%					

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche	<input checked="" type="checkbox"/>	Descrizione posa in opera Tutto il sistema viene ancorato alla copertura tramite profili metallici.
Con malta o colle	<input type="checkbox"/>	
Leganti e fissaggi meccanici	<input type="checkbox"/>	

PARAMETRI DI CONFRONTO

Usò residenziale: SI	Incentivi Fiscali: SI
Idoneo per Ristrutturazioni: SI	Costo Iniziale: BASSO
Salva Spazio: SI	Manutenzione: MEDIA
Riscaldamento: NO	Acqua Calda Sanitaria: SI

POSIZIONAMENTO



Efficienzamento dei sistemi di produzione di acqua calda sanitaria

Collettore solare piano con tubi sottovuoto

CARATTERISTICHE

Collettore solare a tubi sottovuoto di elevata efficienza secondo il principio heatpipe, con spegnimento automatico in funzione della temperatura per un'elevata affidabilità

- Superfici di assorbimento con rivestimento selettivo integrate nel tubo sottovuoto non soggette a sporcizia
- Trasmissione del calore efficace tramite condensatori completamente avvolti, mediante lo scambiatore di calore.
- Tubi sottovuoto ruotabili permettono un orientamento ottimale in direzione del sole per massimizzare lo sfruttamento di energia.
- Collegamento a secco, cioè l'impiego o la sostituzione dei tubi si può eseguire anche ad impianto riempito.
- Montaggio semplice

PRESTAZIONI

Dimensioni 225x118x16 cm

Assorbimento 95%

Superficie lorda 2,69 mq

Emissione: 5%

Superficie captante 1,63 mq

Contenuto di liquido: 0,86 litri

Peso a Vuoto 51 kg

Temp. Massima di inattività: 175°C

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche



Descrizione posa in opera

I collettori vengono fissati tramite profili metallici prefabbricati.

Con malta o colle



Leganti e fissaggi meccanici


PARAMETRI DI CONFRONTO

 Uso residenziale: **SI**

 Incentivi Fiscali: **SI**

 Idoneo per Ristrutturazioni: **SI**

 Costo Iniziale: **MEDIO**

 Salva Spazio: **SI**

 Manutenzione: **BASSA**

 Riscaldamento: **NO**

 Acqua Calda Sanitaria: **SI**
POSIZIONAMENTO


Efficienzamento dei sistemi di produzione di acqua calda sanitaria

Collettore solare piano

CARATTERISTICHE

Sono appositamente progettati per l'integrazione in tetti inclinati.

Il componente principale è l'assorbitore con rivestimento selettivo con superficie captante selettiva, che garantisce un elevato assorbimento delle radiazioni solari e la minima emissione di radiazioni termiche. Sull'assorbitore è montato un tubo in rame a forma di meandro attraverso il quale scorre il fluido termovettore. L'assorbitore è avvolto in un involucro isolato termicamente grazie al quale la dispersione di calore del collettore viene ridotta al minimo. L'isolamento termico è termoresistente e non libera gas nocivi. Il collettore è coperto da un vetro speciale, caratterizzato da una bassa percentuale di ferro, grazie alla quale la trasmissione dell'irradiazione solare viene aumentata.

PRESTAZIONI

Dimensioni 240x107x9 cm

Assorbimento 95%

Superficie lorda 2.56 mq

Emissione: 5%

Superficie captante 2.31 mq

Contenuto di liquido: 1.83 litri

Peso a Vuoto 40 kg

Temp. Massima di inattività: 145°C

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche



Descrizione posa in opera

I collettori integrati vengono fissati tramite profili metallici.

Con malta o colle



Leganti e fissaggi meccanici


PARAMETRI DI CONFRONTO

 Uso residenziale: **SI**

 Incentivi Fiscali: **SI**

 Idoneo per Ristrutturazioni: **SI**

 Costo Iniziale: **MEDIO**

 Salva Spazio: **SI**

 Manutenzione: **BASSA**

 Riscaldamento: **NO**

 Acqua Calda Sanitaria: **SI**
POSIZIONAMENTO


Efficienzamento dei sistemi di produzione di acqua calda sanitaria

Collettore solare ad accumulo diretto

CARATTERISTICHE

Collettore solare diretto con accumulo integrato per posizionamento orizzontale. Ha al suo interno un accumulo di acqua tecnica che viene riscaldato direttamente dalla radiazione solare. Uno scambiatore in rame immerso nell'accumulo permette la produzione di acqua calda sanitaria in modo sicuro e totalmente igienico, eliminando al 100% la possibile formazione di legionella. La facilità di installazione e di collegamento permette di minimizzare i tempi di installazione. Non necessita di riduttori di pressione in quanto l'accumulo non è in pressione. L'acqua sanitaria scorre all'interno di una serpentina di rame opportunamente trattato per resistere alla corrosione. E' tassativo l'utilizzo del liquido antigelo per l'utilizzo del prodotto con temperature sotto zero. Disponibile in due versioni con capacità di 150 e 200 litri di accumulo.

PRESTAZIONI

 Circolazione: Naturale Forzata

Capacità acs 145 litri

Superficie lorda 1.91 mq

Dimensioni 197x97x18 cm

Superficie captante 1.77 mq

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche



Con malta o colle



Leganti e fissaggi meccanici



Descrizione posa in opera

I collettori vengono fissati in copertura tramite dispositivi di ancoraggio.

PARAMETRI DI CONFRONTO

 Uso residenziale: **SI**

 Incentivi Fiscali: **SI**

 Idoneo per Ristrutturazioni: **SI**

 Costo Iniziale: **MEDIO**

 Salva Spazio: **SI**

 Manutenzione: **BASSA**

 Riscaldamento: **NO**

 Acqua Calda Sanitaria: **SI**
POSIZIONAMENTO


7.2 Impianti geotermici a bassa temperatura

Scegliere un impianto geotermico significa assicurarsi un ambiente domestico confortevole, piacevolmente caldo d'inverno e fresco d'estate, utilizzando una tecnologia rispettosa dell'ambiente e vantaggiosa dal punto di vista economico. I sistemi geotermici a bassa temperatura sono diffusi, in ambito residenziale, soprattutto nel Nord Europa e negli Stati Uniti, mentre in Italia sono ancora poco conosciuti. La possibilità di produrre, oltre che acqua calda per il riscaldamento invernale e per gli usi sanitari, anche acqua fredda per raffrescare durante l'estate, rende gli impianti geotermici l'alternativa ideale ai tradizionali impianti di riscaldamento e raffrescamento. Il grande vantaggio deriva dal fatto che un sistema geotermico racchiude in unico impianto le stesse funzioni normalmente demandate a due diversi apparecchi, cioè caldaie e condizionatori. Un impianto geotermico, se opportunamente dimensionato, è in grado di riscaldare e raffrescare un edificio senza l'ausilio di altri apparecchi. In questo caso si parla di impianto geotermico "monovalente". In ogni caso si tratta di impianti che si prestano bene all'integrazione con altri generatori di calore ad alta efficienza. Molto interessante, ad esempio, risulta l'abbinamento con impianti solari termici oppure con caldaie a condensazione, in regime "bivalente".

I componenti fondamentali di un impianto geotermico sono:

- *Un sistema di captazione del calore:* di norma si tratta di tubature in polietilene che fungono da scambiatori di calore, sfruttando l'energia termica presente nel sottosuolo o nell'acqua. Le tubature possono essere interrate verticalmente nel terreno a grandi profondità (sonde geotermiche verticali), oppure orizzontalmente a 1-2 metri di profondità (sonde o collettori orizzontali). Anche l'utilizzo dell'acqua, come sorgente di calore in alternativa al terreno, comporta l'utilizzo di sonde verticali. È proprio la scelta del sistema di captazione, a seconda anche dalle caratteristiche geologiche e climatiche del luogo scelto per l'installazione, a caratterizzare le diverse opzioni impiantistiche dei sistemi geotermici.
- *La pompa di calore geotermica:* installata all'interno degli edifici, la pompa di calore geotermica è il cuore dell'impianto. Consente infatti di trasferire calore dal terreno o dall'acqua all'ambiente interno –in fase di riscaldamento- e di invertire il ciclo nella fase di raffrescamento.
- *Un sistema di accumulo e distribuzione del calore:* gli impianti geotermici sono particolarmente adatti per lavorare con terminali di riscaldamento/raffrescamento funzionanti a basse temperature (30-50°C), come ad esempio i pannelli radianti e i ventilconvettori. I pannelli radianti rappresentano la migliore soluzione impiantistica: in inverno fanno circolare acqua calda a 30-35 °C e in estate acqua fredda a 18-20 °C, riscaldando e raffrescando con il massimo grado di comfort e risparmio energetico. I tradizionali radiatori, pur essendo in qualche caso utilizzabili per lavorare con una pompa di calore, risultano però assolutamente inadatti per raffrescare gli ambienti. La presenza

di un serbatoio di accumulo per l'acqua calda risulta indispensabile per immagazzinare il calore e quindi distribuirlo all'edificio –per il riscaldamento e per gli usi sanitari- quando vi è richiesta. L'integrazione tra geotermia e impianti solari termici o caldaie a condensazione avviene proprio grazie al serbatoio d'accumulo, all'interno del quale l'acqua viene riscaldata tramite serpentine collegate ai diversi generatori di calore.

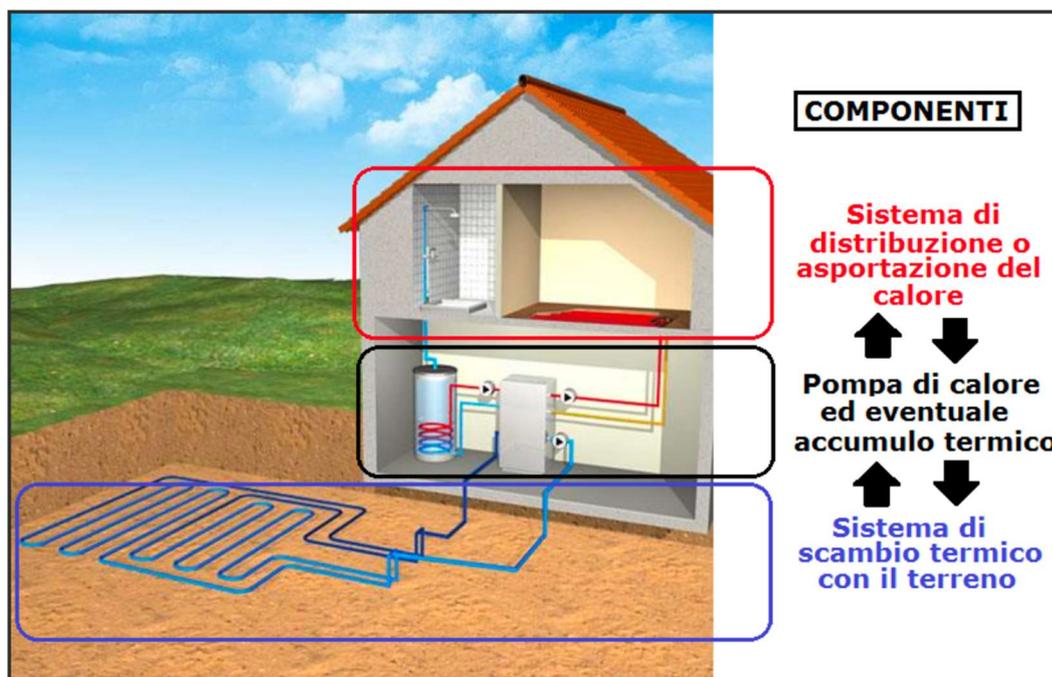


Figura 28. I principali componenti di un impianto geotermico

La geotermia è certamente consigliata per tutti gli edifici di nuova costruzione, per i quali è possibile progettare ex novo l'intero impianto in maniera ottimale. Per gli edifici esistenti, la convenienza e la fattibilità di un impianto geotermico sono da analizzare caso per caso. Occorre anche valutare la disponibilità di spazio sufficiente per l'allestimento del cantiere e per la posa delle sonde. È comunque consigliato installare l'impianto in fase di ristrutturazione dell'edificio e dell'impianto termico, approfittando così dei lavori in corso per riqualificare complessivamente l'intero edificio dal punto di vista energetico. L'installazione di un impianto geotermico è una scelta vantaggiosa anche per tutti gli edifici esistenti che utilizzano caldaie alimentate a combustibili fossili costosi e inquinanti, come gasolio o GPL. Nel caso in cui si possieda una caldaia a metano, bisogna invece valutare attentamente i costi e i benefici derivanti da una sua sostituzione. Un altro aspetto fondamentale riguarda la qualità dell'isolamento termico dell'edificio. Un edificio ben coibentato è un presupposto indispensabile per un corretto dimensionamento dell'impianto geotermico, che assicuri buoni livelli di comfort e di risparmio energetico. La necessità di migliorare il grado di isolamento degli edifici riguarda soprattutto il parco edilizio esistente, mentre gli edifici di nuova o recente costruzione, che devono sottostare a stringenti criteri legislativi, risultano di norma ben coibentati. Una stima della vita media di un impianto geotermico può essere fatta più su alcuni singoli componenti che sull'intero impianto. Le pompe di calore geotermiche hanno una vita utile di almeno 15-20 anni (per le taglie domestiche la durata è

inferiore), mentre le sonde geotermiche possono funzionare senza problemi per molte decine d'anni (secondo alcune fonti fino a 80-100 anni). I pannelli radianti hanno una vita stimata in circa 20-30 anni. Per tutti gli anni di funzionamento dell'impianto, non vi è pressoché alcuna necessità di manutenzione.

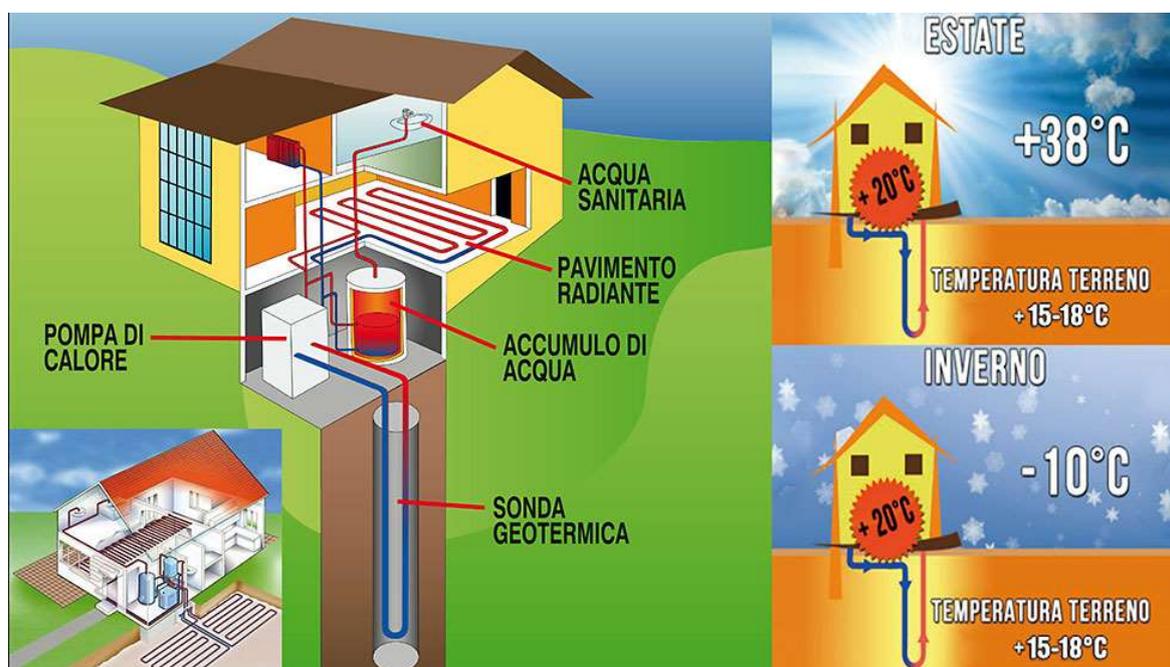


Figura 29. Schema di un impianto geotermico

Vantaggi di un impianto geotermico

Un impianto geotermico fornisce energia termica gratuita (eccettuato il consumo elettrico della pompa di calore) e indipendente dalle temperature esterne, che assicura un funzionamento dell'impianto per 365 giorni l'anno;

- i costi di esercizio sono inferiori di circa il 60% rispetto a un sistema di riscaldamento con caldaia a metano;
- un unico sistema permette sia di riscaldare che di raffrescare l'edificio, eliminando i costi elevati per il condizionamento estivo (se già presenti adatti terminali di emissione);
- contribuisce alla riduzione delle emissioni di inquinanti e di CO₂ in atmosfera;
- non inquina i terreni, poiché all'interno delle sonde geotermiche circolano liquidi frigoriferi antigelo completamente atossici;
- la pompa di calore geotermica è una macchina estremamente silenziosa, alla pari ad esempio di un frigorifero;
- l'assenza di processi di combustione e di canne fumarie riduce al minimo la necessità di interventi di manutenzione.

Uno degli interventi previsti dal progetto Enerselves è stato realizzato nel Comune di Tarquinia, in provincia di Viterbo, attraverso una riqualificazione energetica di un edificio pubblico residenziale destinato ad ospitare 24 alloggi. In particolare, è stata prevista una pompa di calore in grado di sfruttare il terreno come fonte rinnovabile sia nella stagione invernale che in quella estiva. Come per l'efficientamento degli impianti di riscaldamento anche quelli per la produzione di acqua calda sanitaria possono beneficiare di incentivi. In particolare, il Conto Termico prevede un incentivo in conto capitale per sostenere gli interventi di "sostituzione di impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti di climatizzazione invernale dotati di pompe di calore, elettriche o a gas, utilizzando energia aerotermica, geotermica o idrotermica" e per la "sostituzione di scaldacqua tradizionali con scaldacqua a pompa di calore dedicati alla produzione di acqua calda sanitaria". Per ulteriori dettagli si rimanda all'Appendice C del presente documento.

Efficiamento dei sistemi di produzione di acqua calda sanitaria

Pompa di calore monoblocco per acqua calda sanitaria

CARATTERISTICHE

La nuova pompa di calore monoblocco per acqua calda sanitaria rappresenta una combinazione perfetta tra la tecnologia a pompa di calore e un serbatoio di accumulo dell'acqua calda ad alte prestazioni, che permette di aumentare l'efficienza energetica e garantisce un notevole risparmio. Nessuna unità esterna.
Collegamento solare: per una casa che vive di energia rinnovabile

PRESTAZIONI

 Circolazione Naturale
 Forzata

Capacità acs 200 litri

Potenza termica totale 3.4Kw

Dimensioni 170x60 cm

Assorbimento medio elettrico 0.42 Kw

Dispersione calore 60W

Cop: 3.3

PROCEDURE DI FISSAGGIO

 Con giunzioni metalliche

 Con malta o colle

 Leganti e fissaggi meccanici
Descrizione posa in opera

Il monoblocco viene fissato al pavimento tramite sistemi di ancoraggio.

PARAMETRI DI CONFRONTO

 Uso residenziale: **SI**

 Incentivi Fiscali: **SI**

 Idoneo per Ristrutturazioni: **SI**

 Costo Iniziale: **MEDIO**

 Salva Spazio: **SI**

 Manutenzione: **BASSA**

 Riscaldamento: **NO**

 Acqua Calda Sanitaria: **SI**
POSIZIONAMENTO


Efficiamento dei sistemi di produzione di acqua calda sanitaria

Pompa di calore a doppio compressore, con fonte di calore geotermica profonda, geotermica a bassa profondità, acque superficiali o acqua di falda.


CARATTERISTICHE

Una pompa di calore per il riscaldamento di grandi edifici, come condomini, chiese e locali industriali. Prodotto flessibile, con un sistema di controllo avanzato e che può essere adattata a diverse soluzioni di sistema. Il terreno, roccia o l'acqua di lago possono essere utilizzati come fonte di calore. Anche l'acqua di falda può essere utilizzata come fonte di calore, prevedendo uno scambiatore di calore intermedio. Può controllare fino a quattro diversi sistemi di climatizzazione, come ad esempio un circuito a bassa temperatura per riscaldamento a pavimento o un impianto a radiatori. Ha la possibilità di controllare un generatore di calore esterno. La produzione di acqua calda sanitaria può essere prodotta in modo prioritario, con uno o più compressori. Questo permette il funzionamento simultaneo in riscaldamento e acqua calda sanitaria.

PRESTAZIONI

Potenza nominale: 30 Kw

Dimensioni: 180x60x62 cm

Potenza elettrica: 5.4 Kw

Peso: 325 kg

Cop: 5.5

Temperature max mandata: 65°C

Rumorosità: 47 dB

Portata max: 52 litri/minuto

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche



Descrizione posa in opera

Fissata a parete e al pavimento tramite dispositivi di ancoraggio.

Con malta o colle



Leganti e fissaggi meccanici


PARAMETRI DI CONFRONTO

 Uso residenziale: **SI**

 Incentivi Fiscali: **SI**

 Idoneo per Ristrutturazioni: **SI**

 Costo Iniziale: **MEDIO**

 Salva Spazio: **SI**

 Manutenzione: **BASSA**

 Riscaldamento: **SI**

 Acqua Calda Sanitaria: **SI**
POSIZIONAMENTO


Efficiamento dei sistemi di produzione di acqua calda sanitaria

Pompa di calore terra-acqua per riscaldamento ed acqua calda sanitaria

CARATTERISTICHE

Un'efficiente pompa di calore geotermica con una temperatura di mandata di fino a 72° C. E' quindi una valida soluzione nel caso di ammodernamento di impianti esistenti a radiatori ed è in grado di assicurare un'elevata resa di acqua sanitaria.

E' possibile un suo utilizzo combinato con una pompa di calore dello stesso tipo nella modalità Master/Slave per soddisfare elevati fabbisogni termici. Può essere utilizzata anche nella configurazione acqua/acqua per lo sfruttamento del calore dell'acqua di falda. E' necessario collegare un bollitore per acqua calda, che assicura un elevato comfort sanitario.

PRESTAZIONI

Potenza nominale: 20.5 Kw

Dimensioni: 108x107x78 cm

Potenza elettrica: 4.3 Kw

Peso: 270 kg

Cop: 4.8

Temperature max mandata: 72°C

Rumorosità: 50 dB

Portata max: 58 litri/minuto

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche



Descrizione posa in opera

Fissata a parete tramite dispositivi di ancoraggio.

Con malta o colle



Leganti e fissaggi meccanici


PARAMETRI DI CONFRONTO

 Uso residenziale: **SI**

 Incentivi Fiscali: **SI**

 Idoneo per Ristrutturazioni: **SI**

 Costo Iniziale: **MEDIO**

 Salva Spazio: **SI**

 Manutenzione: **BASSA**

 Riscaldamento: **SI**

 Acqua Calda Sanitaria: **SI**
POSIZIONAMENTO


Efficientamento dei sistemi di produzione di acqua calda sanitaria

Pompa di calore ibrida, gas/aria - acqua, aria - aria



CARATTERISTICHE

Tecnologia ibrida con pompa di calore gas, aria-acqua e aria-aria per riscaldamento, raffrescamento e acqua calda. La pompa di calore ibrida riunisce le tecnologie a pompa di calore aria-acqua e di condensazione del gas, unità interna a parete solo riscaldamento con pompa di calore aria-acqua, costi di investimento ridotti: nessuna necessità di sostituire i radiatori esistenti (fino a 80°C) e le tubazioni, installazione facile e rapida grazie alle dimensioni compatte e alle connessioni rapide.

PRESTAZIONI

Potenza assorbita pompa: 45 W

Portata acqua min: 9 litri/minuto

Peso 33kg

Portata acqua max: 23 litri/minuto

Dimensioni: 120x52x27 cm

Pressione massima: 3bar

Temp max acqua: 50°C

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche



Descrizione posa in opera

La caldaia viene fissata a parete tramite dispositivi di ancoraggio.

Con malta o colle



Leganti e fissaggi meccanici



PARAMETRI DI CONFRONTO

 Uso residenziale: **SI**

 Incentivi Fiscali: **SI**

 Idoneo per Ristrutturazioni: **SI**

 Costo Iniziale: **MEDIO**

 Salva Spazio: **SI**

 Manutenzione: **BASSA**

 Riscaldamento: **SI**

 Acqua Calda Sanitaria: **SI**

POSIZIONAMENTO



8. Efficiamento dei sistemi di raffrescamento e ventilazione

di Sforzini Matteo

Un sistema impiantistico deve garantire il raggiungimento del comfort interno desiderato anche durante la stagione estiva, così come durante la stagione invernale. Una buona progettazione di un edificio ha come obiettivo principale quello di ridurre il fabbisogno di energia per la climatizzazione estiva ed in seguito quello di scegliere la soluzione impiantistica più adatta ed efficiente. Prima di scegliere l'impianto adatto per la climatizzazione estiva di un edificio è opportuno ricordare che questa necessità dipende da diversi fattori. Il clima locale, per esempio, è uno di quei fattori che sono al di fuori dal nostro controllo ma altri possono invece essere soluzioni passive per ridurre il fabbisogno per il raffrescamento. L'orientamento dell'edificio, le soluzioni tecnico-costruttive massive ad elevata inerzia termica, un sistema adeguato di ombreggiamento e di ventilazione naturale sono tutti fattori da dover prendere in considerazione in fase di progettazione. Infatti, la ventilazione è la scelta più a basso consumo energetico e meno costosa per raffrescare gli edifici. Essa funziona meglio quando viene combinata con metodi per evitare l'accumulo di calore nell'edificio. In alcuni casi la sola ventilazione naturale può essere sufficiente per il raffrescamento anche se ha bisogno di solito di essere integrata con la ventilazione meccanica, con ventilatori a soffitto e con ventole applicate alle finestre. Tuttavia, la maggior parte degli edifici vengono oggi raffrescati con sistemi attivi a pompa di calore.

8.1 Sistemi a pompa di calore per il raffrescamento attivo

I sistemi attivi di raffrescamento più diffusi sono rappresentati dai sistemi a pompa di calore, i quali disponendo di un funzionamento reversibile possono fungere sia da generatore di calore, per la climatizzazione invernale, che da macchina frigorifera per quella estiva.

Split-system

Così come per la climatizzazione invernale, i sistemi a pompa di calore più diffusi sono gli split-system. Gli split-system sono composti da due diversi tipi di unità, esterne ed interne, e possono coprire il fabbisogno di climatizzazione sia estivo che invernale, ma la loro resa diventa critica nel caso di condizioni climatiche estreme (problema che si riduce nel caso di pompe ad acqua anziché ad aria, in quanto l'acqua ha una temperatura più costante durante l'anno). Infatti, con temperature esterne molto alte, lo scambio termico tra il refrigerante e l'aria esterna viene penalizzato. La differenza tra i sistemi mono-split e multi-split risiede nel numero di unità interne collegate alla stessa unità esterna. I mono-split (un'unità esterna per ogni unità interna) sono più indicati nel caso di edifici residenziali con ambienti di dimensioni contenute. Nel caso di uffici, altri edifici terziari o industriali, sono indicati i multi-split, con un

motore più grande e la possibilità di far funzionare contemporaneamente diverse unità interne. Le unità interne possono essere posizionate in diversi punti dell'ambiente: sul soffitto, sulle pareti o anche a pavimento.



Figura 30. Sistemi split a pompa di calore. Multisplit (a sinistra) e monosplit (a destra)

Sistemi VRV-VRF

Sono innovativi impianti di climatizzazione a pompa di calore utilizzati spesso in alternativa ai sistemi tradizionali composti da caldaia e refrigeratore. Acronimo di Variant Refrigerant Volume (VRV) o Variant Refrigerant Flow (VRF), questi sistemi sono altamente performanti, hanno flessibilità di funzionamento, alto rendimento energetico così come una installazione semplice e rapida. L'impianto di climatizzazione è costituito da più unità componibili e modulari, che fungono da pompa di calore, collegate tra loro mediante un circuito frigorifero a due o tre tubi in rame di minima sezione. Alle unità esterne è possibile collegare infinite unità interne aventi una potenza termica totale compresa tra il 50% ed il 130% dell'unità esterna a loro collegata. Una singola macchina può avere una potenza termica fino a 60 kW permettendo così un dimensionamento puntuale dell'intero sistema, assicurando un effettivo risparmio energetico. Le unità esterne forniscono la corretta quantità di gas refrigerante in base alle informazioni scambiate con le unità interne. Ogni unità interna ha una valvola di controllo del refrigerante in modo da controllare puntualmente il flusso di refrigerante per ogni singola unità. La capacità è distribuita in base al carico termico richiesto da ogni unità interna. La gestione centralizzata permette di abbattere i costi di energia elettrica e di risparmiare circa il 25-30% rispetto agli impianti tradizionali grazie ad un sistema di controllo automatizzato.



Figura 31. Sistema VRV

Sistemi solar-cooling

Questa tecnologia è ancora poco diffusa in Italia, soprattutto in campo domestico, perché gli impianti in commercio (da circa 20 kW di potenza frigorifera in su) sono più adatti ai grandi ambienti industriali e commerciali e ai sistemi centralizzati. Per solar cooling si intende l'abbinamento del solare termico con una macchina frigorifera ad assorbimento, che sfrutta l'energia termica immagazzinata nel fluido (generalmente acqua) grazie ai collettori solari termici. Il risultato finale è acqua refrigerata utilizzabile per il raffrescamento estivo degli edifici. La possibilità di utilizzare la radiazione solare per la climatizzazione estiva nasce dal fatto che essa è maggiormente disponibile proprio nel periodo estivo, quando la richiesta di elettricità raggiunge picchi estremi a causa dell'utilizzo delle tradizionali pompe di calore elettriche a compressione. Quindi il grande vantaggio del raffrescamento solare risiede proprio nella contemporaneità di irraggiamento solare e fabbisogno di refrigerazione. L'energia prodotta viene direttamente sfruttata perché questa contemporaneità è sia stagionale che giornaliera.

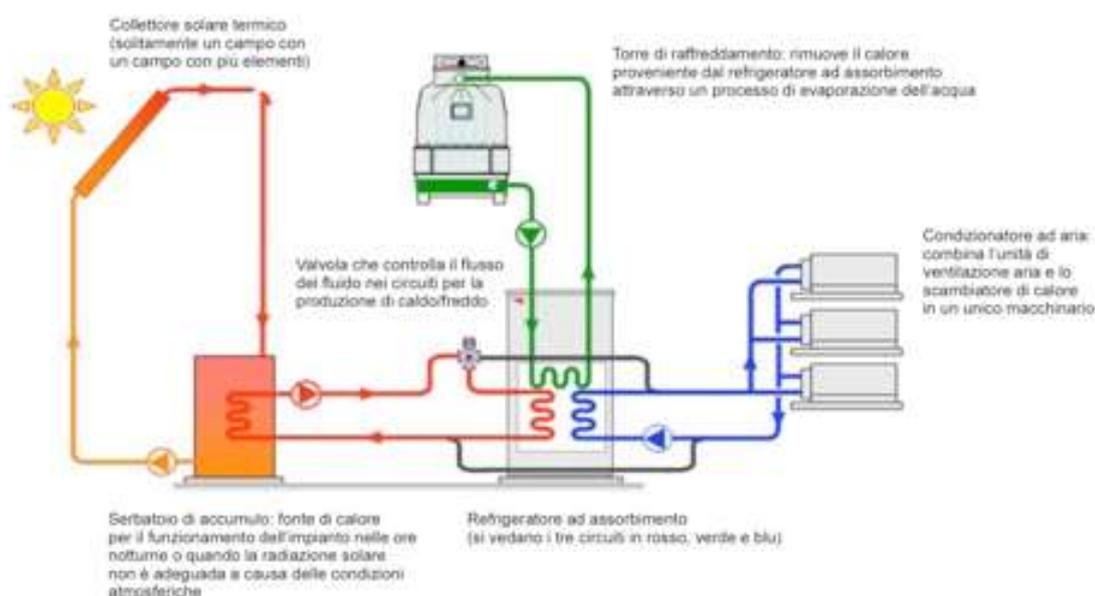


Figura 32. Schema di funzionamento di un sistema solar-cooling

Unità interne dell'impianto

Per i sistemi a pompa di calore sopra descritti che utilizzano acqua come fluido termovettore, le unità terminali sono necessarie affinché il calore venga "prelevato" dall'edificio (stagione estiva) e smaltito esternamente (stagione invernale). I ventilconvettori sono terminali utilizzabili sia per il riscaldamento che per il raffrescamento per i sistemi aria/acqua. Si distinguono tra ventilconvettori a due tubi o a quattro tubi, in base al fatto che il circuito di circolo del fluido sia o no lo stesso per il caldo e il freddo. Anche i pannelli radianti sono una valida soluzione per la climatizzazione estiva. I pannelli radianti sono composti da un sistema di tubi, in cui può scorrere acqua calda o fredda. Non sono mai a vista, ma sempre

al di sotto di un ultimo strato di finitura. Permettono di ottenere, sia in fase di riscaldamento che di raffreddamento, una temperatura uniforme nell'ambiente senza il movimento di masse di aria. I pannelli possono essere collocati a pavimento, a parete o a soffitto. È necessario fare attenzione ad eventuali problemi di condensa, dovuti alla differenza di temperatura superficiale dello strato al di sopra dei pannelli e quella dell'aria. Questo potrebbe causare fenomeni di condensa superficiale evitabile con una corretta regolazione della temperatura del fluido in base al calcolo del punto di rugiada.

8.2 Sistemi per il raffrescamento passivo

L'importanza dei sistemi di raffrescamento passivo nasce dalla rapida crescita del fabbisogno di raffrescamento estivo degli edifici e dalle problematiche ambientali, economiche e di salute legate agli elevati consumi elettrici ad esse connesse. Le strategie passive che consentono di controllare il surriscaldamento degli edifici si possono sintetizzare in:

- proteggere l'edificio dall'irraggiamento solare installando adeguate schermature;
- controllare l'inerzia termica dei componenti dell'involucro, questa assume un ruolo regolatore attenuando e ritardando le variazioni della temperatura esterna, diminuendo la temperatura media radiante e fornendo migliori condizioni di comfort;
- adottare sistemi naturali di raffreddamento per la ventilazione. La ventilazione naturale agisce sul benessere influenzando il bilancio termico dell'edificio e consentendo di incrementare gli scambi convettivi tra uomo e ambiente. La ventilazione naturale dà luogo a raffreddamento tramite le correnti d'aria generate da fenomeni naturali come l'azione del vento e l'effetto camino;
- aumentare la presenza di vegetazione adiacente all'edificio; essa fornisce ombra e regola la temperatura, quindi dove possibile è opportuno piantare alberi e piante rampicanti sulle pareti esposte al sole.

Per free-cooling si intende un sistema di climatizzazione naturale che non spreca energia, perché sfrutta semplicemente la differenza di temperatura tra ambiente interno ed ambiente esterno. Il free-cooling estivo si ottiene grazie a particolari impianti termici che, utilizzando la temperatura dell'aria esterna, rinfrescano gli ambienti senza l'utilizzo di sistemi di refrigerazione o ventole, dunque senza l'uso di energia elettrica (sistemi attivi). Tale tecnologia ha già riscosso enorme successo in campo industriale e nei grandi ambienti pubblici come centri commerciali ed aeroporti, dove la necessità può essere quella di rinfrescare gli ambienti anche durante le mezze stagioni. Negli ultimi anni si sta sempre più affermando anche per l'uso domestico in quanto il sistema permette un notevole risparmio energetico. Esistono due differenti tipologie di raffrescamento naturale: il free-cooling diretto e indiretto.

Free-cooling diretto

Si parla di free-cooling diretto quando, per rinfrescare un ambiente, viene direttamente immessa aria esterna che si trova ad una temperatura più bassa rispetto a quella interna. Questo sistema garantisce un interessante risparmio energetico in quanto non vengono utilizzati sistemi che necessitano lo sfruttamento di energia elettrica. Si ottiene in questo modo una perfetta climatizzazione, garantendo un elevato risparmio energetico. È un sistema particolarmente indicato durante le mezze stagioni quando l'aria esterna non raggiunge temperature particolarmente elevate. Con il free-cooling diretto sarà possibile quindi immettere "direttamente" l'aria nell'ambiente con carico endogeno elevato: l'aria esterna, più fredda, entrerà nell'ambiente più caldo raffrescandolo direttamente. Tale sistema garantisce inoltre un adeguato ricambio d'aria.



Figura 33. Esempio di un sistema free-cooling diretto

Free-cooling indiretto

Il free-cooling indiretto è, invece, un sistema che necessita di un impianto geotermico e una pompa di calore: viene sfruttata l'acqua di ritorno di una sonda geotermica, che quindi viene immessa nei terminali di emissione (generalmente pannelli radianti) generando una perfetta climatizzazione estiva. Il raffreddamento dell'acqua dell'impianto per il free-cooling estivo indiretto si può ottenere anche utilizzando un sistema che prevede il solo utilizzo dell'aria esterna. Questo è però possibile solo in condizioni climatiche estremamente favorevoli, con aria che chiaramente non deve essere troppo calda.

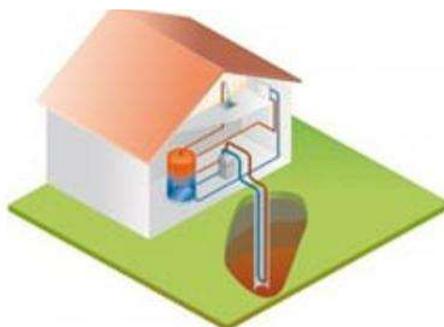


Figura 34. Esempio di un sistema free-cooling indiretto

Gli innegabili vantaggi del free-cooling sono quelli di essere un sistema naturale, che non incide negativamente sull'ambiente, perché non richiede l'uso di energia elettrica e allo stesso tempo proprio grazie al consumo nullo di energia per il suo funzionamento consente un interessante risparmio in termini di costi in bolletta. Inoltre, si tratta di un impianto basato su una tecnologia piuttosto semplice, che richiede pochissima manutenzione. Gli svantaggi possono essere identificati nella ridotta potenza dissipante di questo tipo di sistema, che rispetto ad altri ha una velocità di dissipazione effettivamente minore e la sua efficienza è vincolata e dipendente dalle condizioni ambientali. Scegliere di installare un impianto free-cooling non solo può rendere gli ambienti più confortevoli in ogni stagione ma può evitare un inutile spreco, facendo risparmiare in condizioni ambientali favorevoli anche fino all'80%.

8.3 Sistemi di raffrescamento evaporativo

Il raffrescamento evaporativo, detto anche raffrescamento adiabatico, sfrutta un principio di raffreddamento naturale per raffrescare l'aria. Diversamente dai sistemi attivi a pompa di calore, in cui scorre un gas refrigerante capace di trasferire in modo ottimale il calore, nei sistemi di raffrescamento evaporativo l'aria aspirata dall'ambiente viene fatta passare attraverso un filtro costantemente bagnato. L'acqua, evaporando, assorbe calore e di conseguenza abbassa la temperatura dell'ambiente che la circonda, generando di fatto uno scambio di energia con l'aria. Il raffrescamento evaporativo aggiunge all'aria una quantità di vapore acqueo tale da renderla con un'umidità relativa vicina al 100%, ossia prossima alla saturazione. L'aria aumenta in tal modo la sua percentuale di umidità relativa (il rapporto percentuale tra la quantità di vapore contenuta da una massa d'aria, e la quantità massima che può contenere nelle stesse condizioni di temperatura e pressione), perdendo allo stesso tempo una parte del suo calore e provocando così l'abbassamento della temperatura. Nella pratica, il processo di raffrescamento avviene grazie al passaggio dell'aria in pannelli filtranti saturi d'acqua; l'aria calda esterna, nell'attraversamento, produce una parziale evaporazione dell'acqua, venendo così nuovamente reimmessa nell'ambiente più fresca e più pulita.

Raffrescamento evaporativo diretto

Abbreviato anche con DEC – Direct Evaporative Cooling – prevede che l’aria venga immessa direttamente nell’ambiente dopo essere passata attraverso l’evaporatore, che la raffredda e la umidifica. Si tratta di un sistema particolarmente efficace quando l’aria esterna è calda e secca o in presenza di apparecchiature che generano calore.

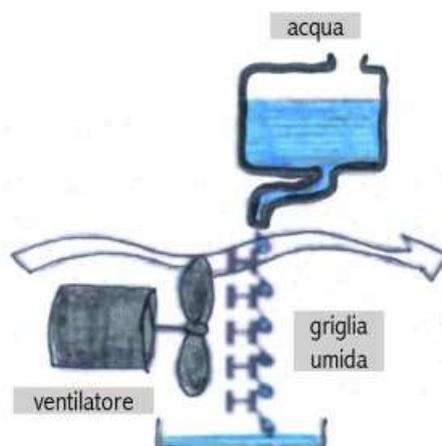


Figura 35. Schema di funzionamento del raffrescamento evaporativo diretto

Questa soluzione, però, è particolarmente indicata per gli ambienti aperti dove c’è un continuo ricircolo d’aria. Negli ambienti chiusi, gli impianti di raffrescamento evaporativo risultano particolarmente svantaggiosi in quanto l’acqua che assorbe il calore, evaporando aumenta l’umidità. Invece che migliorare il grado di comfort, ciò non fa altro che aumentare il calore percepito sulla pelle, senza dimenticare che in un ambiente umido è più facile che si sviluppino muffe e batteri.

Raffrescamento evaporativo indiretto

Abbreviato anche con IEC – Indirect Evaporative Cooling – prevede che l’aria che entra nell’evaporatore sottragga il calore a uno scambiatore che raffredda l’aria e che quindi non viene umidificata. La particolarità di questo sistema è che i due flussi d’aria non si miscelano e quindi ne viene preservata la purezza. È particolarmente indicato quando l’umidità esterna risulta già elevata.

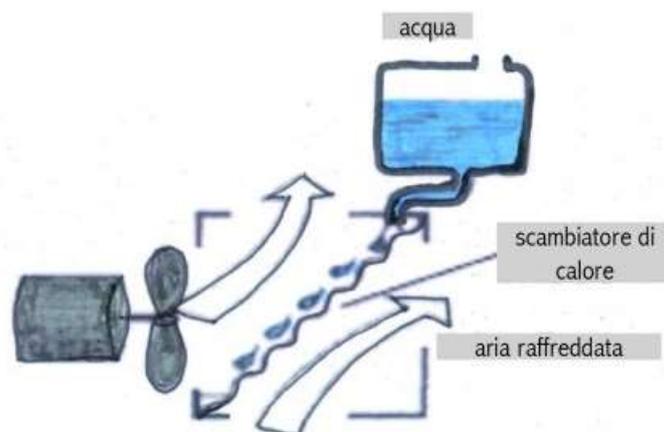


Figura 36. Schema di funzionamento del raffreddamento evaporativo indiretto

Il principale vantaggio di tale sistema è rappresentato dal basso costo di gestione e dal fatto che non rilasciando vapore acqueo nell'ambiente raffreddato non richiede il controllo dell'umidità.

8.4 Sistema innovativo a “travi fredde”

Le travi fredde consentono di risolvere alcuni dei più fastidiosi problemi legati alla climatizzazione come la proliferazione dei batteri oppure il fastidioso rumore delle ventole di aerazione: una soluzione “intelligente” che si sta sempre più diffondendo nei nuovi edifici. Con il termine “travi fredde” si fa riferimento agli elementi terminali installati a soffitto il cui scopo è quello di controllare le condizioni ambientali garantendo un clima fresco o caldo. A dispetto del nome, questo sistema non solo fornisce aria fredda, ma è stato progettato per massimizzare le caratteristiche radianti garantendo anche il riscaldamento nel periodo invernale. La struttura esterna delle travi fredde è costituita da un carter metallico che va installato al soffitto (nelle controsoffittature) al cui interno vi è una batteria a pacco alettato e tubi di rame attraversati da acqua calda o fredda. Grazie all'evoluzione ingegneristica è stato possibile aumentarne le prestazioni in termini di efficienza rispetto ai pannelli radianti. La struttura di questo impianto si completa con delle bocchette che vanno a diffondere l'aria negli ambienti.

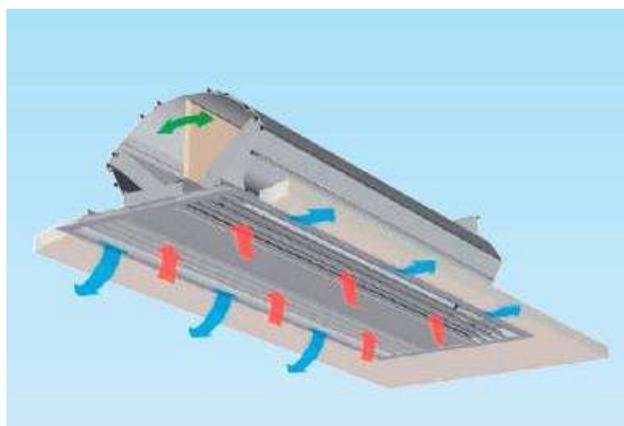


Figura 37. Esempio di “trave fredda”

È possibile notare come le travi fredde siano migliori rispetto ad altri sistemi dal punto di vista del comfort termico: in questo caso non sono presenti macchinari ingombranti e rumorosi, inoltre i fenomeni di turbolenza tipici dei condizionatori vengono in questo modo ridotti. La temperatura è costante e per questo motivo, al fine di garantire aria salubre e ottime condizioni abitative, si tende a optare per questa soluzione innovativa di raffrescamento. Gli impianti a travi fredde si possono distinguere in due tipologie sulla base del loro funzionamento: travi fredde attive e passive. Per quanto riguarda la prima tipologia parliamo di travi che funzionano mediante il fenomeno dell'induzione: l'aria primaria, fuoriuscita da appositi fori, viene immessa nell'ambiente con una certa pressione. L'aria presente nell'ambiente viene dunque richiamata all'interno della trave per induzione e, passando attraverso la batteria di scambio termico dove è presente acqua fredda, viene raffrescata e successivamente diffusa. La presenza dell'acqua all'interno della batteria potrebbe far dubitare della sicurezza della trave in quanto a formazione di fenomeni di condensa; in realtà tale problema viene evitato grazie all'uso di aria deumidificata.

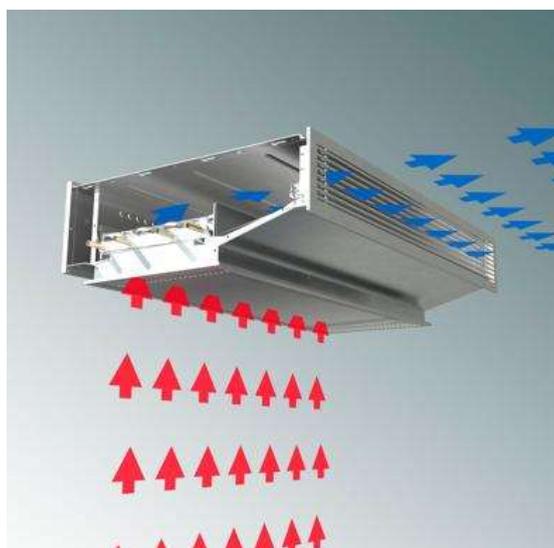


Figura 38. Funzionamento di una trave fredda attiva

L'impianto a travi fredde passive si basa invece sul principio della convezione: l'aria calda, più leggera, sale verso l'alto dove viene raffreddata e successivamente riscende negli ambienti. Entrambi i sistemi sono privi di rumori e a basso impatto, non a caso rientrano nella tipologia di sistemi definiti soft cooling. Tra le caratteristiche positive di questa tipologia d'impianto di raffrescamento va menzionata la sua capacità di non distribuire l'aria fredda a getti (come il tradizionale condizionatore) ma a pioggia. In questo modo la temperatura viene mantenuta costante e non vanno a crearsi delle fastidiose correnti fredde nocive per la salute. Oltre alla diffusione uniforme dell'aria vanno menzionati anche i bassi livelli sonori di funzionamento: diversamente dal condizionatore tradizionale il sistema a travi fredde non emette fastidiosi rumori. La manutenzione è ridotta a interventi minimi in quanto il ventilatore non è presente: è sufficiente tenere sotto controllo l'impianto svolgendo delle ispezioni periodiche. Grazie alle travi fredde i consumi energetici sono ridotti poiché i gruppi frigoriferi

(o le pompe di calore) lavorano con regimi di funzionamento favorevoli. Per esempio, in estate, l'acqua fredda raggiungerà i 15° e non i 7° soliti dei ventilconvettori: ciò implica migliori prestazioni dei gruppi frigoriferi. Visivamente questo sistema non ha eguali in quanto viene integrato perfettamente con le controsoffittature nei quali le travi fredde verranno inserite unitamente all'illuminazione. Inoltre, non è presente nessun ingombro: le travi fredde garantiscono continuità visiva sul soffitto o sui muri.

9. Efficientamento dei sistemi di illuminazione

di Agostinelli Sofia

La riqualificazione energetica di un edificio prevede, tra le varie attività, anche quella riferita alla riqualificazione dei sistemi illuminanti. L'illuminazione più efficiente in assoluto è la luce solare. Come linea guida principale si segnala quindi la necessità di sfruttare al massimo la luce naturale del giorno, gratuita e maggiormente gradita in termini di comfort. Oltre a ciò, l'obiettivo generale di un intervento di efficientamento dovrà essere quello di adattare l'illuminazione alle diverse esigenze, modificando in modo automatico lo scenario in base al variare delle situazioni al contorno, evitando sprechi inutili in termini energetici. Di seguito sono elencati, come i tecnici del settore edilizio ben sanno, alcuni criteri finalizzati ad aumentare la luminosità e diminuire i consumi dovuti alla luce artificiale e ugualmente riproducibili, se non diversamente specificato, in ciascuna della situazione oggetto di analisi (ambiente uso ufficio ovvero ad uso residenziale):

- pitturazione delle pareti dei locali con colori chiari;
- implementazione di una illuminazione soffusa in tutto l'ambiente (es. lampadario centrale) associata a fonti luminose puntuali e più intense nelle zone destinate ad attività precise come pranzare, leggere, studiare, lavorare al computer;
- installazione di lampadari centrali con una sola lampada e, ancora meglio, prevedere un interruttore doppio, per il comando di lampadari a due lampade, una di potenza inferiore e una di potenza maggiore (modularità della sorgente luminosa)³¹;
- negli ambienti ad uso residenziale è preferibile, nella zona pranzo l'installazione di un punto luce sospeso, concentrato sul tavolo mentre nelle zone cucina dovranno essere previste, oltre l'illuminazione generale, delle luci sotto i pensili, sui piani di lavoro e sul piano di cottura da utilizzare solo dove e quando servono;
- nei bagni sono sufficienti plafoniere o faretti a soffitto per l'illuminazione generale e appliques ad accensione separata, montati in corrispondenza del lavabo, ai lati dello specchio;
- per spazi comuni come corridoi, atri, scale e androni rappresentano una valida soluzione applique e plafoniere; considerato che in questi ambienti è raro che la luce rimanga accesa per molte ore, mentre sono frequenti le accensioni e gli spegnimenti, si consiglia l'impiego di interruttori a tempo, in grado di assicurare lo spegnimento automaticamente dopo un periodo prestabilito.

³¹ Una soluzione ideale per gli ambienti ad uso ufficio, e in tutti i luoghi di lavoro con videoterminali, consiste in *plafoniere a doppia lampada*, una dedicata all'illuminazione "puntuale" e una all'illuminazione "diffusa". L'emissione di luce puntuale sul piano di lavoro conferisce precisione del fascio luminoso lì dove occorre, mentre, l'emissione indiretta, riflessa sulle pareti interne dell'apparecchio eleva notevolmente il comfort ambientale grazie ad un risultato complessivo di luce morbida.

9.1 Strategie di intervento

Con riguardo all'ambito di intervento ed alla categoria degli edifici in oggetto, la principale azione da attuare al fine di diminuire il consumo energetico consiste nell'implementazione di sistemi di illuminazione a LED. Oggi giorno, infatti, l'impiego di tali sistemi, associati a sistemi di gestione e controllo capaci di modulare automaticamente i livelli di luce necessaria con abbinati sensori di presenza, che spengono automaticamente le luci negli ambienti non occupati, rappresenta un investimento con tempi di ritorno molto bassi e con un significativo e immediato risparmio energetico. In considerazione dei tempi e dei fondi disponibili potranno essere previste due differenti strategie di intervento, dipendenti anche dal tipo di programma di riqualificazione che si vuole adottare.

9.1.1 Relamping LED

Per "relamping LED" si intende semplicemente l'attività di sostituzione delle lampade con nuove del tipo LED³². Si tratta di un intervento di relamping Plug&Play, ossia di un intervento di ammodernamento che non comporta la sostituzione di tutto il corpo illuminante considerando che in mercato esistono oramai lampadine LED con tutti gli attacchi standard previsti: E14, E27, G23, serie GU e MR, ecc. L'intervento non prevede dunque interventi o modifiche all'impianto elettrico esistente, risultando rapido e semplice da attuare. Tuttavia, consente di ottenere, fin da subito, risparmi considerevoli sulla bolletta elettrica, dal 40% al 60%. Oltre a ciò, come meglio dettagliato in apposito paragrafo successivo, si deve considerare il risparmio sulla manutenzione legato alla maggior durata delle lampade LED rispetto a quelle tradizionali.

9.1.2 Rifacimento completo dell'impianto di illuminazione

Nei casi in cui siano previsti interventi di ristrutturazione edilizia, di restauro e di risanamento conservativo finalizzati alla riqualificazione energetica dell'involucro dell'edificio, ovvero nei casi in cui l'impianto elettrico non risulti conforme alla normativa vigente³³ o comunque risultasse vetusto e comprendente apparecchiature obsolete, si dovrà procedere senz'altro al rifacimento totale dell'impianto di illuminazione. In questa circostanza si ha l'opportunità di intervenire significativamente sul sistema, provvedendo non solo alla sostituzione dei corpi illuminanti con nuovi in tecnologia LED ma anche al rifacimento dei cablaggi, e all'installazione di sensori e dispositivi per l'ottimizzazione dell'illuminazione e di sistemi per il controllo dell'illuminazione (light management system). La stesura di nuovi cablaggi (elettrici e dati) dovrà essere effettuata in aderenza alle seguenti normative vigenti:

- Decreto 22 gennaio 2008, n. 37 del Ministero dello sviluppo economico³⁴;

³² LED - Light Emitting Diode

³³Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico n. 37/2008 - Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici.

³⁴ Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici.

- Norma CEI 64-8³⁵ “Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1.000 V in corrente alternata e a 1.500 V in corrente continua”;
- DPR 380/2001 – “Testo Unico Edilizia”³⁶;
- Norma CEI EN 50173 – “Cablaggio Strutturato”³⁷

In definitiva, questa tipologia di interventi, pur comportando oneri maggiori in termini di tempi e costi, consente il raggiungimento di livelli ottimali in termini di efficientamento energetico, oltre a indiscutibili vantaggi in termini di sicurezza e comfort ambientale.

9.2 Vantaggi della tecnologia LED

Indipendentemente dalla strategia adottata (relamping o rifacimento totale dell'impianto) la soluzione proposta per l'efficientamento energetico degli immobili in parola prevede, nell'ambito dei sistemi di illuminazione, l'implementazione di nuovi a tecnologia LED.

LED è l'acronimo di Light Emitting Diode (diodo ad emissione luminosa). Si tratta di un semiconduttore elettronico che percorso da corrente elettrica emette luce, ovvero viene sfruttata la proprietà di alcuni materiali semiconduttori di emettere fotoni in seguito alla ricombinazione elettroni/lacune. Nell'ambito dell'illuminotecnica i LED hanno avuto molto successo negli ultimi anni in quanto consentono il risparmio, a parità di luce emessa, fino all'80% di energia elettrica rispetto a una normale lampada a incandescenza (efficienza luminosa) e hanno un tempo di vita che può arrivare fino a 100.000 ore, contro le 1.000 di una comune lampadina ad incandescenza e le 10.000 di una lampada a fluorescenza.

Oltre a ciò gli apparecchi led, lampade o moduli, presentano i seguenti vantaggi:

- ampio spettro di luce (da tonalità “calda” a “fredda”);
- ottima resa cromatica;
- sono completamente privi di sostanze inquinanti come gli alogenuri metallici e i vapori di sodio, contenuti rispettivamente nelle lampade alogene e in quelle a scarica;
- producono zero emissioni di raggi ultravioletti e radiazioni infrarosse, dannose per i nostri occhi;
- sviluppano pochissimo calore rispetto alle comuni lampade a filamento (circa il 90% in meno) pertanto sono meno pericolose in caso di contatto diretto;
- sono resistenti agli urti e vibrazioni (l'assenza di filamento, ad esempio, elimina tutte le problematiche legate alla prematura “mortalità” delle sorgenti);

³⁵ A partire dal 1° novembre 2016 è in vigore la nuova Parte 8-1 della Norma base 64-8 “Impianti elettrici utilizzatori di bassa tensione fino a 1.000 V in corrente alternata e 1.500 V in corrente continua: Efficienza energetica degli impianti elettrici”. Sono descritte le raccomandazioni da applicare alla esecuzione di un progetto di impianto elettrico, sia per nuovi edifici che per la ristrutturazione e riqualificazione di quelli esistenti, con particolare riguardo all'efficienza energetica allo scopo di ottenere il miglior livello di qualità del servizio con il minor consumo di energia possibile.

³⁶ Con l'entrata in vigore dell'art. 135 bis del “Testo Unico Edilizia” DPR 380/2001, introdotto dallo *Sblocca Italia* nel 2014, è obbligatorio, a partire dal 1° luglio 2015, l'introduzione di una infrastruttura informatica (LAN) composta dal cablaggio strutturato per tutte le nuove abitazioni e ristrutturazioni profonde.

³⁷ Con riferimento al nostro studio sono state pubblicate, nel mese di settembre 2018, le ultime nuove Norme della serie CEI EN 50173 sui sistemi di cablaggio strutturato per la tecnologia dell'informazione: (306-6) “Tecnologia dell'informazione, Sistemi di cablaggio strutturato, Parte 1: Requisiti generali”; (306-13) “Tecnologia dell'informazione, Sistemi di cablaggio strutturato, Parte 2: Locali per ufficio”; (306-15) “Tecnologia dell'informazione, Sistemi di cablaggio strutturato, Parte 4: Abitazioni”; (306-23) Tecnologia dell'informazione, Sistemi di cablaggio strutturato, Parte 6: Servizi distribuiti agli edifici”.

- accensione istantanea, ossia 100 % del flusso luminoso al momento stesso, senza tempi di riscaldamento o raffreddamento dell'apparecchio;
- dimming digitale preciso e senza alterazioni di tonalità.

Di seguito sono riportati alcuni parametri caratteristici delle lampade.

- **Potenza** [espressa in Watt (W)]: quantità di energia elettrica assorbita dalla lampada nell'unità di tempo.
- **Flusso luminoso** [espresso in Lumen (lm)]: quantità di energia luminosa emessa dalla lampada nell'unità di tempo.
- **Illuminamento** [espresso in Lux (lx)]: quantità di flusso luminoso che colpisce una unità di superficie. (1 Lumen su un'area di 1 m² corrisponde a 1 Lux).
- **Intensità luminosa** [espressa in Candele (cd)]: intensità della luce irradiata da una lampada in una determinata direzione.
- **Durata** [espressa in ore (h)]: numero di ore di funzionamento dopo il quale, in un determinato lotto di lampade e in ben definite condizioni di prova, il 50% delle lampade cessa di funzionare.
- **Temperatura di colore** [espressa in gradi Kelvin (K)]: indica la tonalità della luce emessa da una lampada. (calda, neutra e fredda).

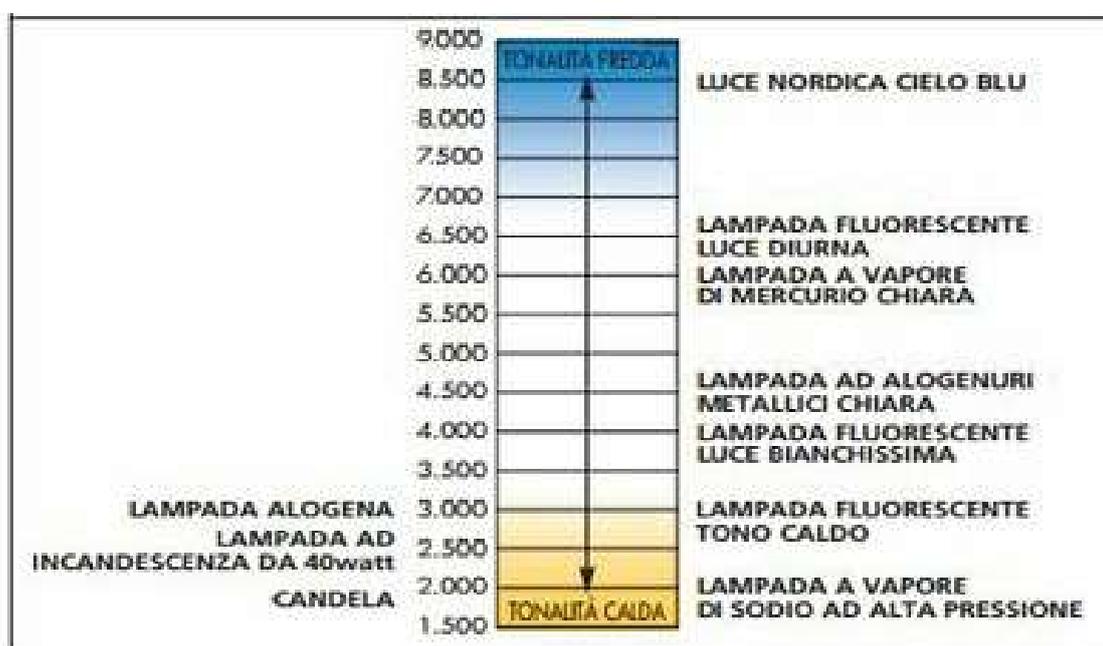


Figura 39. Scala delle temperature di colore (K) [Fonte – <http://www.energiaenergetica.enea.it>]

La scelta del valore ottimale dei parametri sopra citati dovrà essere effettuata in base alla tipologia di impiego della sorgente luminosa ovvero in dipendenza alla categoria di locale in cui l'apparecchio illuminante è installato, alla sua destinazione d'uso, ecc. Pertanto, indicare dei valori di riferimento nell'ambito delle presenti linee guida sarebbe inopportuno, anzi potrebbe condurre verso soluzioni non ottimali da un punto di vista dell'efficiamento energetico. Altresì, un parametro tipico delle lampade led che merita particolare attenzione

e indicazioni precise al fine di assicurare una resa energetica ottimale è l'efficienza luminosa (lm/W). Essa indica la quantità di energia elettrica assorbita e trasformata in luce ovvero rappresenta il rapporto tra il flusso luminoso emesso dalla lampada (espresso in Lumen) e la potenza elettrica che l'alimenta (espressa in Watt).

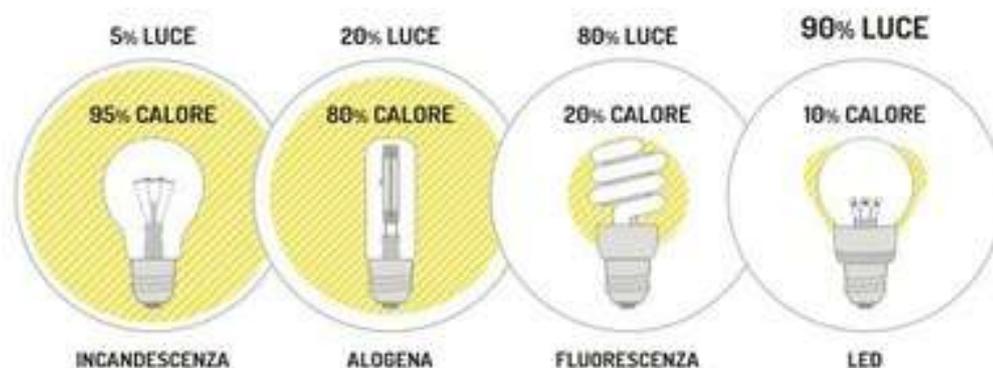


Figura 40. Confronto tra il rendimento delle diverse tipologie di lampade [Fonte – <http://www.fficienzaenergetica.enea.it>]

L'efficienza luminosa (lm/W) è un parametro molto importante ai fini della scelta della sorgente luminosa più adatta a risparmiare energia e la tecnologia LED offre, oggi, prodotti professionali evoluti che arrivano a circa 170 lumen/watt. Per le applicazioni residenziali e civili in generale, quali sono le strutture oggetto di analisi, implementare prodotti con un'efficienza luminosa pari a 100÷120 lumen/watt significa senza dubbio avere a disposizione lampade particolarmente efficienti dal punto di vista del risparmio energetico. Oltretutto, producendo molto meno calore rispetto alle lampade convenzionali, una lampada LED offre, indirettamente, un altro indubbio vantaggio: un inferiore apporto termico che si traduce in una esigenza ridotta di smaltimento del calore e raffrescamento dei locali ovvero un minor impiego di sistemi HVAC³⁸.

9.3 Individuazione dei sistemi applicabili agli edifici residenziali e della Pubblica Amministrazione

Come già enunciato l'analisi del patrimonio immobiliare della regione Lazio ha condotto all'individuazione di due macrocategorie di ambienti: edifici residenziali e edifici non residenziali ad uso "ufficio". L'implementazione della tecnologia led nell'ambito degli interventi di riqualificazione degli immobili della regione Lazio consente di sfruttare una importante caratteristica di questa tecnologia: grande capacità e semplicità nella gestione. Infatti, i led offrono la possibilità di creare con semplicità una luce "dinamica" che può essere gestita a seconda delle circostanze e in base a come variano le condizioni a contorno. Le soluzioni di controllo dell'illuminazione rappresentano un fattore significativo dal punto di vista del risparmio energetico, rispondendo parallelamente anche ai bisogni di comfort e benessere, nonché alle necessità di riduzione i costi associati alla manutenzione e gestione

³⁸ HVAC - Heating, Ventilation and Air Conditioning, ovvero "riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria".

dei sistemi di illuminazione. Premettendo che dovranno essere in ogni caso garantiti i livelli di illuminamento e i requisiti minimi di comfort visivo indicati nella norma UNI EN 12464-1:2011³⁹, gli interventi da prevedere riguardano:

Installazione di sensori stand alone (ambito preferenziale “edifici residenziali”)

- ***Rilevatore di movimento per locali interni:*** questo componente, con tecnologia PIR (Passive Infrared), assicura che la luce si accenda automaticamente ogni volta che viene rilevato un movimento. Il sensore agisce in base alla variazione dell'irradiazione di calore nell'ambiente, all'interno dei propri range spaziali di rilevamento. Dovrà essere prevista l'installazione, negli spazi comuni ovvero nelle aree di passaggio (es. corridoi, androni, scale), di componenti adattabili in scatola 503, con range di rilevamento pari almeno a 110° e profondità minima di 7 metri. Il sensore dovrà essere dotato delle seguenti funzioni: regolazione della soglia di intervento in base al livello di illuminamento nel locale; regolazione del tempo di ritardo allo spegnimento. L'installazione deve essere effettuata in modo che non siano presenti fonti di disturbo, come ad esempio oggetti che limitino la visibilità del sensore, la presenza di sistemi di riscaldamento o ventilazione che possano generare variazioni di temperatura, oppure la presenza di altri mezzi di illuminazione che possano interferire con la rilevazione del dispositivo. Per una sensibilità migliore e una rilevazione di movimento più efficace esistono in commercio prodotti di tipo “ibrido” che associano la tecnologia ad infrarosso (PIR) con quella ad ultrasuoni. In applicazioni che non prevedono il rifacimento dell'impianto (relamping) è possibile utilizzare delle particolari lampade LED, con ogni tipologia di attacco standard, dotate di sensore di movimento integrato ossia un sistema con sensori elettronici che misurano i raggi infrarossi in un dato campo di vista e consentono il rilevamento di movimento meglio nota come tecnologia PIR (Passive InfraRed).
- ***Rilevatore di presenza per locali interni con controllo del livello di illuminamento:*** per rilevatore di presenza si intende un dispositivo che possiede le stesse funzioni di un sensore di movimento ma dotato di una sensibilità molto più elevata⁴⁰, e, di conseguenza, in grado di rilevare anche piccolissimi movimenti (micromovimenti). Ideali per tale applicazione sono i sensori a doppia tecnologia che uniscono all'infrarosso passivo la tecnologia ad ultrasuoni (US). Sfruttando la tecnologia ad ultrasuoni il sensore emette onde sonore che colpiscono gli oggetti nello spazio in cui operano, misurando il tempo necessario all'onda per rientrare. Quando c'è un movimento all'interno di tale spazio, le onde sonore rientrano con differenti lunghezze d'onda ed i sensori possono così rilevare la presenza persone ed attivare, se necessario, l'accensione del carico (lampade LED). Tale tecnologia è ideale in ambienti con presenza di ostacoli o laddove

³⁹ La norma indicata è la versione ufficiale italiana della norma europea EN 12464-1 (edizione giugno 2011). Essa specifica i requisiti di illuminazione per persone, in posti di lavoro in interni, che corrispondono alle esigenze di comfort visivo e di prestazione visiva di persone aventi normale capacità oftalmica (visiva). Sono considerati tutti i compiti visivi abituali, inclusi quelli che comportano l'utilizzo di attrezzature munite di videoterminali. In questa norma sono indicate anche i requisiti di illuminazione riguardanti le zone di passaggio come atri, scale, corridoio e simili.

⁴⁰ Per esempio, un sensore di movimento si accorgerebbe di una persona che cammina, ma non di una persona che muove le dita per digitare i tasti di una tastiera del computer in un ufficio, mentre il *rilevatore di presenza* riesce a fare anche questo, garantendo così una rilevazione molto più accurata e veritiera sulla presenza o assenza di persone in una stanza.

il livello di attività delle persone risulti estremamente ridotto. Sfruttando la combinazione delle due tecniche (PIR e US) si ottiene un dispositivo flessibile e con una sensibilità accurata. Potrà essere prevista l'installazione di tale componente nella zona "giorno" delle abitazioni (cucina, living, sala da pranzo) anche se, ancor più appropriato, è l'impiego presso gli uffici, sale riunioni e multimediali, ovvero in ambienti con poca attività da parte degli occupanti. Il dispositivo, predisposto per installazione a soffitto, dovrà avere, come riportato in epigrafe, anche la funzione di "controllo del livello di illuminamento", ovvero la capacità di regolare e mantenere automaticamente un livello di luminosità costante, oltreché in base al movimento rilevato, anche in base al livello di luce diurna, attraverso una compensazione dinamica della quantità di luce artificiale.

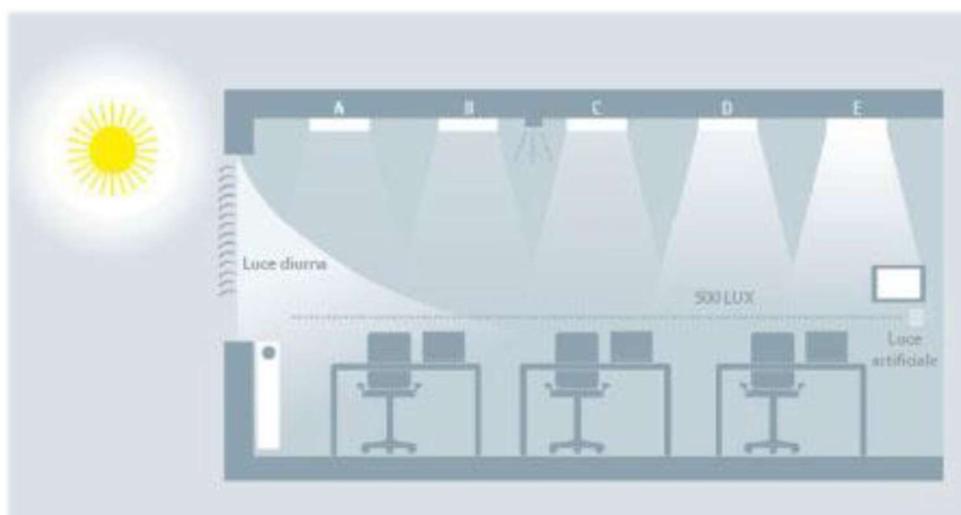


Figura 41. Controllo del livello di illuminamento in base alla luce diurna

Il dispositivo dovrà comunque essere dotato di "Pulsante esterno ON/OFF" per forzare lo stato di accensione e soddisfare eventuali specifiche esigenze di luminosità all'interno della stanza. Il sensore dovrà essere dotato anche delle seguenti funzioni: regolazione della soglia di intervento in base al livello di illuminamento nel locale; regolazione del tempo di ritardo allo spegnimento; gestione da dispositivo smartphone (Android o iOS) tramite connessione Bluetooth.

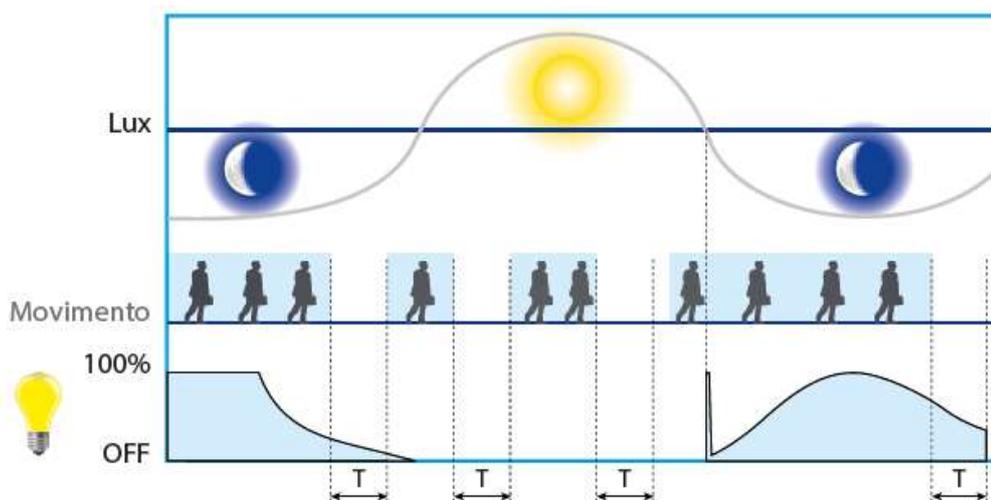


Figura 42. Associazione della funzione di rilevamento presenza con la funzione controllo

L'installazione deve essere effettuata in modo che non siano presenti fonti di disturbo, come ad esempio oggetti che limitino la visibilità del sensore, la presenza di sistemi di riscaldamento o ventilazione che possano generare variazioni di temperatura, oppure la presenza di altri mezzi di illuminazione che possano interferire con la rilevazione del dispositivo.

- **Regolatore di luminosità (dimmer):** si tratta di un dispositivo per la regolazione della luce⁴¹ che, grazie ad un circuito elettronico, è in grado di variare la tensione di alimentazione dell'apparecchio LED adibito all'illuminazione. In tal modo è possibile regolare l'intensità della sorgente luminosa a seconda della tipologia di attività lavorativa che si sta svolgendo e delle situazioni ambientali a contorno, aumentando il comfort e riducendo gli sprechi in termini energetici. Dovrà essere prevista l'installazione di tale componente negli ambienti giorno e nelle camere da letto delle unità residenziali; in tale contesto è preferibile impiegare, come già detto, dei dispositivi stand-alone e, pertanto, si consiglia l'impiego di dimmer installabili in scatola 503. Altresì, nelle sedi non residenziali della regione, negli uffici, sale riunioni, aule didattiche dovrà essere prevista

⁴¹ Noti anche con il termine *dimmer* (termine inglese che deriva da "to dim", "abbassare"), tali dispositivi, nei primi anni in cui furono commercializzati, facevano il loro lavoro con l'aggiunta di una resistenza al circuito. Il che significava trasformare l'energia in calore piuttosto che in luce. Questo, però, non riduceva la quantità di energia utilizzata bensì modificava soltanto la quantità di energia che veniva trasformata in luce. Oltretutto il calore in eccesso prodotto dalla resistenza poteva risultare molto pericoloso. Oggi i dimmer, o "varialuce", sfruttano un circuito elettronico di comando che svolge la stessa funzione ma non consumi irrisori di energia. Gli attuali dimmer possono regolare la luminosità di un led dallo 0% al 100%. Per i LED la tecnica utilizzata è quella denominata PWM (Pulse-Width Modulation, o PWM). La modulazione della larghezza di impulso funziona "accendendo" e "spegnendo" la tensione ai capi della lampada ad una velocità variabile. Aumentando o diminuendo tale velocità, si modifica la quantità di luce emessa e quindi si "dimmera" il led. Tale tecnica è energeticamente efficiente perché, a differenza di quella resistiva impiegata, ad esempio, per le comuni lampade ad incandescenza, più il led è dimmerato e minore potenza viene assorbita dalla rete. In un circuito PWM, infatti, il transistor in un istante conduce completamente, oppure non conduce, ed in entrambi i casi la potenza assorbita risulta minima, a differenza di quanto avviene nei normali limitatori. Il problema con il dimmeraggio PWM è che più si "dimmera" una lampada led e maggiore è il numero di accensioni e spegnimenti, e quindi si può arrivare in un range di frequenze che è visto dall'occhio umano come un tremolio della luce. Tale tremolio, comunque si genera solo quando la luce è regolata sotto il 10% del suo valore normale, cioè nominale. Esistono principalmente due metodi di regolazione del carico lampada: 1) taglio di fase ascendente (*Leading Edge*): in cui il dimmer parzializza la parte iniziale della semionda (metodo adatto principalmente alla regolazione di trasformatori elettromeccanici per lampade LED a 230 V); 2) taglio di fase discendente (*Trailing Edge*) in cui il dimmer parzializza la parte finale della semionda (metodo più adatto alla regolazione di trasformatori elettronici per lampade LED a bassa tensione).

l'installazione di dispositivi per la regolazione della luce in affiancamento ad un sistema di Light Management. In generale, il prodotto dovrà essere compatibile con lampade a LED che consentono il collegamento ad un dispositivo luminoso provvisto di regolatore di luminosità (lampade a LED dimmerabili) e, al fine di aumentarne la flessibilità d'impiego, programmabile e gestibile, tramite apposita applicazione, da un qualsiasi dispositivo smartphone (Android o iOS) con connessione Bluetooth.

Tutti i dispositivi fin qui indicati dovranno essere conformi alla norma CEI EN 60669-2-5 (CEI 23-134) dal titolo "Apparecchi di comando non automatici per installazione elettrica fissa per uso domestico e similare – Parte 2-5: Prescrizioni particolari – Interruttori ed accessori per uso in sistemi elettronici per la casa e l'edificio (HBES – Home and Building Electronic Systems)"⁴².

Installazione di un sistema di automazione e controllo dei sistemi di illuminazione (edifici settore terziario – "uffici") con standard KNX⁴³

Vantaggi ulteriori in termini di risparmio energetico potranno essere ottenuti mediante l'installazione di tecnologie di gestione e controllo automatico degli apparecchi di illuminazione, dei relativi sensori e dell'impianto in generale. Si rammenta infatti che, come riportato nel D.M. del 11 ottobre 2017 del "Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare"⁴⁴, le attività di installazione di sistemi di monitoraggio interconnessi a sistemi per l'automazione e il controllo di impianti termici, elettrici e tecnologici degli edifici ai fini del miglioramento dell'efficienza energetica nel riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e condizionamento, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione, controllo delle schermature solari, rappresentano, una specifica tecnica premiante. Pertanto, ai fini dell'efficientamento degli involucri edilizi in esame, si ritiene opportuno dover prevedere l'installazione di sistemi "intelligenti" per la gestione dell'illuminazione. Tuttavia, si ritiene opportuno sottolineare che gli edifici del settore terziario (uffici, scuole, alberghi, edifici polifunzionali) sono le strutture in cui l'impianto di illuminazione artificiale rappresenta una delle cause di maggior consumo energetico. Di conseguenza, è questo il contesto in cui la possibilità di automatizzare alcune "procedure ripetitive" è fondamentale per migliorare le prestazioni complessive della struttura e dove possono essere maggiormente apprezzati i vantaggi connessi all'introduzione di un sistema per la gestione efficiente dell'illuminazione.

⁴² La Norma supera completamente la Norma CEI EN 50428:2009-01 che rimane comunque applicabile fino al 31-08-2020. I suoi contenuti si applicano agli apparecchi di comando (interruttori) non automatici e relativi accessori per uso in sistemi elettronici per la casa e l'edificio (HBES), con tensione di funzionamento non superiore a 250 V in corrente alternata, e corrente nominale non superiore a 16 A, destinati alle installazioni negli impianti elettrici fissi, sia per interno che per esterno, ed alle installazioni nelle unità elettroniche periferiche associate.

⁴³ KNX – Konnex. È il primo sistema standardizzato a livello globale per l'automazione degli edifici residenziali e non residenziali, conforme alle norme internazionali (ISO/IEC 14543-3), alle norme europee (CENELEC EN 50090, CEN EN 13321-1 e 13321-2), alle norme cinesi (GB/Z 20965) e alle norme statunitensi (ANSI/ASHRAE 135). Nell'ambito dell'HBES un sistema a standard KNX può essere utilizzato in tutte le possibili applicazioni e funzioni per il controllo delle abitazioni e degli edifici: illuminazione, controllo serrande, allarmi e video sorveglianza, monitoraggio riscaldamento, aerazione e aria condizionata, controllo idrico, ottimizzazione energetica, gestione contatori energia elettrica ed elettrodomestici, impianti audio e video.

⁴⁴ Criteri Ambientali Minimi (CAM) per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici.

Alcune statistiche in materia, riferite ai diversi settori economici, hanno dimostrato che il contributo dell'illuminazione artificiale sui consumi totali di un fabbricato è maggiormente incidente nel "terziario", risultando pari a circa il 24% dei consumi complessivi.

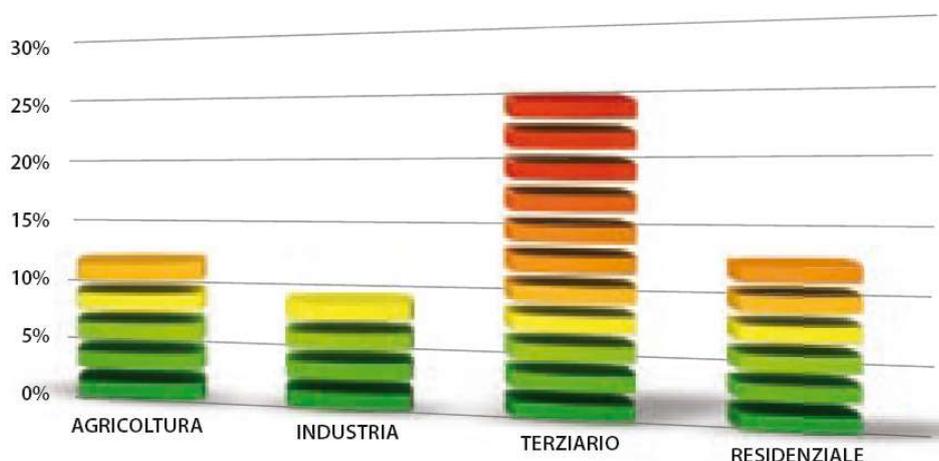


Figura 43. Consumi energetici relativi all'illuminazione [Fonte: <https://www.bticino.it/>]

Oltre a ciò, l'utente medio delle strutture residenziali non dispone, di solito, delle capacità tecniche e soprattutto del tempo necessario per una completa conoscenza dei sistemi di Building Automation. Anche gli eventuali interventi manutentivi al sistema non sarebbero facilmente gestibili, a differenza di un edificio destinato ad "uffici" ovvero non-residenziale, dove è normalmente prevista una struttura interna dedicata ai servizi di facilities management. Limitando al solo relamping gli interventi in ambito residenziale, a meno di specifiche situazioni (ad esempio androni, scale zone comuni etc dove potrebbe essere opportunamente valutato l'uso di sistemi semplici), nell'ambito della riqualificazione energetica del patrimonio immobiliare della regione, si ritiene opportuno applicare gli interventi di Light Management ai soli edifici adibiti ad uso non-residenziale.

Caratteristiche di un sistema di domotica basato su tecnologia BUS

Le esigenze del mercato attuale richiedono, come anticipato, la necessità di combinare, all'interno di un impianto, diversi tipi di funzioni di controllo di un edificio, come: illuminazione, tapparelle/veneziane, HVAC, dispositivi meteo, gestione energetica, sistemi audio/video, elettrodomestici, controllo accessi, rilevazione fumo/incendio, sensori fisici (es. allagamento), ecc. L'inizio di questo percorso si è avuto con l'avvento, agli inizi degli anni '90, dei sistemi a bus ovvero quando attuatori e sensori, ciascuno dotato di un microchip interno, sono stati collegati tra di loro con un cavo bus. Il successo di questa nuova tecnologia è stato determinato dalla possibilità di controllare tutto ciò che è elettrico, in un edificio, attraverso un metodo di configurazione flessibile e facile. La riprogrammazione al posto di un ulteriore cablaggio convenzionale ha aperto una nuova dimensione per la gestione degli impianti elettrici di abitazioni private ma, soprattutto, negli edifici del settore terziario, permettendo di aggiungere, modificare, cambiare, riparare, qualsiasi funzione in ogni locale/ambiente con un semplice "clic del mouse". Un sistema Bus si basa sul concetto dell'ICT (Information Communication Technology) ovvero sulla trasmissione, ricezione ed elaborazione di dati e informazioni. Un sistema Bus si basa su tre aspetti chiave:

- sostituire tutti gli interruttori convenzionali (a prescindere dal tipo) con pulsanti in grado di comunicare o di connettere pulsanti o interruttori convenzionali ad interfacce in grado di comunicare tra loro;
- aggiungere a tutti i carichi elettrici (nel nostro caso lampade LED ma anche un qualsiasi altro utilizzatore) una interfaccia in grado di comunicare o controllare i carichi indirettamente tramite attuatori in grado di comunicare tra loro;
- collegare tutti i dispositivi in grado di comunicare tramite un cavo dedicato a bassa tensione di sicurezza.

Un dispositivo connesso al bus, in grado di comunicare con gli altri dispositivi, è chiamato dispositivo bus, il quale è composto da:

- microcontrollore (μC);
- modulo trasmissivo;
- modulo applicativo.

L'insieme microcontrollore e modulo trasmissivo è chiamato "unità di accesso al bus" (in inglese BAU = Bus Access Unit).

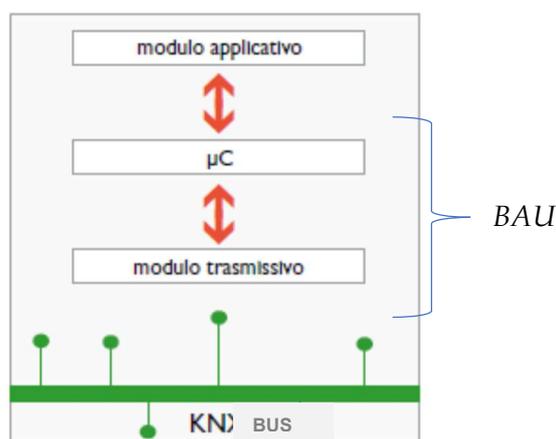


Figura 44. Dispositivo BUS

I dispositivi bus si suddividono in due famiglie:

- **sensori**: dispositivi che inviano una informazione al sistema bus (es. "temperatura richiesta soggiorno = 22.5°C", "chiusura contatto accensione lampada", ecc.) – i moduli applicativi dei sensori tipicamente convertono un segnale analogico o una azione da parte dell'utente (temperatura, operazione di comando da un pulsante per accensione lampada, rilevatore pioggia, ecc.) in un segnale digitale inviato nel bus;
- **attuatori**: connettono i carichi elettrici convenzionali col sistema bus (es. una lampada connessa a un attuatore per l'illuminazione, una valvola di un sistema di condizionamento, ecc.).

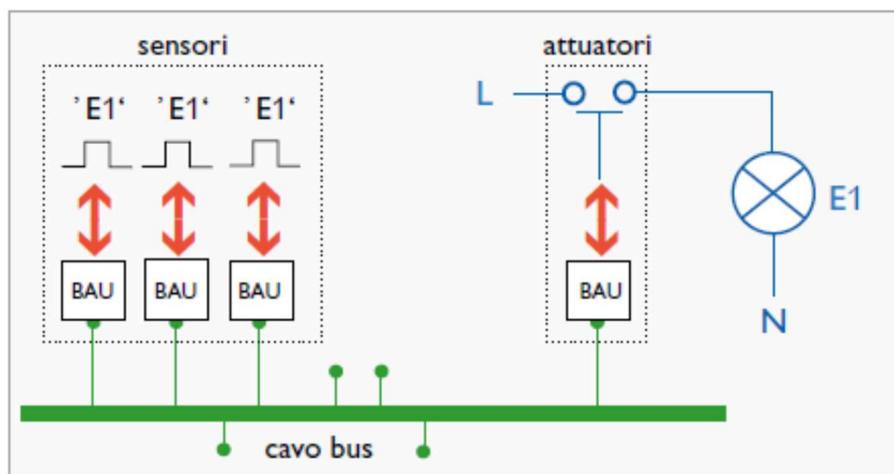


Figura 45. Funzionalità distribuita in un sistema BUS (distribuzione di sensori e attuatori)

Il modo con il quale sensori e attuatori comunicano tra di loro in un sistema bus è basato sullo scambio di messaggi.

Nel caso sopra riportato un messaggio viene inviato contenendo, tra gli altri, i seguenti dati: un "ID Funzione" = E1 e un "Valore Funzione" (in questo esempio "valore = 0" commutazione off oppure "valore = 1" commutazione on). Tutti i sensori e attuatori connessi al bus riceveranno questo telegramma e lo processeranno; i sensori (comandi) semplicemente ignoreranno questa informazione mentre gli attuatori, aventi analogo "ID Funzione = E1", riceveranno il dato e, di conseguenza, commuteranno dallo stato off allo stato on (o viceversa). Questo è il principio di funzionamento del sistema in parola che differenzia enormemente gli impianti a tecnologia bus da quelli convenzionali. Infatti, nelle installazioni tradizionali gli elementi operativi e i carichi elettrici sono direttamente e fisicamente connessi gli uni agli altri tramite cablaggi; mentre con una rete bus, invece, gli elementi operativi e i carichi elettrici sono indirettamente e virtualmente collegati tra i loro, scambiando messaggi attraverso i rispettivi microcontrollori. Da questa sostanziale differenza derivano tutti i vantaggi della tecnologia bus:

- facilità nell'aggiungere o rimuovere fisicamente o sostituire i dispositivi;
- facilità nel modificare la funzionalità dei dispositivi;
- semplicità nel creare scenari complessi, nel modificarli e ampliarli;
- cablaggio in bassa tensione, quindi maggior sicurezza per i lavoratori – si evidenzia che eventuali modifiche alla struttura dell'edificio (es. dopo un lavoro di demolizione, ristrutturazione) comportano modifiche solo ai sensori, ai comandi e al cablaggio a bassa tensione, poiché gli attuatori sono solitamente installati non ad incasso ma nei quadri di distribuzione elettrica.

Tutti i pregi sopra indicati comportano, ovviamente, risparmi in termini di tempi e costi. Infatti, dato che le attività di modifica del cablaggio possono essere fatte in brevissimo tempo si riducono i costi associati al personale tecnico. Oltretutto i costi di acquisto dei cavi sono inferiori, poiché essendo cavi a sezione ridotta (bassa tensione) la quantità di rame necessaria è inferiore. Tale aspetto diventa ancor più rilevante se consideriamo interi edifici,

come nel nostro caso studio, ovvero i grandi impianti dei palazzi destinati agli uffici della pubblica amministrazione e del settore terziario in generale.

Applicazione nel contesto di riferimento

L'intervento dovrà prevedere l'implementazione di un sistema di gestione centralizzato per il controllo e coordinamento automatizzato dei punti luce, dei sensori (presenza, movimento, luce diurna) dei dimmer/attuatori, e di tutti gli altri componenti dell'impianto di illuminazione. I componenti periferici saranno connessi in tecnologia BUS⁴⁵, ovvero tramite collegamento fisico con doppino intrecciato che trasferisce sia i segnali che l'alimentazione ai dispositivi (attuatori o sensori). Il sistema dovrà essere gestito tramite opportuna piattaforma software (ETS⁴⁶), installabile in uno o più personale computer della rete dati stessa, oppure tramite applicativo per smartphone (Android o iOS).

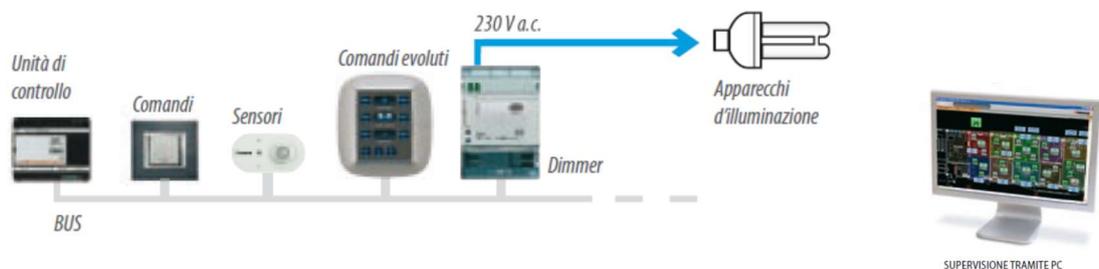


Figura 46. Schema tipo di un sistema BUS per la gestione dell'illuminazione

Il sistema deve essere modulare ed espandibile in modo da poter integrare, in futuro, altri dispositivi/sensori di locali nuovi dell'edificio inizialmente non previsti, senza alcun problema di interoperabilità.

Inoltre, esso dovrà consentire l'interfacciamento con apparecchiature tradizionali quali interruttori, pulsanti, ecc., allargando l'impiego del bus a porzioni già esistenti dell'impianto che non si intende rinnovare/ammodernare. Il sistema, anche attraverso opportuni gateway di interfaccia, deve poter integrare ed essere interoperabile con dispositivi appartenenti ad un sottoinsieme DALI⁴⁷ (Digital Addressable Lighting Interface). In tal modo sarà possibile inviare comandi di commutazione o comandi di regolazione, ma anche ricevere informazioni di stato e di funzionamento sulle lampade o altri segnali di errore provenienti dal bus DALI. In definitiva, la soluzione proposta prevede il sistema a bus con standard HBES di tipo "KNX" come backbone impiantistico, dove convergono tutti gli impianti tecnologici dell'edificio, tra

⁴⁵ La tecnologia adottata (vds. ad esempio lo standard KNX) deve, in *alternativa* o in *combinazione*, supportare anche le seguenti ulteriori tipologie di collegamenti tra i vari dispositivi, tipicamente adottate nell'ambito della *Building Automation*: rete dati IP (usata di norma, nelle grandi installazioni, come dorsale veloce e affidabile tra i diversi segmenti periferici basati sul doppino), onde convogliate o Powerline (si sfrutta la rete elettrica esistente per veicolare i segnali dati tra i vari dispositivi) oppure trasmissione via etere con segnale a Radio-frequenza (RF - wireless) usata laddove non sia possibile stendere un cablaggio fisico nell'edificio.

⁴⁶ ETS Engineering Tool Software

⁴⁷ DALI è uno standard di interfaccia digitale per sistemi elettronici di gestione dell'illuminazione d'interni creato dai principali produttori di reattori elettronici (Tridonic, Philips, Osram, Helvar). Esso descrive un protocollo di comunicazione con gli alimentatori elettronici e, essendo uno standard non proprietario, garantisce l'intercambiabilità tra gli alimentatori elettronici "dali" di diversi produttori. Le caratteristiche di questo standard sono inserite come appendice E4 nella norma europea EN 60929.

cui gli eventuali canali DALI. Questa integrazione consente di poter avere un'unica supervisione in grado di gestire il sistema e tutte le sue sotto-aree, garantendo vantaggi oltretutto dal un punto di vista dell'efficiamento energetico, anche dal punto di vista manutentivo. Sarà possibile, infatti, raccogliere informazioni di stato e dati circa eventuali problemi sull'impianto, inviando, contestualmente, una mail o un messaggio push al manutentore, che può provvedere, ad esempio, alla sostituzione di un corpo illuminante difettoso. Il sistema in oggetto dovrà avere le seguenti ulteriori caratteristiche:

- capacità di sfruttare nel migliore dei modi la luce solare, adattando l'illuminazione artificiale ai mutamenti delle condizioni atmosferiche, alle ore del giorno e alle stagioni, evitando consumi di energia inutili⁴⁸. Un'applicazione utile a tal fine prevede sensori Look Out. Questi, pur montati all'interno dei locali, rilevano la luce che entra direttamente dalle finestre e quindi non sono influenzati da riflessioni di vari tipi. Al contrario, un sensore convenzionale "luce diurna" per impianti è di solito del tipo Look Down. Questa tipologia però causa spesso problemi: infatti il sensore puntato verso il basso rileva superfici e luminanze differenti che facilmente alterano i risultati. Basti pensare alla luce diretta proveniente da una piantana, oppure ai riflessi di una superficie lucida come un infisso di metallo, che ingannano il sistema di regolazione.

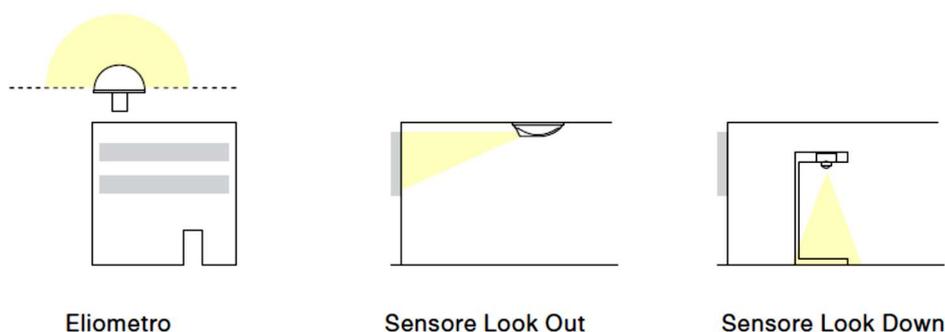


Figura 47. Dispositivi per controllo illuminazione

Un valore aggiunto si ottiene associando il sensore luce diurna di tipo "Look Out" ad un eliometro, ovvero un fotosensore in grado di misurare le condizioni di luce in real time a tutto tondo e che dovrà essere montato sul tetto dell'edificio. L'eliometro rileva anche la posizione del sole, le componenti di luce diretta e quelle di luce diffusa. Associando tali informazioni con i dati riferiti alla posizione geografica e alla disposizione di ogni ufficio/ambiente si ricavano, grazie anche alla rilevazione del sensore "look out", le esatte condizioni di luce in ogni singolo locale. Di conseguenza il sistema che legge tutti i dati sarà in grado di pilotare gli apparecchi illuminanti e offrire il livello di illuminamento richiesto.

⁴⁸ Anche in abbinamento alla gestione centralizzata di elementi schermanti e serrande.

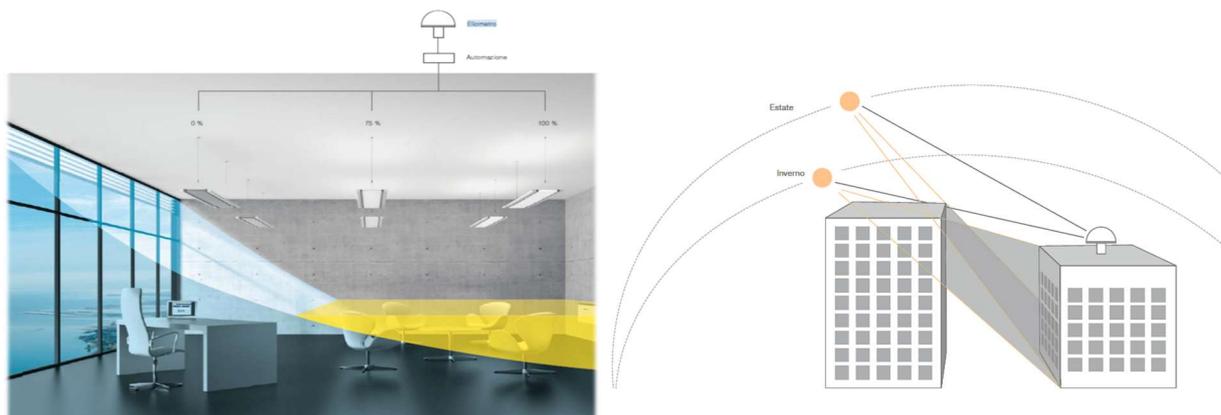


Figura 48. Controllo del livello di illuminamento attraverso sensori look-out ed eliometro integrato nel sistema di gestione

- capacità di adattare l'illuminazione alle capacità visive individuali delle persone ed alle specifiche attività svolte (es. meeting, conferenze, attività didattiche, ecc.) – “non devo avere più luce di quanto ne serva per una specifica funzione”;
- capacità di monitorare gli usi e le abitudini, memorizzare i valori abitualmente utilizzati e replicarli quando si verificano le stesse situazioni a contorno;
- funzione di programmazione dei livelli di illuminazione e di differenti scene legate a diversi orari/eventi (es. programmare il set di apparecchi illuminanti che devono rimanere attivi dopo la chiusura degli uffici) ovvero variare i setpoint di luminosità in base alle reali esigenze (es. in determinati ambienti è necessario avere 500 lux negli orari di lavoro e 200 lux per le pulizie mattutine o serali);
- funzione di diagnostica con individuazione delle situazioni di elevato consumo e di eventuale inefficienza dei dispositivi collegati;
- funzione di monitoraggio e report, con rappresentazione in tempo reale o storica, dei consumi effettuati e ovvero dei risparmi ottenuti in termini di LENI⁴⁹;
- conformità alla UNI 11733:2019 “Luce e illuminazione – Specifiche per un formato di interscambio dati fotometrici e spettrometrici e di consumo energetico degli apparecchi di illuminazione e delle lampade”⁵⁰.

L'intervento in parola dovrà essere in ogni caso eseguito in aderenza ai contenuti della norma UNI EN 15232-1:2017 “Prestazione energetica degli edifici – Parte 1: Impatto dell'automazione, del controllo e della gestione tecnica degli edifici”⁵¹.

⁴⁹ Nell'ambito della certificazione energetica prevista dalla direttiva europea sull'efficienza degli edifici, l'indicatore che ci permette di avere contezza dei consumi riguardanti l'illuminazione è il LENI (*Lighting Energy Numeric Indicator*). Tale indicatore è calcolato in conformità alle normative EN 15193-1:2017 (Valutazione energetica di edifici – Requisiti energetici dell'illuminazione) e specifica il consumo energetico reale di un impianto illuminotecnico, espresso in kWh per metro quadrato ed anno.

⁵⁰ La norma specifica il contenuto e il formato di interscambio, in linguaggio XML, per il trasferimento di dati fotometrici, colorimetrici, spettrometrici e di *consumo energetico* degli apparecchi di illuminazione, delle lampade e dei moduli LED. Il formato di interscambio può contenere anche i dati richiesti dai Criteri ambientali Minimi (DM 27/09/2017).

⁵¹ La norma UNI 15232-1:2017 specifica: 1) una lista strutturata delle funzioni di controllo, automazione e gestione tecnica degli edifici che contribuiscono alla prestazione energetica degli stessi (le funzioni sono classificate e strutturate in base alla regolamentazione per l'edilizia e così denominate *Building Automation and Control (BAC)*; 2) un metodo per definire i requisiti minimi o ogni altra specifica riguardante le funzioni di controllo, automazione e gestione tecnica degli edifici che contribuiscono all'efficienza energetica di un edificio, implementabili in edifici di diversa complessità; 3) un metodo

9.4 Indicazioni per l'efficiamento dei sistemi di illuminazione

In conclusione, come rappresentato graficamente nella figura sottostante, l'integrazione di corpi illuminanti a led, dei vari componenti/sensori e di un sistema di light management consente un risparmio notevole in termini di energetici, con riduzioni sui consumi, secondo la UNI EN 15193, fino al 75%.

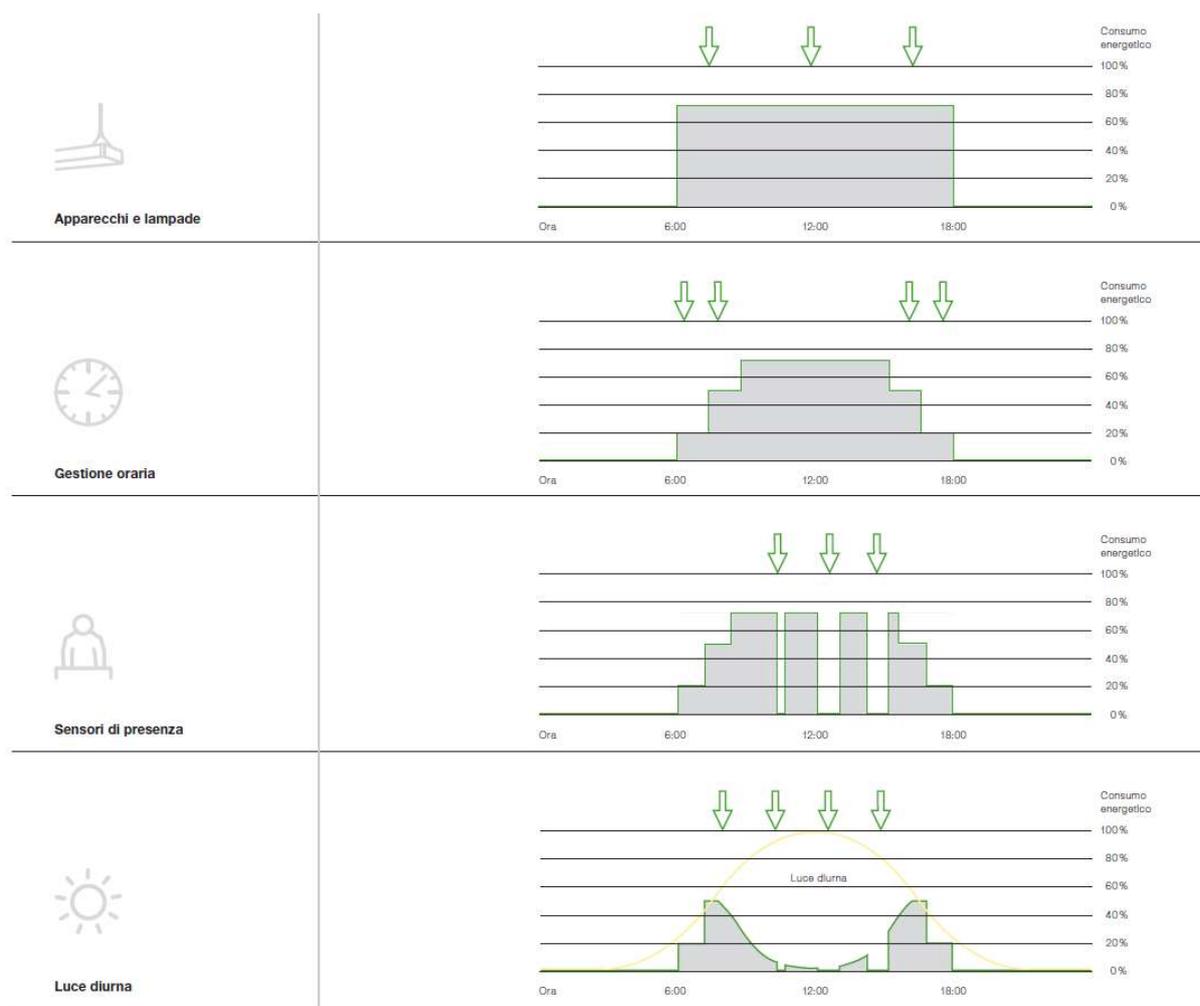


Figura 49. Abbattimento consumi con integrazione di tutti i sensori

semplificato per arrivare ad una prima stima dell'impatto delle suddette funzioni su edifici e profili d'uso rappresentativi; 4) i metodi dettagliati per valutare l'impatto di queste funzioni su un determinato edificio. La UNI EN 15232 definisce quattro classi di sistemi di *Building Automation* in base alle funzioni di automazione implementate:

- Classe D: sistema in cui non c'è alcuna funzione di automazione;
- Classe C: sistema che implementa un numero minimo di sotto-funzioni di automazione per ciascuna funzione di Building Automation;
- Classe B: sistema che aggiunge alle funzioni della Classe C una gestione centralizzata dei singoli impianti;
- Classe A: sistema che consente una gestione simile alla Classe B permettendo però di garantire elevate prestazioni energetiche.

Oltre alla indiscutibile riduzione dei consumi energetici, un sistema di domotica per la gestione e il controllo di un impianto di illuminazione consente di ottenere i seguenti vantaggi:

- scalabilità e modularità dell'impianto;
- controllo e interazione con l'impianto da qualsiasi luogo, in locale o da remoto ed in qualsiasi momento;
- miglioramento della qualità della vita grazie al maggiore comfort visivo e termico negli ambienti, alla facilità di utilizzo di tutte le funzioni integrate, alla disponibilità di maggiori informazioni;
- maggior sicurezza ed affidabilità dell'impianto;
- mantenimento e incremento di valore dell'immobile nel tempo;
- possibilità di usufruire gli incentivi in termini di detrazione fiscale;
- lieve differenza di costo di realizzazione dell'impianto rispetto alla tecnica tradizionale;
- l'edificio diviene innovativo e più prestigioso.

In appendice C sono riportate le schede tecniche relative ai dispositivi/sistemi sopra menzionati contenenti caratteristiche e indicazioni per una corretta pratica; di seguito si riporta, invece, una tabella che, in base alle considerazioni sopra esposte, individua in quali locali/ambienti delle due macro-famiglie di immobili oggetto di studio è consigliato installare i citati dispositivi.

Dispositivo/ apparecchiatura	Edificio non residenziale						Edificio residenziale			
	bagni	Aree comuni e di transito (scale, atrio, ecc.)	Uffici	Sale riunioni	Aule multimediali	Esterni/cortili	Aree interne comuni	Esterni/cortili	Locali Zona notte	Locali zona giorno
Apparecchi illuminanti LED	√	√		√	√	√	√	√	√	√
Sensore movimento	√	√				√	√	√		
Sensore presenza		√	√	√	√					
Regolatore di luminosità (dimmer)		√	√	√	√				√	√
Sensore luce diurna		√	√	√	√	√	√	√		
Sistema di light management	√									

Tabella 15. Applicazione degli interventi nei locali delle due categorie di immobili

9.5 Impianto di illuminazione esterna

L'attività di riqualificazione energetica dovrà comprendere anche i sistemi di illuminazione degli spazi esterni (cortili, aree verdi, patii, parcheggi privati, ecc.) ovvero di tutte le pertinenze esterne, ad uso comune, degli immobili residenziali e ad uso ufficio. Una corretta illuminazione artificiale esterna è fondamentale per vivere in sicurezza e comfort gli spazi esterni anche dopo il tramonto del sole. Considerato che il tempo di accensione delle sorgenti luminose esterne è notevole, tutto l'arco notturno, è facile intuire i vantaggi che è possibile ottenere con un efficace intervento di riqualificazione dell'impianto. Le attività dovranno essere svolte nel rispetto dei requisiti minimi di comfort indicati dalle norme vigenti in materia e dovranno prevedere:

- Sostituzione apparecchi illuminanti con nuovi del tipo a LED – i nuovi componenti dovranno avere adeguate caratteristiche di protezione (c.d. grado IP) e di resistenza meccanica dell'involucro (c.d. grado IK);
- Installazione di sensori di prossimità (anche integrati al corpo illuminante) in modo da accendere determinate sorgenti luminose soltanto al passaggio delle persone con funzione di regolazione del tempo di spegnimento automatico;
- Installazione di crepuscolari, di tipo elettromeccanico (tecnologia relè + resistenza elettrica) al fine di consentire l'accensione degli apparecchi illuminanti nel momento in cui diminuisce la radiazione solare; il dispositivo dovrà essere programmabile, giornalmente o settimanalmente, in modo da impostare l'accensione o lo spegnimento anche in maniera indipendente dall'intervento del pannello fotosensibile, evitando così, ad esempio, l'accensione di una luce durante le ore del giorno a causa di temporali o scarsa luminosità.

Le luci esterne però, devono illuminare in modo non eccessivo e confortevole solo le zone utili, senza abbagliare e senza "sprechi luminosi" nell'ambiente circostante. Nella progettazione della luce per esterni è fondamentale, infatti, porsi il problema dell'inquinamento luminoso, fenomeno che avviene quando la luce emessa dai corpi illuminanti per esterni è rivolta verso l'alto e di conseguenza dispersa. Nell'ambito della regione Lazio vige, in tale ambito, il Regolamento del 18 aprile 2005, n. 8 della Regione Lazio – "Regolamento regionale per la riduzione e prevenzione dell'inquinamento luminoso". Il regolamento, in linea con la norma UNI 10819⁵², definisce le misure idonee a ridurre e a prevenire l'inquinamento luminoso sul territorio della Regione e stabilisce precise prescrizioni da applicare agli impianti di illuminazione esterna, di qualsiasi tipo ed a qualsiasi uso adibiti, considerati fonte di inquinamento luminoso secondo la definizione di cui all'articolo 2 della l. r. 23/2000. Come previsto dal regolamento, l'attività esecutiva/installativa è subordinata alla presentazione di due progetti, uno dedicato agli

⁵² UNI 10819 "Luce e illuminazione - Impianti di illuminazione esterna - Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso". La norma prescrive i requisiti degli impianti di illuminazione esterna, per la limitazione della dispersione verso l'alto di flusso luminoso proveniente da sorgenti di luce artificiale.

aspetti elettrici contenente informazioni circa la quantificazione del consumo energetico ed un secondo progetto relativo agli aspetti illuminotecnici che quantifica l'inquinamento luminoso provocato dall'impianto.

9.6 Manutenzione e gestione dei sistemi illuminotecnici

La riqualificazione di un impianto di illuminazione che prevede l'installazione di lampade a tecnologia LED consente benefici economici anche in termini di costi di manutenzione. Come descritto nei paragrafi precedenti, una caratteristica importante delle lampade LED è la durata di funzionamento. La perdita della luminosità dei led è stimata dopo 100.000 ore di utilizzo con il mantenimento del 70% dell'emissione luminosa anche dopo 50.000 ore. Questo dato incide in modo significativo sui costi di manutenzione del sistema in quanto dilata notevolmente i tempi di intervento per la sostituzione degli apparecchi illuminanti. A fronte di un investimento iniziale maggiore è stato dimostrato che è possibile ottenere benefici economici dovuti ad una diminuzione dei costi di gestione, con risparmi annui per le attività di manutenzione quasi del 50%. Oltretutto, il prezzo di fornitura dei LED, nei primi anni molto maggiore rispetto alle comuni lampade (incandescenza, fluorescenza, ecc.), oggi continua a decrescere e si sta allineando con i costi tipici delle sorgenti luminose tradizionali. Questo è dovuto al fatto che oramai i LED rappresentano una tecnologia entrata a tutti gli effetti nell'economia di scala e l'aumento del numero di applicazioni ha generato un incremento della produzione e un conseguente abbattimento dei costi. Nell'ambito della riqualificazione dei sistemi di illuminazione oggetto di studio si precisa che, conformemente al documento "Linee guida alla presentazione dei progetti per il Programma per la Riqualificazione Energetica degli edifici della Pubblica Amministrazione Centrale – PREPAC (D.M. 16 Settembre 2016)"⁵³, la durata di vita utile deve essere almeno pari a:

- 8 anni per corpi illuminanti;
- 10 anni per dispositivi, sensori e sistemi di regolazione e controllo.

Al fine di ottimizzare ulteriormente il supporto logistico si rende necessario applicare i seguenti ulteriori criteri:

- Prevedere, per quanto possibile, l'installazione di apparecchi illuminanti analoghi, in modo da uniformare le scorte di "parti di ricambio". Tale aspetto è sicuramente più significativo nell'ambito delle strutture ad uso "ufficio", caratterizzate dalla ripetitività degli ambienti e da un numero considerevole di apparecchi installati nonché dalla potenziale presenza di protocolli proprietari (coperti da copyright) per l'interfaccia delle diverse apparecchiature. Di contro, in un appartamento, la riqualificazione dei sistemi di illuminazione deve rispondere oltre a requisiti tecnico-prestazionali, anche ad esigenze di carattere estetico, comportando perciò, una differenziazione dei corpi illuminanti in base alle caratteristiche degli arredi e del design degli interni.

⁵³ Documento redatto dall'ENEA sulla base del D.M. 16 settembre 2016 del Ministero dello Sviluppo Economico – "Modalità di attuazione del programma di interventi per il miglioramento della prestazione energetica degli immobili della pubblica amministrazione centrale".

- Nell'ambito di edifici destinati al settore terziario, come noto, è normalmente prevista una struttura interna dedicata ai servizi di facilities management, per cui, si dispone di personale dedicato alla sostituzione di eventuali apparecchi in avaria o che hanno concluso il loro normale "ciclo di vita". Pertanto, al fine di ridurre i costi iniziali di acquisto di sistemi LED e, di conseguenza, le relative spese necessarie per assicurare le adeguate scorte, si consiglia di optare per prodotti di fascia intermedia, con valori di "durata/ore di funzionamento" nella norma. Questa strategia, di contro, non si consiglia nelle strutture residenziali dove il servizio di manutenzione di solito è "on demand"; in tale circostanza è preferibile installare prodotti di prima fascia, con durata di funzionamento superiore alle 50.000 ore.

10. Sistemi fotovoltaici

di Agostinelli Sofia

L'elemento base di un impianto fotovoltaico è la cella, una piccola lastra di materiale semiconduttore costituita generalmente da silicio. La radiazione solare incidente sulla cella consente di mettere in movimento gli elettroni presenti nel materiale, producendo in questo modo una corrente continua. Il modulo fotovoltaico, normalmente composto da un numero di celle pari a 60 o 72, è testato in condizioni standard con una irradianza di 1 kW/m² alla temperatura di 25°C; la potenza elettrica fornita in queste condizioni viene chiamata potenza nominale o potenza di picco (kW_p). L'energia elettrica prodotta sarà, ovviamente, proporzionale all'energia solare incidente che, inferiore al valore di prova, può variare nel corso della giornata, delle stagioni e delle condizioni atmosferiche. Le singole celle fotovoltaiche vengono unite tra loro a formare un modulo o pannello, che a sua volta è collegato in serie ad altri moduli costituendo una stringa; quest'ultima è collegata in parallelo ad altre analoghe. La quantità di energia solare che raggiunge la superficie terrestre e che può essere raccolta utilmente da un dispositivo fotovoltaico, è chiamata irraggiamento. Quest'ultimo è, infatti, la quantità di energia solare incidente su una superficie unitaria in un determinato intervallo di tempo, tipicamente un giorno (kWh/m²giorno). Il valore istantaneo della radiazione solare incidente sull'unità di superficie viene invece denominato radianza (kW/m²). L'irraggiamento è influenzato dalle condizioni climatiche locali (nuvolosità, foschia, ecc.) e dipende dalla latitudine del luogo, crescendo quanto più ci si avvicina all'equatore.

In Italia, l'irraggiamento medio annuale sul piano orizzontale varia così come riportato:

- 3,6 kWh/m²/giorno della pianura padana;
- 4,7 kWh/m²/giorno del centro Sud;
- 5,4 kWh/m²/giorno della Sicilia.

L'orientamento consigliato per un pannello fotovoltaico è quello verso sud con un'inclinazione uguale all'angolo di latitudine del sito stesso; questa configurazione consente di ridurre maggiormente le disparità tra la producibilità invernale ed estiva.

INCLINAZIONE ORIENTAMENTO	INCLINAZIONE			
	0°	30°	60°	90°
Est	0,93	0,90	0,78	0,55
Sud-Est	0,93	0,96	0,88	0,66
Sud	0,93	1,00	0,91	0,68
Sud-Ovest	0,93	0,96	0,88	0,66
Ovest	0,93	0,90	0,78	0,55

Tabella 16. Fattori di correzione per inclinazione ed orientamento

Oltre al giusto orientamento e alla corretta inclinazione è importante valutare l'eventuale presenza di ostruzioni all'irraggiamento solare tramite l'impiego di software in grado di simulare l'interazione tra l'edificio oggetto d'intervento e il sole. In base alle condizioni d'installazione, alle scelte impiantistiche, al tipo di applicazione a cui l'impianto è destinato, al grado di integrazione nella struttura edilizia, si distinguono varie tipologie di impianto. Esistono sistemi non collegati alla rete elettrica detti isolati (stand-alone) e sistemi collegati alla rete. I primi sono costituiti da moduli fotovoltaici, regolatore di carica e sistema di batterie che garantisce l'erogazione di corrente anche nelle ore di illuminazione limitata o di buio. La corrente generata è continua e richiede perciò un inverter se l'utenza è costituita da apparecchiature che prevedono una alimentazione in corrente alternata. Questa tipologia risulta tecnicamente ed economicamente vantaggiosi nei casi in cui la rete elettrica è assente o difficilmente raggiungibile, sostituendo spesso i gruppi elettrogeni. In Italia sono stati realizzati molti impianti fotovoltaici di elettrificazione rurale e montana soprattutto nel Sud, nelle isole e sull'arco alpino. I sistemi collegati alla rete elettrica, consentono di usufruire dell'energia nelle ore in cui i pannelli fotovoltaici non producono energia necessaria a coprire la domanda di elettricità. Viceversa, quando il sistema fotovoltaico produce energia elettrica in più, il surplus viene trasferito alla rete e contabilizzato.

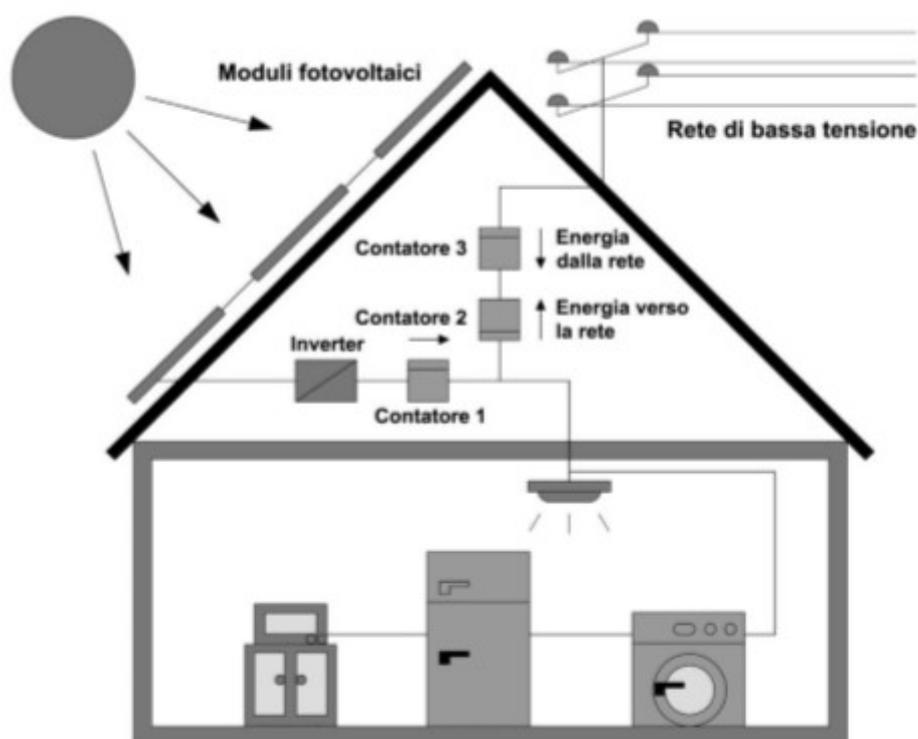


Figura 50. Schema di un sistema collegato alla rete

Gli impianti più diffusi per uso residenziale di piccola taglia hanno potenze comprese tra 1,5 e 3,0 kW_p e vengono installati su coperture e facciate degli edifici ma possono essere anche integrati su superfici vetrate, su dispositivi di protezione solare o su elementi architettonici accessori come parapetti di balconi o pensiline. Nel caso di impianti integrati negli edifici la

corrente continua generata istantaneamente dai moduli, viene trasformata in corrente alternata e immessa nella rete interna dell'edificio utilizzatore, in parallelo alla rete di distribuzione pubblica. I moduli fotovoltaici possono essere integrati anche su componenti tradizionali come ad esempio coppi di argilla o in tegole o possono sostituire quest'ultime con elementi piatti realizzati interamente in silicio. Il rendimento energetico è maggiore quando la temperatura dei moduli fotovoltaici è più bassa durante l'irraggiamento solare; questo richiede nel caso di facciate fotovoltaiche ad esempio, l'applicazione dei pannelli nelle zone più "fredde" delle facciate, come ad esempio parapetti, corpi ascensore e altre superfici opache, orientati sempre verso sud-est o sud-ovest e non nelle zone ombreggiate.

A titolo indicativo alle latitudini dell'Italia centro-meridionale 1 m² di moduli può produrre in media 0,3-0,4 kWh al giorno nel periodo invernale e 0,6-0,8 kWh in quello estivo; si tenga conto che 1 kWp corrisponde a moduli di superficie complessiva pari a circa 5-6 m² se in silicio monocristallino e circa 7-8 m² se in silicio policristallino. Le strutture di supporto devono essere realizzate in modo tale da garantire una durata pari almeno a quella dell'impianto, cioè circa 25-30 anni, devono essere montate in modo da permettere un facile accesso: ai moduli per la manutenzione e la pulizia, alle scatole di giunzione elettrica, per ispezione e manutenzione. I generatori fotovoltaici collocati sui tetti e sulle coperture non devono ovviamente interferire con la impermeabilizzazione e la coibentazione. Fra i moduli è necessario interporre uno spazio vuoto, da un minimo di 5 mm, per i generatori posti parallelamente e a poca distanza da altre superfici fisse, fino a 5 cm, per i generatori sui quali la pressione del vento può raggiungere valori elevati.



Figura 51. Distanza media tra i moduli fotovoltaici

La manutenzione di un impianto fotovoltaico è riconducibile a quella di un impianto elettrico. I moduli, che rappresentano la parte attiva dell'impianto che converte la radiazione solare in energia elettrica sono costituiti da materiali, praticamente inattaccabili dagli agenti atmosferici, come è dimostrato da esperienze in laboratorio e in campo. I moduli fotovoltaici maggiormente presenti sul mercato si possono classificare nelle seguenti categorie:

- *Moduli fotovoltaici con celle solari in silicio monocristallino*: dato l'elevato livello di rendimento sono i più efficienti sul mercato. Questa tipologia di pannelli richiede una

minore quantità di spazio per ottenere l'energia desiderata rispetto ad altri tipi, tendono a durare più a lungo, inoltre funzionano meglio delle altre tipologie di pannelli classificati nella stessa categoria a condizioni di minor intensità solare e a temperature inferiori. Il principale svantaggio è l'elevato costo a causa dello spreco significativo di silicio in fase di produzione;

- *Moduli fotovoltaici con celle solari in silicio policristallino*: sono i più diffusi attualmente sul mercato, presentano un minor costo dal momento che i "wafer" di silicio sono già quadrati e vi è quindi un minor spreco. Essi hanno una tolleranza al calore superiore a quelli realizzati in silicio monocristallino e quindi tendono ad aver migliori risultati quando sono impiegati ad alte temperature. Non sono però efficienti come quelli monocristallini poiché il silicio è meno puro e di conseguenza è necessario coprire una superficie maggiore per produrre la stessa potenza elettrica;
- *Moduli fotovoltaici con celle solari di silicio amorfo*: utilizzano minori quantità di silicio rispetto ad ambedue le precedenti tipologie. Sono più economici di quelli in silicio cristallino poiché il processo di produzione che si utilizza è relativamente semplice e richiede solo piccole quantità di silicio. I moduli in silicio amorfo possono essere resi flessibili e quindi possono facilmente essere posizionati su superfici curve. Offrono prestazioni migliori in condizioni di luce non favorevoli e reagiscono meglio in casi di copertura parziale, come sotto ombra, sporcizia e neve rispetto ai pannelli cristallini. Il principale svantaggio è che hanno un tempo di vita inferiore rispetto ai moduli in silicio cristallino, infatti a distanza di poco tempo dall'installazione, i moduli subiscono un brusco calo di efficienza che può arrivare anche al 20%.

10.1 Sistemi di accumulo

Lo storage fotovoltaico è un sistema di accumulo dell'energia elettrica prodotta dai pannelli solari fotovoltaici e consente di accumulare l'energia in eccesso prodotta dai pannelli solari nelle ore del giorno per utilizzarla nelle ore serali, quando l'impianto non la produce. L'energia prodotta in eccesso durante le ore del giorno può essere:

- Ceduta alla rete elettrica nazionale. In questo caso, l'utente ha un doppio contatore e doppie tariffe. Uno dedicato all'energia ceduta a credito e l'altro all'energia consumata a debito. È possibile soltanto per gli impianti fotovoltaici collegati alla rete.
- Accumulata negli storage fotovoltaici in casa per essere consumata nelle ore serali. In questo caso, l'energia prodotta dai pannelli non viene ceduta alla rete elettrica ma stoccata temporaneamente per l'autoconsumo. Questa soluzione è valida anche per gli impianti fotovoltaici isolati (stand alone).

Lo storage fotovoltaico è composto da un sistema di batterie agli ioni di litio. Sono le stesse utilizzate dalle auto elettriche. Queste batterie ricaricabili consentono di accumulare ed erogare una discreta quantità di energia elettrica. Durante le ore del giorno i pannelli solari fotovoltaici ricaricano le batterie dello storage con l'energia solare. Nelle ore serali e notturne l'impianto fotovoltaico cessa di produrre elettricità. Quando l'utente consuma elettricità nelle ore serali o notturne, l'energia viene erogata dallo storage, in completa autonomia dalla rete

elettrica. In questo modo nelle ore serali l'utente consuma l'elettricità prodotta dai suoi pannelli solari fotovoltaici nel corso del giorno. L'energia prodotta dal tetto fotovoltaico viene immagazzinata e utilizzata nel momento in cui l'utente ne ha bisogno. Durante le ore di autoconsumo l'utente può essere indipendente quasi al 100% dalla rete elettrica. Le principali caratteristiche da considerare in un sistema di accumulo fotovoltaico domestico sono:

- la capacità;
- la durata;
- l'inverter;
- l'efficienza di carica e scarica;
- le dimensioni e il peso

La prima caratteristica essenziale da considerare è la capacità dello storage ed è misurata in kWh. La scelta deve essere proporzionata alla potenza dell'impianto fotovoltaico a cui sarà collegato. Tanto maggiore è la capacità dello storage, tanto più a lungo il sistema può accumulare ed erogare energia elettrica. Sul mercato esistono sistemi di storage da 1 a 12 kWh: al di sotto dei 2,5 kWh sono storage per piccoli impianti; al di sopra dei 2,5 kWh, sono storage per impianti fotovoltaici di medie dimensioni. Un sistema di storage da 5 kWh occupa circa 1 m². Il peso è comunque elevato.

10.2 Principali applicazioni del fotovoltaico nell'edilizia residenziale

Come sopra descritto i sistemi fotovoltaici presi in esame sono dei tre tipi più comuni ed efficienti presenti sul mercato al momento. I pannelli fotovoltaici con celle solari di silicio monocristallino: sono in assoluto i più efficienti ma sono quelli con il costo più elevato. I pannelli fotovoltaici con celle solari di silicio policristallino sono i più diffusi e consigliati per rapporto efficienza costo iniziale. I pannelli fotovoltaici con celle solari di silicio amorfo sono i più economici sul mercato e offrono diverse soluzioni di montaggio, l'efficienza è leggermente minore rispetto agli altri due tipi di pannelli. I pannelli fotovoltaici possono essere posizionati su tetti a falda oppure su tetti piani con apposito sostegno metallico inclinato. I pannelli fotovoltaici sono spesso vistosi e visibili modificando l'aspetto dell'edificio, per questo motivo, soprattutto quando si vuole installare il sistema in un edificio con vincoli architettonici, esistono in commercio diverse soluzioni "invisibili"; la più performante è quella che prevede coppi con moduli fotovoltaici integrati, questa tecnologia rende il fotovoltaico disponibile e praticabile anche su edifici di valenza architettonica poiché permettono di essere installati senza gravare sull'aspetto generale dell'edificio. Dove non sia possibile l'installazione sui tetti, è prevista anche l'installazione a terra a patto di garantire sempre ai pannelli adeguata esposizione solare; altri sistemi invece possono essere installati sulle pareti esterne verticali attraverso una intelaiatura metallica e fungono da brise soleil, sono spesso usati in edifici con destinazione d'uso non residenziale. Di seguito si riporta un abaco delle soluzioni più efficienti esistenti sul mercato per le differenti tipologie di sistemi fotovoltaici sopra illustrate.

Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili

Modulo fotovoltaico monocristallino



CARATTERISTICHE

La cella solare a 5 busbar utilizza una nuova tecnologia per migliorare l'efficienza dei moduli, offrendo un impatto estetico migliore, perfetto per l'installazione sul tetto. L'efficienza di conversione del modulo è più alta (fino al 20,38%) grazie alla struttura a semi-cella (caratteristiche di bassa resistenza). L'avanzata testurizzazione della superficie di vetro e della cella solare consente eccellenti prestazioni in ambienti a bassa luminosità. Certificato per resistere a forti carichi di vento (2400 Pascal) e neve (5400 Pascal). Resistenza a nebbia salina e ammoniacale.

PRESTAZIONI

Potenza Nominale (WP/m²)
Con irraggiamento medio di 1000 W/m²

390

Tensione alla massima potenza (V)

41.1

Efficienza (%)

19.8

Resistenza Vento/Neve (Pa)

2400/5400

Coefficiente perdita di potenza (%/C°)

-0.28

Dimensioni (bxhxp)

100x200x4

Corrente alla massima potenza (A)

9.49

Peso (Kg)

22.5

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche



Descrizione posa in opera

Con malta o colle



I pannelli sono fissati tra di loro tramite appositi supporti e giunzioni metalliche.

Leganti e fissaggi meccanici



PARAMETRI DI CONFRONTO

 Uso residenziale: **SI**

 Incentivi Fiscali: **SI**

 Idoneo per Ristrutturazioni: **SI**

 Costo Iniziale: **MEDIO**

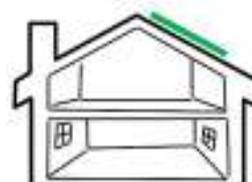
 Salva Spazio: **SI**

 Manutenzione: **BASSA**

 Impatto visivo: **BASSO**

 Zone Costiere: **SI**

POSIZIONAMENTO



Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili

Modulo fotovoltaico in silicio Cristallino su vetro



CARATTERISTICHE

Modulo fotovoltaico realizzato in vetro e silicio mono o policristallino, caratterizzato da una alta efficienza energetica. Grazie alle numerose combinazioni di celle e alle differenti strutture di supporto realizzabili è utilizzabile per facciate ventilate, pensiline e brisoleili. Le celle di silicio mono o policristallino possono avere diverse concentrazioni a seconda della luminosità ambientale.

PRESTAZIONI

Potenza Nominale (WP/m ²) Con irraggiamento medio di 1000 W/m ²	<input type="text" value="163"/> <input type="text" value="148"/>	Trasmittanza termica U (W/m ² K)	<input type="text" value="5.2"/> <input type="text" value="0.73"/>
Efficienza (%)	<input type="text" value="16.3"/> <input type="text" value="14.8"/>	Resistenza ad impatto	<input type="text" value="1B1"/>
Coefficiente perdita di potenza (%/C°)	<input type="text" value="-0.45"/>	Isolamento al Fuoco	<input type="text" value="B-s1,d0"/>
Massa Volumica (kg/m ³)	<input type="text" value="16 - 41"/>	Assorbimento acustico (dB)	<input type="text" value="32"/>

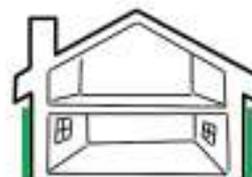
PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche	<input checked="" type="checkbox"/>	Descrizione posa in opera I pannelli sono fissati tra di loro tramite appositi supporti metallici integrati al pannello stesso.
Con malta o colle	<input type="checkbox"/>	
Leganti e fissaggi meccanici	<input type="checkbox"/>	

PARAMETRI DI CONFRONTO

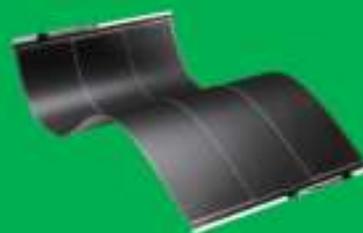
Uso residenziale: SI	Incentivi Fiscali: SI
Idoneo per Ristrutturazioni: SI	Costo Iniziale: MEDIO
Salva Spazio: SI	Manutenzione: NORMALE
Impatto visivo: ALTO	Zone Costiere: NO

POSIZIONAMENTO



Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili

Modulo fotovoltaico flessibile



CARATTERISTICHE

Il modulo fotovoltaico, adesivo, facilmente configurabile per molteplici applicazioni, consente una rapida installazione e integrazione di sistemi a basso costo con una vasta gamma di substrati del tetto, come EPDM, TPO ed altre combinazioni di materiali.

PRESTAZIONI

Potenza Nominale (WP/m ²) <small>Con irraggiamento medio di 1000 W/m²</small>	<input type="text" value="87"/> <input type="text" value="109"/>	Resistenza agli urti (mm)	<input type="text" value="1250"/>
Efficienza (%)	<input type="text" value="8.7"/> <input type="text" value="10.9"/>	Resistenza a impatto (Kps)	<input type="text" value="60"/>
Coefficiente perdita di potenza (%/C°)	<input type="text" value="-0.48"/>	Reazione al Fuoco	<input type="text" value="F"/>
Massa Volumica (kg/m ³)	<input type="text" value="1220"/>		

PROCEDURE DI FISSAGGIO

- Con giunzioni metalliche
- Con malta o colle
- Leganti e fissaggi meccanici

Descrizione posa in opera
Viene fatto aderire alla superficie tramite un apposito adesivante e successivamente viene pressato attraverso rulli che rendono perfettamente coeso il pannello.

PARAMETRI DI CONFRONTO

Uso residenziale: SI	Incentivi Fiscali: SI
Idoneo per Ristrutturazioni: SI	Costo Iniziale: MEDIO
Salva Spazio: SI	Manutenzione: BASSA
Impatto visivo: BASSO	Zone Costiere: NO

POSIZIONAMENTO



Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili

Modulo fotovoltaico flessibile ed impermeabile



CARATTERISTICHE

Sistemi impermeabili fotovoltaici composti da modulo non convenzionale, formato da una speciale membrana in APAO - 35 Phoenix solar tech o un manto sintetico PVC - TPO, accoppiato in maniera inscindibile, in adesione, o con sistema d'aggancio fisico/meccanico, al pannello fotovoltaico in film sottile di silicio amorfo.

PRESTAZIONI

 Potenza Nominale (WP/m²)
Con irraggiamento medio di 1000 W/m²
68

Resistenza agli urti (mm)

1250

Efficienza (%)

6.8

Resistenza a impatto (Kps)

60

Coefficiente perdita di potenza (%/C°)

-0.21

Reazione al Fuoco

F

 Massa Volumica (kg/m³)

528

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche

Con malta o colle

Leganti e fissaggi meccanici

Descrizione posa in opera

Viene fatto aderire alla superficie tramite un apposito adesivante e successivamente viene pressato attraverso rulli che rendono perfettamente coeso il pannello.

PARAMETRI DI CONFRONTO

 Uso residenziale: **SI**

 Incentivi Fiscali: **SI**

 Idoneo per Ristrutturazioni: **SI**

 Costo Iniziale: **MEDIO**

 Salva Spazio: **SI**

 Manutenzione: **BASSA**

 Impatto visivo: **BASSO**

 Zone Costiere: **NO**

POSIZIONAMENTO



Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili

Modulo fotovoltaico in silicio amorfo su vetro trasparente



CARATTERISTICHE

Modulo fotovoltaico disponibile in varie dimensioni realizzato con vetro e film sottile di silicio amorfo, con buona efficienza per la condizione di luce diffusa, può raggiungere una trasparenza del 30%. Grazie al suo grado di trasparenza si può utilizzare per la realizzazione di lucernari, finestre, facciate ventilate e continue e nella ristrutturazione di edifici storici, a seconda della stratificazione utilizzata.

PRESTAZIONI

 Potenza Nominale (WP/m²)
 Con irraggiamento medio di 1000 W/m²

27 - 56

 Trasmittanza termica U (W/m²K)

5,2 - 5,7

Efficienza (%)

2,7 - 5,6

Resistenza ad impatto

Class 3

Coefficiente perdita di potenza (%/C°)

-0,19

Isolamento al Fuoco

B-s1,d0

 Massa Volumica (kg/m³)

16 - 41

Assorbimento acustico (dB)

32 - 34

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche



Con malta o colle



Leganti e fissaggi meccanici



Descrizione posa in opera

I pannelli generalmente sono fissati tra di loro tramite giunzioni metalliche che costituiscono il telaio su cui fissarli. Altrimenti, nel caso di facciate continue sono fissati tra di loro tramite fissaggi meccanici puntuali.

PARAMETRI DI CONFRONTO

 Uso residenziale: **SI**

 Incentivi Fiscali: **SI**

 Idoneo per Ristrutturazioni: **SI**

 Costo Iniziale: **MEDIO**

 Salva Spazio: **SI**

 Manutenzione: **ALTA**

 Impatto visivo: **NESSUNO**

 Zone Costiere: **SI**


POSIZIONAMENTO

Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili

Modulo fotovoltaico in silicio amorfo su vetro colorato calpestabile



CARATTERISTICHE

Modulo realizzato in vetro e film sottile di silicio amorfo. Ha la caratteristica di essere calpestabile ed è costituito da una superficie piana di vetro antiscivolo, può essere configurato come un normale pavimento in colori neutri o retro illuminato dall'energia auto generata. Può essere utilizzato per pavimentare terrazze e per lucernari calpestabili. Ha un ridotto rendimento ma è in grado di utilizzare la luce diffusa, può essere utilizzato anche per la pavimentazione d'interni.

PRESTAZIONI

Potenza Nominale (WP/m ²) <small>Con irraggiamento medio di 1000 W/m²</small>	27 - 58	Trasmittanza termica U (W/m ² K)	5.2
Efficienza (%)	2.7 - 5.8	Resistenza ad impatto	Class 3
Coefficiente perdita di potenza (%/C°)	-0.19	Isolamento al Fuoco	B-s1,d0
Massa Volumica (kg/m ³)	41	Assorbimento acustico (dB)	34

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche	<input checked="" type="checkbox"/>	Descrizione posa in opera I pannelli sono fissati tra di loro tramite appositi supporti e giunzioni metallici per pavimentazioni.
Con malta o colle	<input type="checkbox"/>	
Leganti e fissaggi meccanici	<input type="checkbox"/>	

PARAMETRI DI CONFRONTO

Usò residenziale: SI	Incentivi Fiscali: SI
Idoneo per Ristrutturazioni: SI	Costo Iniziale: ALTO
Salva Spazio: SI	Manutenzione: NORMALE
Impatto visivo: NESSUNO	Zone Costiere: SI

POSIZIONAMENTO



Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili

Modulo fotovoltaico in vetro per strutture verticali



CARATTERISTICHE

Pannello fotovoltaico in vetro trasparente e film sottile, è disponibile in colore neutro, bruno rossastro e giallo oro. Ha la particolarità tecnica di generare energia da entrambi i lati del pannello e per questo è consigliato per installazioni verticali, particolarmente adatto per parapetti e recinti. Inoltre, è in grado di filtrare i raggi UV e garantisce buoni livelli di isolamento acustico.

PRESTAZIONI

Potenza Nominale (WP/m ²) <small>Con irraggiamento medio di 1000 W/m²</small>	<input type="text" value="40"/> - <input type="text" value="103"/>	Trasmittanza termica U (W/m ² K)	<input type="text" value="5.04"/>
Efficienza (%)	<input type="text" value="4"/> - <input type="text" value="10.3"/>	Resistenza ad impatto	<input type="text" value="1B1"/>
Coefficiente perdita di potenza (%/C°)	<input type="text" value="-0.16"/>	Isolamento al Fuoco	<input type="text" value="B-s1,d0"/>
Massa Volumica (kg/m ³)	<input type="text" value="20"/>	Assorbimento acustico (dB)	<input type="text" value="40"/>

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche



Con malta o colle



Leganti e fissaggi meccanici



Descrizione posa in opera

I pannelli vengono fissati tramite profili metallici o fissaggi meccanici puntuali.

PARAMETRI DI CONFRONTO

 Uso residenziale: **SI**

 Idoneo per Ristrutturazioni: **SI**

 Salva Spazio: **SI**

 Impatto visivo: **ALTO**

 Incentivi Fiscali: **SI**

 Costo Iniziale: **MEDIO**

 Manutenzione: **BASSA**

 Zone Costiere: **NO**

POSIZIONAMENTO



Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili

Frangisole fotovoltaico



CARATTERISTICHE

Frangisole fotovoltaico che permette al tempo stesso di regolare luminosità e temperatura all'interno degli ambienti e produrre energia.

Il film sottile di fotovoltaico è inserito in vetro stratificato antigraffio, viene montato su una struttura leggera composta da un tubo centrale in alluminio estruso e supporti porta pannelli in alluminio forgiato. È integrabile sia in facciate continue che nelle schermature delle finestre.

PRESTAZIONI

Potenza Nominale (WP/m ²) Con irraggiamento medio di 1000 W/m ²	<input type="text" value="73"/> <input type="text" value="104"/>	Resistenza agli urti (mm)	<input type="text" value="1250"/>
Efficienza (%)	<input type="text" value="7.3"/> <input type="text" value="10.4"/>	Resistenza a impatto (m/s)	<input type="text" value="23"/>
Coefficiente perdita di potenza (%/C°)	<input type="text" value="0.19"/> <input type="text" value="0.25"/>	Isolamento al Fuoco	<input type="text" value="B-s1,d0"/>
Massa Volumica (kg/m ³)	<input type="text" value="375"/>		

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche	<input checked="" type="checkbox"/>	Descrizione posa in opera Le mensole si poggiano su telai in acciaio
Con malta o colle	<input type="checkbox"/>	
Leganti e fissaggi meccanici	<input type="checkbox"/>	

PARAMETRI DI CONFRONTO

Uso residenziale: NO	Incentivi Fiscali: SI
Idoneo per Ristrutturazioni: SI	Costo Iniziale: ALTO
Salva Spazio: NO	Manutenzione: ALTA
Impatto visivo: ALTO	Zone Costiere: SI

POSIZIONAMENTO



Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili

Coppo in cotto con fotovoltaico integrato



CARATTERISTICHE

Coppo fotovoltaico disponibile in varie colorazioni ed effetti favorendo in particolare l'integrazione negli edifici esistenti. La posa non necessita di staffe di fissaggio, quindi, vengono eliminate le problematiche connesse con possibili infiltrazioni e ponti termici.

PRESTAZIONI

 Potenza Nominale (WP/m²)
Con irraggiamento medio di 1000 W/m²
142

 Trasmittanza termica U (W/m²K)

45

Efficienza (%)

14.3

Carico Massimo (Pa)

5400

Coefficiente perdita di potenza (%/C°)

-0.45

Resistenza ad impatto (m/s)

23

 Massa Volumica (kg/m³)

4125

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche



Con malta o colle



Leganti e fissaggi meccanici



Descrizione posa in opera

Si dovrà predisporre la micro ventilazione secondo le normative. Disporre la prima fila di coppi di canale, fissandola con ganci di partenza. Si ricoprirà la prima fila di coppi di canale con una fila di coppi di coperta "tre quarti" e si fisserà con viti. Si procederà con le restanti file.

PARAMETRI DI CONFRONTO

 Uso residenziale: **SI**

 Incentivi Fiscali: **SI**

 Idoneo per Ristrutturazioni: **SI**

 Costo Iniziale: **MEDIO**

 Salva Spazio: **SI**

 Manutenzione: **BASSA**

 Impatto visivo: **BASSO**

 Zone Costiere: **NO**

POSIZIONAMENTO



Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili

Coppo in cotto con fotovoltaico integrato invisibile



CARATTERISTICHE

Tecnologia finalizzata alla massimizzazione dell'integrazione della tecnologia fotovoltaica con involucri edilizi esistenti, può assumere l'aspetto di qualsiasi materiale edilizio.

È formato da un composto polimerico atossico e riciclabile, all'interno del quale sono incorporate le celle di silicio monocristallino. Una speciale superficie, opaca alla vista e trasparente per i raggi solari, ricopre le celle nascondendole senza pregiudicare il funzionamento. Il modulo si «mimetizza» nella continuità estetica dell'ambiente in cui viene installato. Può sopportare un elevato carico statico, non teme solventi chimici e agenti atmosferici. È realizzato con materiali anche naturali o da riuso. Occorrono 223 coppi per produrre 1 kWp, l'efficienza PV è bassa.

PRESTAZIONI

Peso (kg)	1.5	Carico statico al pezzo (kg)	500
Protezione	IP 68	Efficienza del modulo	6.29
Temperatura di funzionamento (C°)	60 / 85	Potenza di picco (Wp)	4.5
Infiammabilità	HB		

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche



Con malta o colle



Leganti e fissaggi meccanici



Descrizione posa in opera

Gli elementi in cotto sono collegati tra loro attraverso un connettore a vite

PARAMETRI DI CONFRONTO

 Uso residenziale: **SI**

 Idoneo per Ristrutturazioni: **SI**

 Salva Spazio: **SI**

 Impatto visivo: **NESSUNO**

 Incentivi Fiscali: **SI**

 Costo Iniziale: **ALTO**

 Manutenzione: **BASSA**

 Zone Costiere: **NO**

POSIZIONAMENTO



Produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili

Pannello integrato fotovoltaico e termico



CARATTERISTICHE

Pannello integrato fotovoltaico e solare termico per la produzione contemporanea, di energia elettrica ed acqua calda per riscaldamento.

Grazie a questa integrazione, sistema permette il raffreddamento del PV, abbattendone la temperatura di esercizio migliorandone quindi l'efficienza.

Sul retro del modulo viene applicato un collettore di alluminio il quale trasferisce il calore del pannello fotovoltaico ad un sistema a circuito chiuso di acqua/glicole. Attraverso un normale scambiatore di calore acqua/acqua o acqua/aria, il sistema a circuito chiuso cede il calore raccolto dall'impianto.

PRESTAZIONI

Potenza Nominale (WP/m ²) Con irraggiamento medio di 1000 W/m ²	<input type="text" value="127"/> <input type="text" value="145"/>	Resistenza agli urti (mm)	<input type="text" value="25"/>
Efficienza (%)	<input type="text" value="12.7"/> <input type="text" value="14.5"/>	Resistenza a impatto (ms)	<input type="text" value="23"/>
Coefficiente perdita di potenza (%/C°)	<input type="text" value="-0.47"/>	Carico Massimo (Pa)	<input type="text" value="5400"/>
Massa Volumica (kg/m ³)	<input type="text" value="459"/>		

PROCEDURE DI FISSAGGIO

Con giunzioni metalliche



Con malta o colle



Leganti e fissaggi meccanici



Descrizione posa in opera

I pannelli vengono fissati tramite profili metallici.

PARAMETRI DI CONFRONTO

 Uso residenziale: **SI**

 Idoneo per Ristrutturazioni: **SI**

 Salva Spazio: **SI**

 Impatto visivo: **BASSO**

 Incentivi Fiscali: **SI**

 Costo Iniziale: **MEDIO**

 Manutenzione: **BASSA**

 Zone Costiere: **SI**

POSIZIONAMENTO



APPENDICE A: Diagnosi energetica realizzata su un edificio residenziale di proprietà dell'ATER del comune di Roma finalizzata ad una riqualificazione energetico ambientale

di Agostinelli Sofia

A.1 Inquadramento territoriale dell'edificio oggetto di studio nel quartiere San Saba a Roma

Nell'ambito del patrimonio immobiliare della regione Lazio è stato individuato un edificio residenziale reale da assoggettare agli interventi di efficientamento sopra descritti, quantificando, di conseguenza, attraverso apposita simulazione, i risparmi energetici ottenuti. L'edificio in questione è ubicato nel quartiere San Saba (Rione XXI di Roma), detto popolarmente "piccolo Aventino", e risale agli inizi degli anni '20. Affaccia, nel suo lato maggiore, orientato verso nord nord-ovest, su via Vincenzo Camuccini, mentre i lati più corti della struttura sono adiacenti a via Bramante e via Giovanni Battista Piranesi.

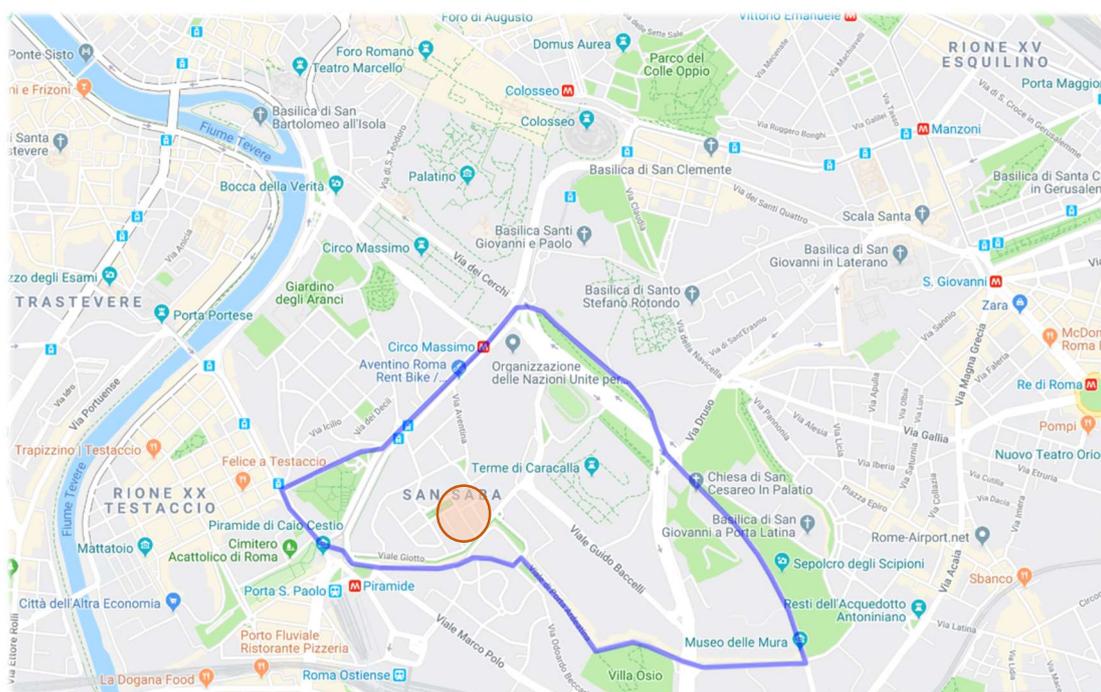


Figura 52. Individuazione del quartiere San Saba di Roma

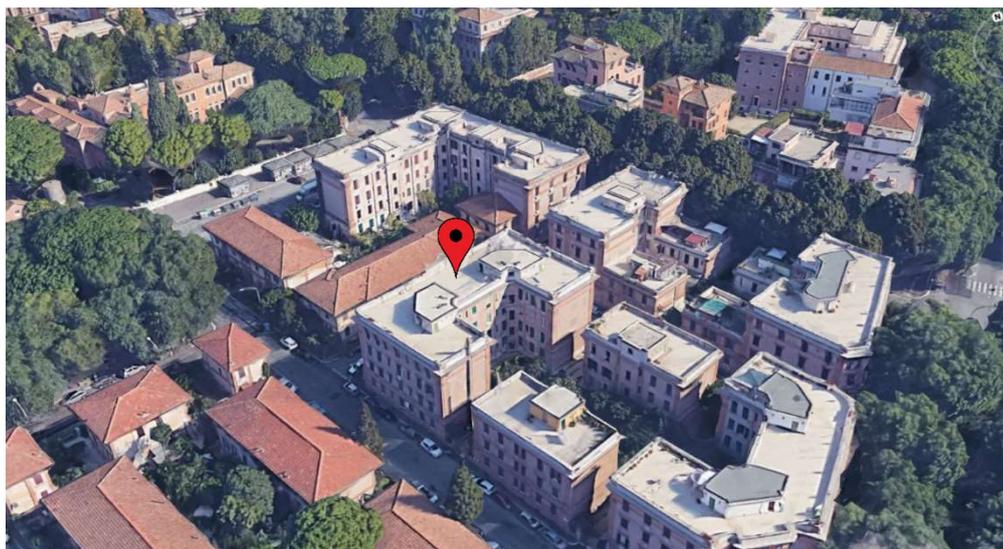


Figura 53. Individuazione dell'edificio oggetto dell'intervento



Figura 54. Facciata dell'edificio su via Vincenzo Camuccini

L'edificio, costruito a partire dal 1921, ha una forma simmetrica rispetto ad un asse normale al lato lungo ed è caratterizzato da 4 livelli più un piano sotterraneo. Ogni livello abitato è costituito da dieci appartamenti di metratura medio-piccola. Avendo avuto a disposizione le planimetrie originali, anche in formato *dwg*, si è proceduto alla sua modellazione BIM tramite software Revit con specifico riguardo agli aspetti legati all'involucro (pareti verticali opache, trasparenti) e agli impianti/sistemi di illuminazione.

A.2 Analisi energetica dell'edificio

 AUTODESK
REVIT

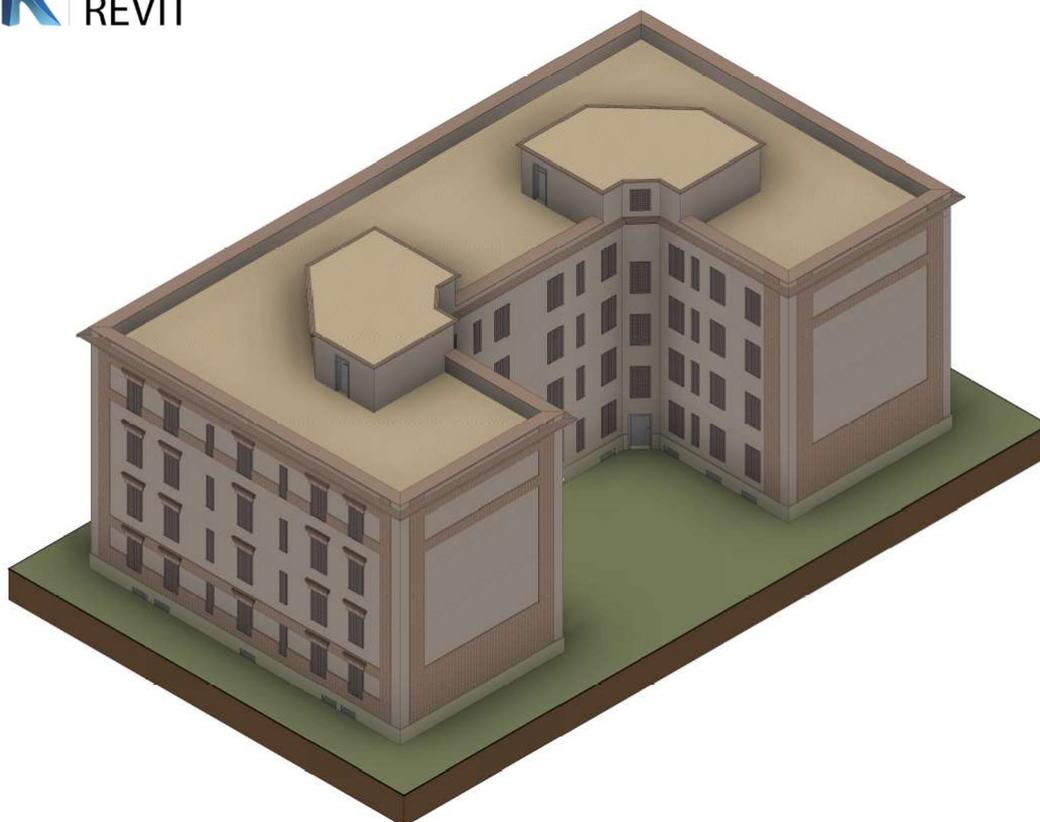


Figura 55. Modellazione 3D dell'edificio

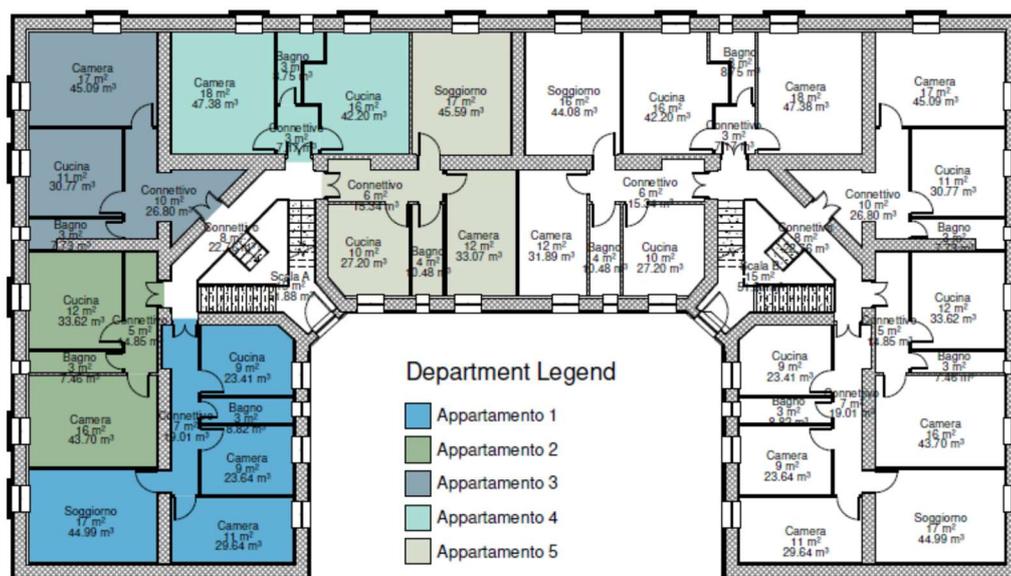


Figura 56. Planimetria dell'edificio

In linea con le indicazioni del presente documento, si è provveduto ad effettuare inizialmente una diagnosi energetica dell'edificio in esame attraverso il software di calcolo semi dinamico Archi-Energy. È stato valutato lo "Stato di fatto" dove sono stati inseriti *in primis* i dati generali dell'edificio (superfici, volumi, numero livelli, esposizione, superficie pareti opache e vetrate, illuminazione in termini di W/m^2 , ecc.). Per alcuni campi specifici sono stati mantenuti i valori medi standard impostati per *default* dal software stesso, anche perché l'obiettivo della simulazione è stato quello di verificare la riduzione di consumi elettrici dell'edificio ottenuti dagli interventi di riqualificazione delle chiusure opache, trasparenti e ai sistemi di illuminazione rispetto ad una condizione di partenza predefinita. Pertanto, è stato sviluppato un uovo foglio di calcolo riferito a ciascuno dei tre singoli interventi più un foglio conclusivo che tiene conto dell'apporto congiunto delle tre azioni di riqualificazione energetica.

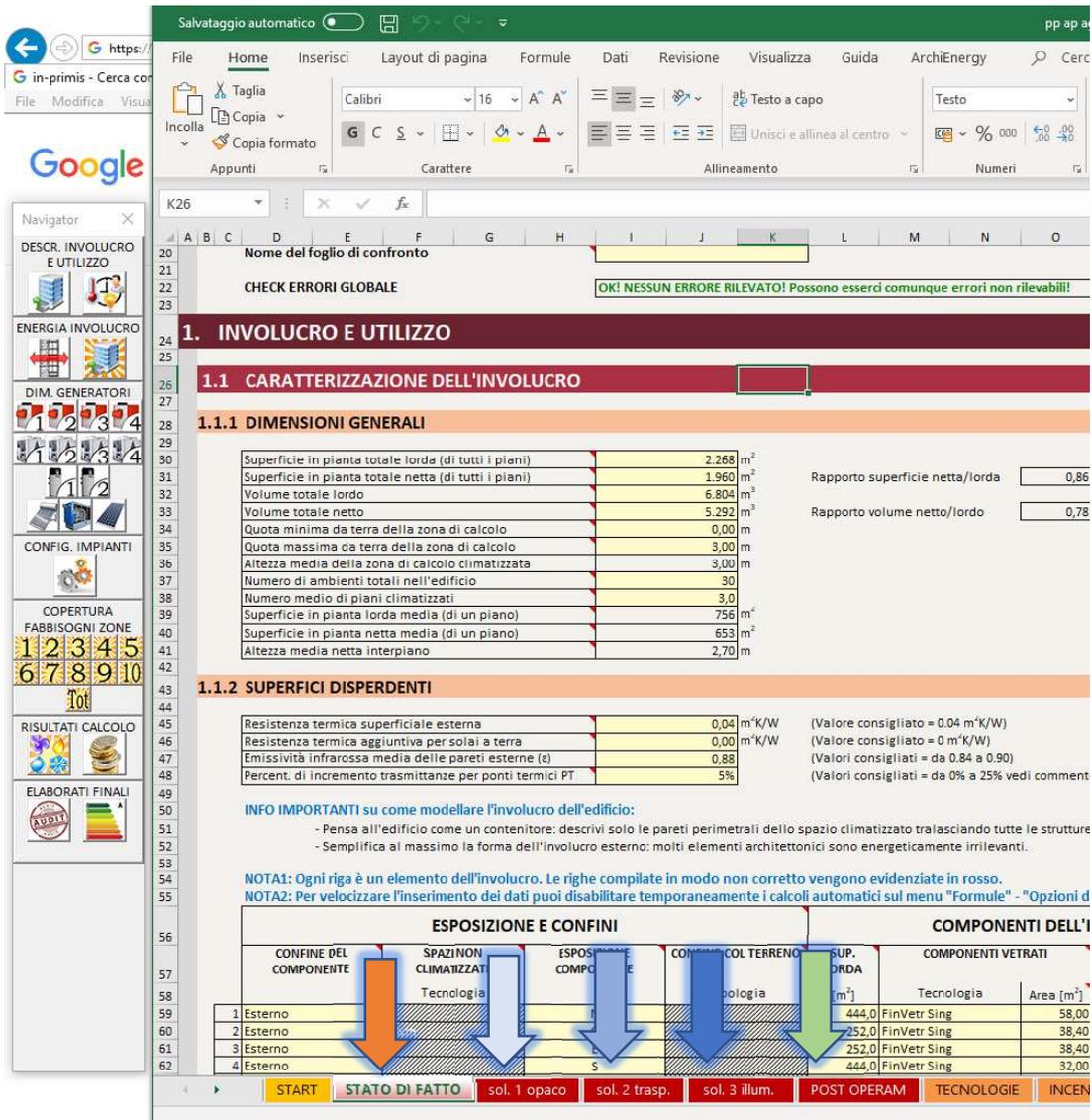
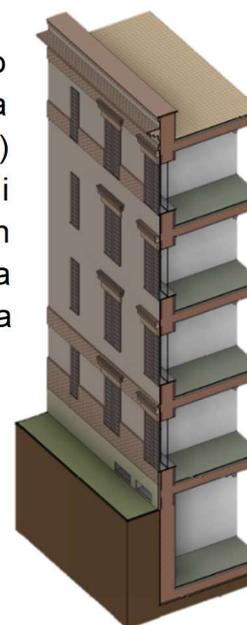


Figura 57. Caratterizzazione dell'edificio su ArchiEnergy

A.2.1 Chiusure verticali opache e trasparenti

Le **pareti verticali opache** dell'involucro dell'edificio in oggetto sono caratterizzate da un pacchetto murario riconducibile alla muratura a sacco con ricorso di mattoni, consistente in due paramenti (muri) realizzati in mattoni paralleli e distanziati fra loro (aventi la funzione di cassero di contenimento e finitura superficiale), riempiti all'interno con una miscela di pietrisco e avanzi di lavorazione dei paramenti, legati da malta di cemento o di calce. Il valore della trasmittanza termica dell'intero pacchetto murario è riassunto dalla seguente tabella.



Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/ m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,41	0,05
Muratura in blocchi di pietra	20	2.300	1,70	0,24
Sacco di malta e pietrame	30	1.600	0,90	0,30
Muratura in mattoni pieni	20	2.300	0,47	0,24
Intonaco esterno	2	1.800	0,90	0,02
U TOTALE	0,94 W/(m²K)			

Tabella 17. Stratigrafia della parete perimetrale opaca

Per migliorare le caratteristiche termiche delle chiusure verticali opache si è optato per un intervento di isolamento all'interno dell'edificio mediante applicazione di uno strato termo-isolante in pannelli di polistirene espanso sinterizzato caratterizzato da una conducibilità termica di 0,035 W/(mK). Di seguito il calcolo della trasmittanza risultante dopo l'intervento sopra descritto.

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,41	0,05

Pannelli in polistirene espanso sinterizzato	8	120	0,035	2,28
Muratura in blocchi di pietra	20	2.300	1,70	0,24
Sacco di malta e pietrame	30	1.600	0,90	0,33
Muratura in mattoni pieni	20	2.300	1,70	0,24
Intonaco esterno	2	1.800	0,90	0,02
U TOTALE	0,29 W/(m²K)			

Tabella 18. Stratigrafia della parete perimetrale opaca post-interventi

Quindi, da una trasmittanza totale iniziale di 0,94 W/(m²K) applicando uno strato isolante all'interno della muratura esistente (spessore 8 cm), si è passati ad un valore di 0,29 W/(m²K) con un conseguente miglioramento dell'“Indice di prestazione energetica globale non rinnovabile” (EP_{gl,nren}) dell'edificio del 14,2 %.

In termini di costi, gli interventi sulle chiusure opache dell'edificio comportano una spesa di € 55.134.

Le **chiusure verticali trasparenti** dell'edificio preso in esame presentano degli infissi con telaio in legno a vetro singolo con una trasmittanza stimata di: $U_w = 5,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Per un miglior efficientamento dell'involucro trasparente si opta per la sostituzione dei serramenti con infissi che hanno le seguenti caratteristiche:

- Telaio in alluminio a taglio termico;
- Vetrocamera 4-12-4 con Argon e trattamento basso emissivo;

Mediante la sola sostituzione dei serramenti esistenti con infissi nuovi si è passati ad un valore di trasmittanza termica di 1,84 W/(m²K) ad infisso, con un conseguente miglioramento della prestazione energetica globale (EP_{gl,nren}) dell'edificio pari a 8,9%.

In termini di costi, gli interventi sulle chiusure trasparenti dell'edificio comportano una spesa di € 50.040.

A.2.2 Sistemi di illuminazione

I sistemi di illuminazione dell'edificio sono tutti dotati di lampade a incandescenza, tranne le apparecchiature installate nei bagni e nelle cucine di ciascuna abitazione che invece montano lampade alogene. Per queste tipologie di sorgenti luminose, come noto, è buona norma considerare un valore medio di potenza luminosa pari a 10 W/m². In linea con le indicazioni dei paragrafi precedenti, si è provveduto ad effettuare una simulazione con il software di calcolo Archi-Energy, considerando una sostituzione di tutte le lampade con

nuove a tecnologia LED, le quali, avendo un'efficienza luminosa maggiore rispetto alle lampade convenzionali, determinano valori di potenza luminosa pari a circa $1,3 \text{ W/m}^2$. Sono stati mantenuti i valori standard medi di utilizzo/accensione dei sistemi illuminanti, così come impostati per default nel software, congrui alla destinazione d'uso residenziale della struttura. Il dato, in termini di lux, introdotto nell'apposito campo dell'applicativo è, invece, un valore medio ricavato tenendo conto dei livelli standard di illuminamento e comfort visivo previsti per i differenti locali dalla norma EN-12464.

La situazione iniziale (stato di fatto) prevedeva un "Indice di prestazione energetica globale non rinnovabile" ($EP_{gl,nren}$) pari a $110,3 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$. Attuando l'intervento in parola il valore di $EP_{gl,nren}$ è sceso al $66 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$, con una riduzione di circa il 40%. In termini di costi la sostituzione delle lampade convenzionali con quelle a tecnologia LED ha determinato la seguente tabella di analisi dalla quale si evince che l'esecuzione dell'intervento per l'intero edificio comporta una spesa di € 1.976,00.

	loCALE	Superficie (m ²)	Lux necessari (EN 12464-1)	Flusso luminoso necessario	lampada LED (watt)	Costo lampadina (1) (€)
appartamento n. 1	Connettivo	7	100	700	10	7,00
	Cucina	9	250	2250	12	8,00
	Soggiorno	17	200	3400	22	14,00
	Bagno	3	150	450	4	5,00
	Camera 1	9	150	1350	12	10,00
	Camera 2	11	150	1650	15	11,00
appartamento n. 2	Connettivo	5	100	500	8	8,00
	Cucina	12	250	3000	16	12,00
	Bagno	3	150	450	4	5,00
	camera	16	150	2400	22	14,00
appartamento n. 3	Connettivo	10	100	1000	15	11,00
	Cucina	11	250	2750	15	11,00
	Bagno	3	150	450	4	5,00
	camera	17	150	2550	22	14,00
appartamento n. 4	Connettivo	3	100	300	4	5,00
	Cucina	16	250	4000	22	14,00
	Bagno	3	150	450	4	5,00
	camera	18	150	2700	25	15,00
appartamento n. 5	Connettivo	6	100	600	8	8,00
	Cucina	10	250	2500	15	11,00
	Bagno	4	150	600	6	7,00
	Soggiorno	17	200	3400	22	14,00
	camera	12	150	1800	18	12,00
aree comuni	connettivo	8	100	800	10	7,00
	scala	15	100	1500	20	14,00
Costo totale lampade LED per nr 5 unità abitative (€)						247,00
Costo totale lampade LED per nr 10 unità abitative (nr 1 livello) (€)						494,00
costo totale edificio (€)						1.976,00
<i>(1) il prezzo indicato per ogni singola lampada deriva da una media ricavata da un set di prezzi desunti da indagini di mercato svolta sul web. Sono state considerate lampade led a luce naturale/calda (circa 3500°K o 2500°K) con efficienza luminosa compresa tra 90 e 120 ovvero classificabili con classe di efficienza energetica A+ o A++.</i>						

Tabella 19. Costi per l'efficientamento dell'impianto di illuminazione

A.3 Applicazione congiunta di tutti gli interventi

L'ultimo foglio di calcolo elaborato con il software Archi-Energy, denominato "post-operam", tiene conto dell'applicazione congiunta dei tre interventi sopra indicati. Rispetto alla situazione iniziale (stato di fatto) in cui il valore di EP_{gl,nren} risulta pari a 110,3 kWh/m²anno, le azioni congiunte di efficientamento dell'edificio in termini di chiusure opache, trasparenti

e dei sistemi di illuminazione, ha determinato un indice $EP_{gl,nren}$ pari a **41,3 kWh/m²anno**, con una riduzione di circa il **63%**. Di seguito una tabella che sintetizza i dati descritti, comprensiva anche dei costi da sostenere per la realizzazione degli interventi di efficientamento.

Tipologia intervento	Prestazione Energetica globale	% efficientamento	Riduzione effettiva	Risparmio annuo per l'intero edificio (1)	Risparmio annuo (2)	Costo interventi su intero edificio
	(Kwh/m2 anno)		(Kwh/m2 anno)	(Kwh/anno)	(€)	(€)
STATO DI FATTO	111,6	//	//	//	//	//
Intervento su involucro opaco	94,6	14,20%	17	33320	2.065,84 €	55.134,00 €
Intervento su involucro trasparente	100,5	8,90%	11,1	21756	1.348,87 €	50.040,00 €
Intervento su illuminazione	66	40,86%	45,6	89376	5.541,31 €	1.976,00 €
Totale (POST OPERAM)	41,3	62,99%			8.956,02 €	107.150,00 €

Tabella 20. Prestazione energetica e costi degli interventi

Come evidente, il costo complessivo sostenuto potrà essere ammortizzato in circa 12 anni. Il periodo è piuttosto esteso, tuttavia devono essere considerati i seguenti aspetti che, indubbiamente, possono rendere vantaggiosa, in termini di costo-efficacia, l'implementazione degli interventi sopra esposti.

- Lo stato di conservazione degli edifici della regione Lazio, specie quelli ad uso residenziale, è mediocre-pessimo, quindi, la riqualificazione dell'involucro dell'edificio e delle sue componenti si sarebbe dovuta comunque attuare. Tuttavia, la legislazione vigente impone determinati requisiti specifici e valori limite dei parametri caratteristici degli elementi edilizi (chiusure opache, trasparenti, ecc.) negli edifici esistenti sottoposti a riqualificazione energetica, in particolare in termini di trasmittanza termica "U", anche al fine di poter usufruire degli incentivi statali di cui sotto.
- Il caso studio, connesso alle linee guida descritte, è volto ad analizzare i vantaggi di una riqualificazione energetica effettuata su "involucro" (opaco e trasparente) e sui sistemi illuminanti dell'edificio. È noto tuttavia, come descritto in premessa, che esistono altre tipologie di interventi di efficientamento (installazione di pannelli solari per la produzione di ACS, impianto fotovoltaico per produzione di energia elettrica, sistemi di cogenerazione, sistemi HVAC più efficienti ed efficaci, ecc.). Di conseguenza, con l'applicazione congiunta di altre attività si sarebbero potuti ottenere indubbiamente risultati più soddisfacenti;
- Possibilità di usufruire degli incentivi statali⁵⁴ e dunque di detrarre parte delle spese: il 65% delle spese sostenute per *riqualificazione energetica* e il 50% delle spese derivanti da *ristrutturazione edilizia*.

⁵⁴ Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2020 e bilancio pluriennale per il triennio 2020 – 2022 (legge di Bilancio 2020) approvato dal Consiglio dei Ministri nella seduta del 15 ottobre 2019 in cui sono prorogati, tra l'altro, i criteri per le detrazioni riqualificazione energetica (65%) e per la ristrutturazione edilizia (50%) così come già introdotte dalla Legge n. 205 del 27 dicembre 2017 - Bilancio di previsione dello Stato per l'anno finanziario 2018 e bilancio pluriennale per il triennio 2018-2020.

APPENDICE B: Diagnosi energetica realizzata su un edificio non residenziale di proprietà della Camera dei Deputati finalizzata all'individuazione di interventi di riqualificazione energetica

di Cumo Fabrizio

B.1 Presentazione generale del sito

L'edificio oggetto della diagnosi energetica è Palazzo "ex Banco Napoli" appartenente ai vari edifici di proprietà della Camera dei Deputati. Il Palazzo, compreso tra via del giardino Theodoli, via del Parlamento e via del Corso, è sede degli uffici amministrativi e conserva ancora nell'ampio salone centrale gli antichi sportelli bancari.

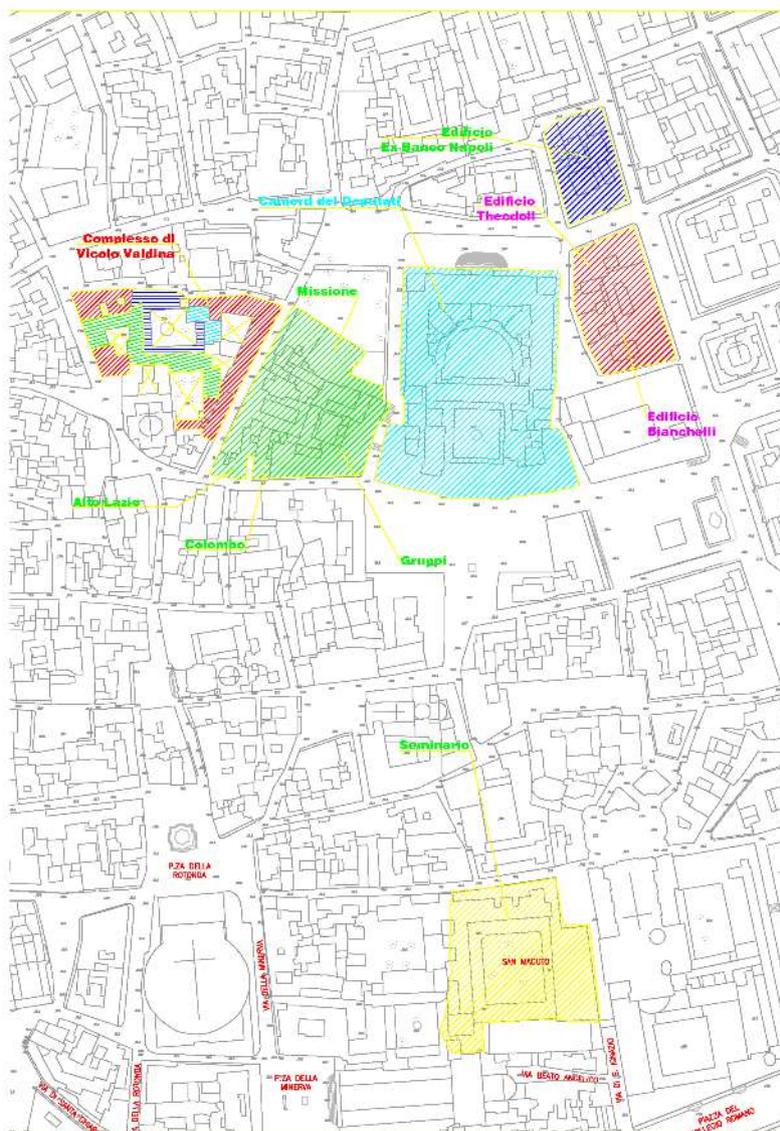


Figura 58. Panoramica del sito

Il Banco Napoli si inserisce all'interno della città storica rientrando nel tessuto di origine medioevale (T1) come definito dalle Norme tecniche del PRG vigente nel comune di Roma. Si tratta di specifiche morfologie d'impianto dei "Tessuti di origine medievale" (T1) della Città Storica condizionati da alcuni grandi edifici speciali antichi sia nell'impianto planimetrico che nelle strutture in elevazione. All'interno dei Tessuti suddetti, caratterizzati anche in altre parti dalla irregolarità e tortuosità della viabilità come esito di lenti e progressivi adattamenti a preesistenti percorsi e tessuti seriali ma anche dalla regolarità geometrica e progettata delle riconfigurazioni rinascimentali, i processi secolari di riutilizzo, scomposizione e ricomposizione delle preesistenti grandi strutture a funzione pubblica di epoca romana è ancora chiaramente leggibile nelle geometrie dispositive degli spazi aperti e degli edifici richiedendo quindi una specifica attenzione, negli interventi di recupero, alla salvaguardia di questo straordinario palinsesto.

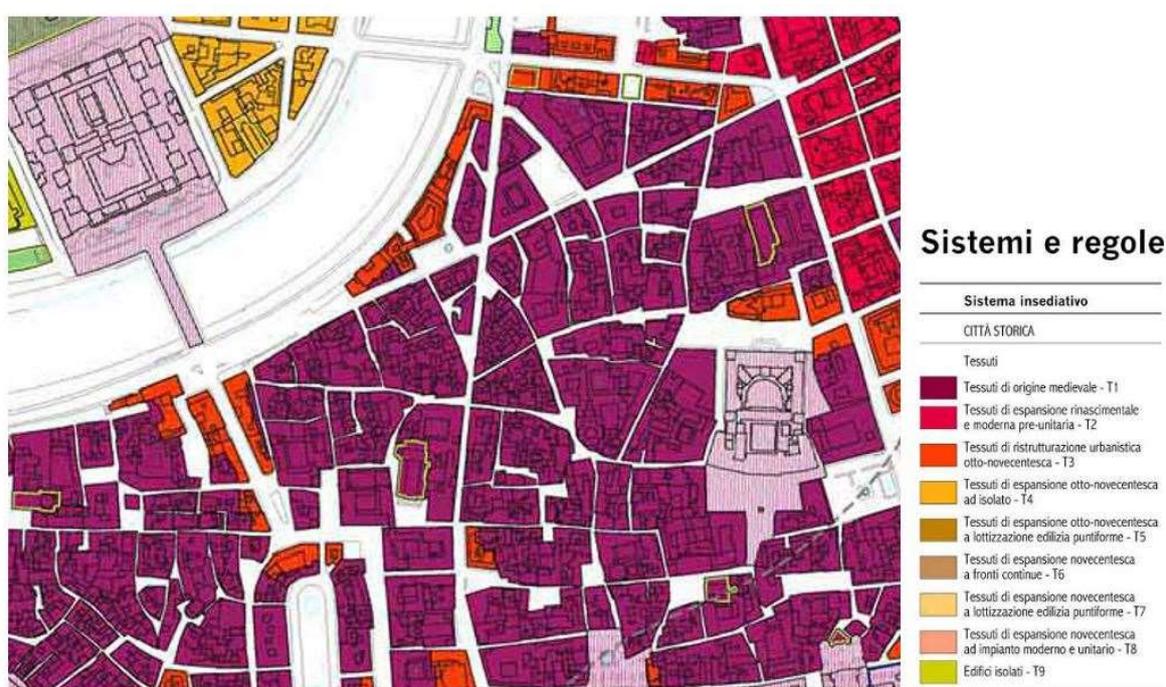


Figura 59. Tessuto urbanistico in cui ricade Palazzo ex Banco Napoli

Ferme restando le norme dei "Tessuti di origine medioevale" (T1, art. 22), gli interventi di recupero di cui alle categorie ammesse, nel confermare il disegno della viabilità e dell'edificazione esistente con le specifiche regole dovranno prestare particolare attenzione alla presenza e alla conservazione dei resti degli edifici speciali antichi sulle cui fondamenta e con le strutture dei quali si è realizzato il processo di edificazione dei secoli successivi, garantendo nel contempo la salvaguardia delle giaciture e delle tessiture murarie che testimoniano tale processo di stratificazione nel tempo.



Figura 60. Vista dell'edificio

B.2 Descrizione del “sistema edificio-impianto”

L'edificio preso in esame risulta abbastanza semplice dal punto di vista impiantistico. Essendo però un bene di notevole interesse storico, e quindi soggetto a vincoli di vario tipo, gli interventi sull'intero sistema edificio-impianto vanno pianificati in una visione strategica che tenga conto dell'elevato pregio del complesso garantendone la massima efficienza dal punto di vista dei consumi energetici. La fase del rilievo del complesso è stata inoltre impostata reperendo dati e informazioni finalizzate alla realizzazione di un modello 3D in ambiente BIM.

Gli ambienti climatizzati dell'edificio sono mantenuti a temperatura uniforme attraverso più impianti di climatizzazione e diverse tecnologie, centralizzate e non. Il processo manutentivo degli impianti tecnologici viene condotto in funzione delle aree e degli edifici che negli anni la Camera dei Deputati ha preso in gestione o in caso di manutenzioni straordinarie. È stato quasi sempre necessario attuare gli interventi manutentivi caso per caso senza una visione d'insieme del complesso. Nella presente analisi energetica sono stati individuati i principali impianti tecnologici, di climatizzazione ed elettrici, e sono state individuate e definite le zone termiche ad esse asservite, ciascuna zona è stata caratterizzata per superficie e volume in relazione ai piani all'interno degli edifici.

Il modello del sistema edificio-impianto finale è risultato articolato tramite i volumi analizzati. I dati sono stati elaborati successivamente in Archi-Energy che ha restituito i valori di calcolo dell'involucro della tabella che segue.

Superficie in pianta netta dei piani	4.673 m ²
Superficie in pianta lorda dei piani	6.676 m ²
Volume netto	17.636 m ³
Volume lordo	25.195 m ³

Tabella 21. Dati caratteristici

La struttura portante è costituita da muratura in pietra. Le chiusure opache verticali sono rivestite tutte da intonaco senza isolamento e le chiusure trasparenti di diverse geometrie sono tutte composte da telaio in legno con taglio termico con vetrocamera. Le coperture sono del tipo non isolato termicamente e si differenziano in due tipologie: praticabile con pavimentazione e non praticabile.

Dal punto di vista delle caratteristiche termiche è stato individuato un tipo di parete verticale, in muratura piena non isolata con intercapedine, lo spessore totale di circa 40 cm, con qualche minima variazione. La trasmittanza termica media della struttura è pari a 1,15 W/m²K. Dal punto di vista del paramento esterno siamo in presenza di pannelli prefabbricati in calcestruzzo brecciato, con presenza di ricorsi e piccoli aggetti in corrispondenza delle parti finestrate, che sono in un ottimo stato di manutenzione, essendo, per la natura dello stesso materiale costituente l'elemento edilizio, praticamente indistruttibili.

Il solaio di copertura è del tipo non isolato costituito da pavimentazione in marmette di cemento. La sua trasmittanza termica è di 1,51 W/m²K. Il solaio inferiore è invece caratterizzato da una trasmittanza pari a 1,34 W/m²K. La superficie totale è pari a circa 1.007 m².

I serramenti presenti sono costituiti da doppio vetro 4 - 12 - 4 con telaio in legno con taglio termico. Da un'analisi delle caratteristiche termiche, la tipologia di serramento semplice ha una trasmittanza termica 3,74 W/m²K. Tutte le superfici finestrate classiche hanno schermature solari costituite da persiane. La superficie totale degli elementi vetrati è di 450 m².

Di seguito si riporta la tabella di riepilogo dei dati complessivi dell'involucro del complesso.

CONFINE DEL COMPONENTE	ESPOSIZIONE E CONFINI			SUP. LORDA [m ²]	COMPONENTI DELL'INVOLUCRO				OMBR				
	SPAZI NON CLIMATIZZATI Tecnologia	ESPOSIZIONE COMPONENTE	CONFINE COL TERRENO Tipologia		COMPONENTI VETRATI		COMPONENTI OPACHI		OSTRUZIONI ORIZZONTALI		AGGIE ORIZZONTALI		
					Tecnologia	Area [m ²]	Tecnologia	Area [m ²]	Tipo	Presenza %	Orizz. Tipo	Vert. Tipo	Pi
1 Esterno		N		499,0	FinVetr Doppio	48,00	ParMur NonIso	451,0	Edificio	12%			
2 Esterno		E		1.008,0	FinVetr Doppio	192,20	ParMur NonIso	815,8	Edificio	40%			
3 Esterno		S		720,0	FinVetr Doppio	95,75	ParMur NonIso	624,3	Edificio	80%			
4 Esterno		O		892,0	FinVetr Doppio	160,80	ParMur NonIso	731,2	Edificio	60%			
5 Esterno		OR-A		651,0			ParMur NonIso	651,0					
6 Terrano		OR-B	Controtterra	1.701,0			SolTerr NonIso	1.701,0					
7								0,0					
8								0,0					
9								0,0					
10								0,0					
11								0,0					

Figura 61. Dati di riepilogo dell'involucro

Il Palazzo ex Banco Napoli è collegato alla rete elettrica locale di ACEA, con un punto di consegna in Media Tensione a 20.000 V. Al primo piano seminterrato dell'edificio è posizionata la cabina di trasformazione MT/BT. A valle di questa sono posizionati i quadri generali di bassa tensione. Le varie utenze sono raggruppate in tre linee differenti che garantiscono un diverso livello di sicurezza di alimentazione.

Complessivamente sono presenti più sistemi di produzione e distribuzione dei fluidi termovettori. Il lavoro di reperimento dati per quanto riguarda la parte impiantistica è stato condotto effettuando dei sopralluoghi con l'obiettivo di individuare gli impianti di climatizzazione e le posizioni delle UTA⁵⁵, la loro potenza e le zone servite dal singolo impianto. È possibile suddividere ciascun impianto di climatizzazione in cinque macro-componenti:

- generazione (termica e frigorifera);
- distribuzione (del fluido termovettore);
- regolazione (di centrale, dei terminali d'utenza);
- emissione (terminali d'utenza);
- accumulo (se presente).

L'impianto è realizzato mediante caldaie tradizionali a gas naturale poste sul piano di copertura dell'edificio che producono anche acqua calda sanitaria ad integrazione dei pannelli solari posizionati sul lato di via del Parlamento. Sempre in copertura sono posizionati i gruppi frigoriferi e le 4 UTA a servizio della Banca e degli uffici del Palazzo.

La centrale termica è posizionata in copertura del Palazzo corpo A in un apposito locale riportato nella seguente figura.



Figura 62. Locale adibito a centrale termica

All'interno sono presenti n.4 caldaie tradizionali (marca BONGIOVANNI modello BONGAS 2/14) con potenzialità di 263,3 kW ciascuna alimentate a gas naturale.

La centrale termica presenta attualmente un sistema di termoregolazione sufficientemente aggiornato. La modalità di termoregolazione sopraindicata presenta però alcune inefficienze ed introduce diverse problematiche legate alla qualità dell'aria. Negli ambienti di lavoro serviti dai fancoils si verifica il surriscaldamento dell'aria a causa della temperatura troppo

⁵⁵ Unità Trattamento Aria

elevata del fluido termovettore (nel caso specifico, 70°C contro i tipici 55/50°C). La centrale termica è sempre in funzione, in quanto deve garantire la copertura del fabbisogno per la produzione di ACS.

A lato della centrale termica sempre sul corpo di fabbrica A lato via del Parlamento, sono posizionate le due pompe di calore (marca Carrier, modello 30RQ 0402-0129-PEE) con potenzialità di 362 kW ciascuna, che costituiscono la centrale frigorifera. La termoregolazione della centrale frigorifera agisce attraverso un'unica lettura centralizzata dai vari circuiti serviti. In particolare, a seguito del decremento della temperatura di ritorno, diminuirà il carico frigorifero erogato dal gruppo.



Figura 63. Gruppi frigoriferi a pompa di calore



Figura 64. Pompe e valvole di regolazione della centrale frigorifera

Nei differenti corpi di fabbrica sono presenti in copertura tre differenti UTA oltre ad una posizionata nei locali sotterranei.

UTA Banca e Atrio A	Marca: Atisa 17.500 m ³ /h
UTA Uffici lato A	Marca: Atisa 6.000 m ³ /h
UTA Uffici lato B- C - D	Marca: Atisa 12.500 m ³ /h
UTA Sotterraneo	Marca: Atisa 6.000 m ³ /h

Tabella 22. Caratteristiche delle UTA



Figura 65. UTA uffici lato B-C-D

Sono inoltre presenti tre impianti VRF dislocati su due corpi dell'edificio a servizio dell'atrio, dei locali Polizia e dell'area di controllo visitatori.

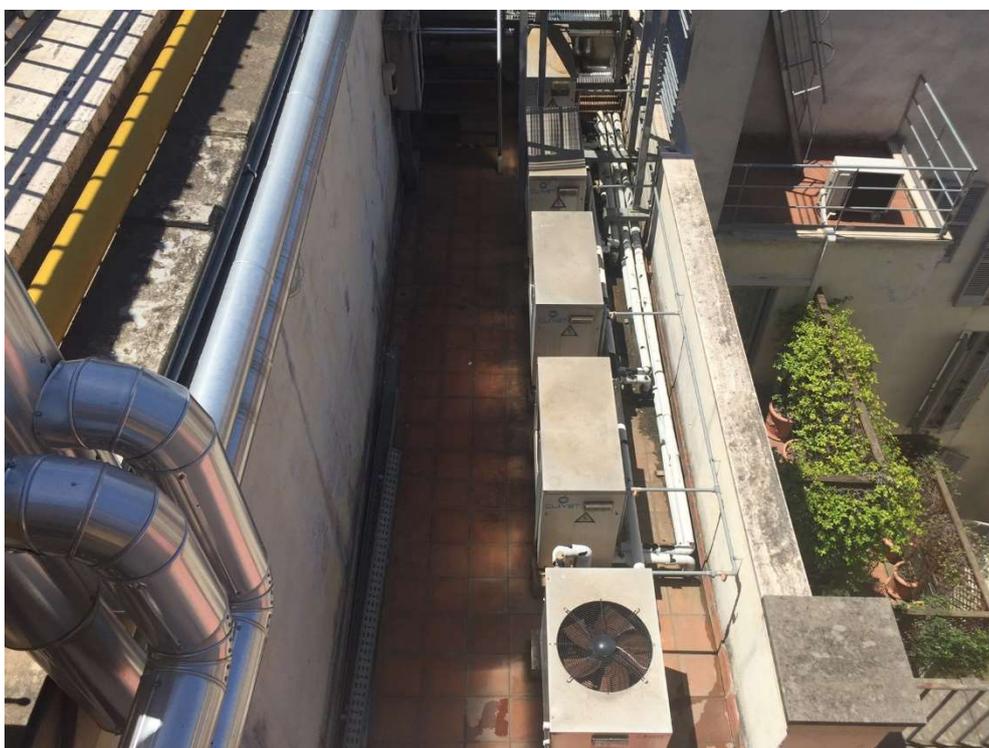


Figura 66. Unità esterne delle VRF

La produzione di acqua calda sanitaria avviene presso la centrale termica in copertura integrata da un sistema di 13 collettori solari riportati nella figura seguente. La superficie totale dei collettori è di 26 m² con una produzione complessiva di circa 4.000 kWh annui.



Figura 67. Impianto solare termico per la produzione di ACS

B.3 Analisi dei consumi energetici e valutazione dei costi di esercizio

L'edificio presenta un punto di collegamento alla rete nazionale di distribuzione del gas naturale e un punto di consegna dell'energia elettrica.

Il consumo desunto dalle letture progressive del contatore del gas naturale nel 2018 (36.793 Sm³/anno) risulta molto vicino a quello calcolato con il modello edificio-impianto (40.292 Sm³/anno) sviluppato con un software commerciale che utilizza una metodologia di calcolo stazionaria e normalizzata. Lo scostamento è in gran parte attribuibile alla metodologia di calcolo dettata dalle normative vigenti che di fatto, non considerano la diminuzione di temperatura negli ambienti climatizzati durante i periodi di spegnimento degli impianti. Tale assunzione comporta una sovrastima dei consumi di circa il 10%.

Nell'analisi energetica è stato utilizzato il valore calcolato dal modello, in quanto non tiene conto dell'effetto delle stagioni.

Attualmente non sono presenti contatori dedicati a registrare i consumi del gruppo frigorifero e degli altri componenti dell'impianto di climatizzazione. In mancanza di questi dispositivi, appare, quindi, opportuno valutare l'assorbimento elettrico del gruppo frigorifero, partendo dalle bollette dell'energia elettrica. Il consumo elettrico annuo registrato nel 2018 è pari a 379 MWh.

Si suppone che i gruppi frigoriferi siano in funzione a partire da maggio fino ad ottobre. I consumi elettrici del mese di aprile risulterebbero, dunque, al netto dei consumi frigoriferi: di

conseguenza possono essere assunti come base rispetto alla quale valutare il peso dei consumi del gruppo frigorifero nei mesi estivi.

Nella seguente tabella si riportano i consumi di energia elettrica, di energia termica e i costi di approvvigionamento dell'energia. Dal punto di vista ambientale l'emissione di CO₂ associata ai consumi energetici è pari a 188 ton/anno.

Vettore energetico	Energia (Sm ³)	Energia (MWh)	Costo unitario (€)	Costo annuo (€)
Gas naturale	36.793	393	0,8 €/Sm ³	29.435
Energia elettrica	---	379	0,1736 €/kWh	65.795

Tabella 23. Consumi energetici e valutazione dei costi

B.4 Interventi di riqualificazione energetica

Gli interventi sono stati valutati attraverso il software Archi-Energy messo a punto da professori e ricercatori della Facoltà di Architettura della Sapienza – Università di Roma.

L'attuale classe energetica dell'edificio è la C con un EP_{gl,nren} pari a 112,5 kWh/m²anno. Il buon risultato è dovuto ad un discreto comportamento generale dell'involucro "storico" dotato di buona massa e inerzia termica. La presenza di configurazioni impiantistiche centralizzate da una parte ne aumenta l'efficienza energetica complessiva mentre dall'altra non permette un'analisi precisa. Tale fatto è dovuto anche all'approvvigionamento di fluidi termovettori da altre centrali termiche e una sovrapposizione di configurazioni impiantistiche in alcuni casi ridondanti con un effetto additivo e non moltiplicativo delle efficienze energetiche finali.

Gli interventi sull'involucro sono stati mirati alla conservazione dei caratteri morfologici, architettonici e costruttivi dell'edificio esistente, in quanto presenta dei limiti storici e architettonici. Non sono previsti pertanto interventi esterni sull'involucro. Di seguito vengono analizzati dal punto di vista economico i singoli interventi proposti e successivamente le due soluzioni proposte.

B.4.1 Pellicole filtranti sui vetri

Uno degli interventi proposti riguarda il montaggio mediante incollaggio di pellicole filtranti sui vetri degli infissi che apportano una riduzione dei carichi termici dovuto alle rientrate di calore estive. Viene applicato alla totalità delle superfici finestrate, che sono pari a 450 m². Dato l'attuale prezzo del metano di 0,80 €/Sm³, si riporta il valore del risparmio economico ottenibile con l'applicazione delle pellicole filtranti.

Tipologia di intervento	Superficie (m ²)	Costo totale dell'intervento (€)	Risparmio totale (€/anno)	Tempo di ritorno (anni)
Pellicole filtranti	450	55.600	5.600	>9

Tabella 24. Risparmio economico ottenibile dall'applicazione delle pellicole filtranti

B.4.2 Sostituzione degli infissi

In alternativa all'intervento precedente, è possibile sostituire i serramenti con altri in PVC caratterizzati da triplo vetro 4-10-4-10-4 a bassa emissività, alla totalità delle superfici finestrate che sono pari a circa 450 m².

Tipologia di intervento	Superficie (m ²)	Costo totale dell'intervento (€)	Risparmio totale (€/anno)	Tempo di ritorno (anni)
Sostituzione infissi	450	108.000	4.220	>25

Tabella 25. Risparmio economico ottenibile con la sostituzione degli infissi

B.4.3 Coibentazione delle pareti verticali interne

L'intervento prevede la realizzazione di un isolamento termico interno con pannelli composti da 6 cm di coibente e 1,3 cm di cartongesso. Questa soluzione permette di raggiungere un valore di trasmittanza pari a 0,218 W/m²K minore del valore limite richiesto di 0,24 W/m²K.

Tipologia di intervento	Superficie (m ²)	Costo totale dell'intervento (€)	Risparmio totale (€/anno)	Tempo di ritorno (anni)
Isolamento interno	1.510	121.078	6.687	18

Tabella 26. Risparmio economico ottenibile con l'isolamento termico delle pareti interne

B.4.4 Sostituzione dei corpi illuminanti con nuovi elementi a LED

All'interno dell'edificio sono installate principalmente lampade fluorescenti. Per migliorare l'efficienza energetica è possibile usufruire della tecnologia LED caratterizzata da:

- maggior rapporto unitario flusso luminoso per potenza assorbita dalla rete (lm/W) che si traduce, a parità di flusso luminoso (lumen), in una minore quantità di energia elettrica utilizzata;
- maggior vita utile dei corpi illuminanti a LED, stimabile in 60.000 h, contro le 10.000 h delle normali lampade fluorescenti.

Per ottimizzare l'intervento è conveniente prevedere la sostituzione solamente di quei corpi illuminanti caratterizzati da un elevato numero di ore di funzionamento. Nel caso specifico sono state prese in considerazione tutte le stanze più utilizzate dell'edificio, circa 270. Per valutare la potenza dei LED di cui si propone l'installazione sarà, invece, utilizzata la seguente relazione in cui è stata stimata una riduzione della potenza installata del 35%, in virtù del maggior rapporto unitario flusso luminoso per potenza assorbita dalla rete (lm/W).

$$\text{Potenza}_{\text{LED}} = 0,65 * \text{Potenza}_{\text{fluorescenti}} [W]$$

Complessivamente dovranno essere sostituite una media di 12 lampade a stanza, per un totale complessivo di 25.000 €. Il calcolo è stato effettuato prevedendo la sostituzione delle singole sorgenti luminose; qualora ciò non fosse possibile e cioè si rendesse necessario la sostituzione dell'intero corpo illuminante, la valutazione economica andrebbe aggiornata considerando costi aggiuntivi da valutare caso per caso. Si consiglia inoltre di prevedere l'installazione di sensori di presenza negli ambienti di ultima generazione i quali oltre a spegnere le luci in caso di assenza regolano il flusso luminoso in funzione delle persone presenti e della luce naturale in ingresso dalle finestre.

Tipologia di intervento	N. corpi illuminanti	Costo totale dell'intervento (€)	Risparmio totale (€/anno)	Tempo di ritorno (anni)
Sostituzione dei corpi illuminanti	3.240	25.000	6.097	4

Tabella 27. Risparmio economico ottenibile con la sostituzione dei corpi illuminanti

B.4.5 Sostituzione delle caldaie

Analizzata l'attuale situazione impiantistica, i gruppi frigo a pompa di calore a servizio della climatizzazione estiva e i sistemi VRF sono di recente installazione e pertanto presentano delle buone prestazioni termiche. Al contrario le caldaie a servizio della climatizzazione invernale presentano un rendimento globale basso e pertanto l'unico intervento sugli impianti proposto è la sostituzione delle 4 caldaie tradizionali con caldaie a condensazione per un costo complessivo di euro 141.840.

Tipologia di intervento	N. caldaie	Costo totale dell'intervento (€)	Risparmio totale (€/anno)	Tempo di ritorno (anni)
Sostituzione delle caldaie	4	141.840	11.805	12

Tabella 28. Risparmio economico ottenibile con la sostituzione delle caldaie

B.4.6 Soluzioni proposte

Le due soluzioni proposte differiscono per l'intervento sui serramenti. La prima soluzione prevede l'applicazione delle pellicole solari sui vetri congiuntamente all'isolamento termico delle pareti interne, la sostituzione dei corpi illuminanti e delle caldaie. La seconda differisce dalla precedente per la sostituzione dell'intero infisso in sostituzione all'applicazione delle pellicole solari.

Intervento	Costo (€)	Tempo di ritorno (anni)
Pellicole solari per infissi	55.600	>9
Isolamento pareti verticali	121.078	18
Sostituzione lampade LED	25.000	4
Sostituzione caldaie	141.840	12
Costo Totale (€)	343.518	>11

Tabella 29. Soluzione 1

Intervento	Costo (€)	Tempo di ritorno (anni)
Sostituzione infissi	108.000	>9
Isolamento pareti verticali	121.078	18
Sostituzione lampade LED	25.000	4
Sostituzione caldaie	141.840	12
Costo Totale (€)	395.918	>13

Tabella 30. Soluzione 2

Il quadro complessivo dei flussi economici complessivi di esercizio viene riportato nel certificato di diagnosi energetica elaborato con Archi-Energy ed è pari ad un risparmio di 30.189 €/anno per la soluzione 1 e 28.809 €/anno per la soluzione 2. Si tiene quindi conto dei risparmi conseguiti dall'acquisto di energia e sulla gestione e la manutenzione, con un tempo di ritorno dell'investimento di 11 anni e 13 anni rispettivamente per la soluzione 1 e 2.

La soluzione 2 rispetto alla precedente, presenta indici economici meno favorevoli ma la sostituzione degli infissi, al posto delle semplici pellicole oscuranti migliora il comfort ambientale abbattendo sensibilmente il disturbo dovuto ai rumori provenienti dall'esterno.

B.5 Conclusioni

L'analisi energetica del Palazzo ex Banco Napoli è stata condotta con l'obiettivo di individuare eventuali interventi di miglioramento dell'efficienza energetica di un edificio legato a vincoli storici e di un elevato pregio architettonico, e di valutare le opportunità di

risparmio energetico in termini di costi-benefici, avendo una visione completa dell'edificio da riqualificare. È stata effettuata un'analisi dello stato di fatto, attraverso la verifica in situ degli impianti. È stato poi sviluppato un modello del "sistema edificio-impianto", grazie al software Archi-Energy e alla modellazione 3D in ambiente BIM, che ha permesso di definire i fabbisogni di energia primaria dell'edificio oggetto di studio.

La presenza di impianti di produzione del caldo e del freddo con tecnologie a pompa di calore permettono di ottenere maggiori efficienze in quanto sono tecnologie riconosciute dalla normativa italiana quali fonti di energia rinnovabile. Ciò incide anche sulla metodologia di calcolo di Archi-Energy il quale assegna delle buone prestazioni al sistema edificio-impianto.

L'obiettivo di una diagnosi energetica è quindi non solo quello di individuare la classe energetica di appartenenza dell'edificio oggetto di studio, ma anche e soprattutto quello di proporre degli interventi migliorativi valutando l'investimento economico, il risparmio energetico annuo ed il beneficio che l'intero edificio riceve.

APPENDICE C: Incentivi per gli interventi di efficientamento energetico

di Sforzini Matteo

L'efficienza energetica e l'utilizzo delle fonti rinnovabili sono due elementi fondamentali per raggiungere gli obiettivi di sostenibilità ambientale ed avviare un percorso virtuoso che consenta di tenere sotto controllo l'aumento della temperatura terrestre entro i 2 °C rispetto all'era preindustriale. I percorsi da seguire sono stati indicati dalle Direttive dell'Unione Europea, a partire dal piano "20 20 20" avviato nel 2009, recepiti poi nei Piani Nazionali dai singoli Stati. Per raggiungere gli obiettivi prefissati, ogni Stato ha disposto diversi incentivi fiscali ed economici destinati ai cittadini privati, Pubblica Amministrazione e imprese, con lo scopo di favorire investimenti che, altrimenti, sarebbero economicamente impegnativi. Infatti, in alcuni casi, come per la Pubblica Amministrazione, i potenziali interventi sono di difficile attuazione a causa della mancanza di fondi rispetto al fabbisogno complessivo, rispetto al quale l'energia spesso occupa un ruolo secondario. Questi inconvenienti possono essere superati in molti casi grazie ad incentivi o finanziamenti di terze parti e alle Energy Service Companies (ESCO). Gli incentivi statali possono coprire un ruolo importante nel contribuire sensibilmente alla riduzione dei tempi di ritorno dell'investimento finalizzato agli interventi di efficientamento energetico.

Le ESCo sono soggetti che hanno trovato una propria classificazione nel D.Lgs 115/2008 e nella norma tecnica UNI CEI 11352. Secondo l'approccio adottato dalla Commissione Europea, le ESCo si differenziano dalle ESPC (Energy Service Provider Companies), ovvero dalle società che operano offrendo servizi energetici senza avere le seguenti caratteristiche:

- la garanzia del risparmio energetico o l'offerta di un servizio a costi energetici inferiori;
- la remunerazione direttamente collegata al risparmio energetico conseguito dall'utente;
- finanziamento del cliente, utilizzando il finanziamento di terzi o con mezzi propri, o comunque assistenza nell'accesso al credito.

C.1 Il ruolo delle Energy Service Companies

Una ESCo è un'azienda in grado di fornire tutti i servizi tecnici, commerciali e finanziari necessari per realizzare un intervento di efficienza energetica, assumendosi l'onere dell'investimento e il rischio di un mancato risparmio, a fronte della stipula di un contratto in cui il loro vengono stabiliti i profitti. Il contratto di prestazione energetica (EPC⁵⁶) è il tipico modello utilizzato dalle ESCo. L'articolo 2 della direttiva 2012/27/CE e del decreto ministeriale 07/07/2014 n.102, definisce l'EPC, come "l'accordo contrattuale tra il beneficiario e il fornitore di una misura di miglioramento dell'efficienza energetica, verificato e monitorato durante l'intera durata del contratto, laddove siano effettuati investimenti

⁵⁶ EPC - Energy Performance Contract

(lavori, forniture o servizi) nell'ambito della misura basata su un livello stabilito di miglioramento dell'efficienza energetica contrattualmente o su altri criteri di prestazione energetica concordati, come il risparmio finanziario." L'EPC prevede che la ESCo realizzi interventi di riqualificazione e miglioramento dell'efficienza energetica degli impianti e degli edifici di proprietà del cliente. L'investimento è generalmente a carico della ESCo, che può avvalersi di mezzi finanziari propri o di terzi. Per tutta la durata del contratto, il cliente riconosce alla ESCo parte del risparmio energetico generato dalle misure di efficienza affinché la ESCo recuperi l'investimento iniziale. Esistono diverse tipologie di contratto a disposizione delle ESCo in funzione della condivisione del rischio e della copertura del finanziamento, in particolare:

- *First out*: i risparmi energetici conseguiti sono interamente utilizzati per pagare il finanziamento dell'intervento;
- *Risparmio condiviso*: solo una parte del risparmio contribuisce al recupero dell'investimento iniziale;
- *Risparmio garantito*: la ESCo si impegna a garantire che i risparmi non siano inferiori a un minimo concordato, stabilito sulla base delle attività di audit energetico;

Il contratto del tipo "First Out" prevede che la stessa ESCo fornisca direttamente il capitale o ricorra ad istituti di credito terzi. I risparmi energetici conseguiti sono interamente utilizzati per ripagare il finanziamento dell'intervento e remunerare l'attività della ESCo. Alla scadenza del contratto, che di solito dura circa 3-5 anni, il risparmio va interamente al cliente che diventa proprietario degli impianti e dei lavori eseguiti. Con questa tipologia di contratto la ESCo incassa il 100% del risparmio ottenuto e mantiene la proprietà dell'impianto fino alla scadenza contrattuale, dopodiché lo stesso viene trasferito alla proprietà del cliente. Anche per la seconda tipologia di contratto (Risparmio condiviso) la ESCo fornisce il capitale da fonti proprie o avvalendosi di istituti di credito terzi; tuttavia, le parti convengono di condividere i proventi del risparmio. I contratti hanno una durata maggiore (generalmente di circa 5-10 anni) in considerazione del fatto che solo una parte del risparmio contribuisce al recupero dell'investimento iniziale. Durante l'esecuzione del contratto la proprietà degli impianti e delle opere resta a carico della ESCo e alla scadenza contrattuale viene trasferita al cliente. Come nel modello First Out, oltre al rischio tecnico insito nella performance a cui è legata la sua remunerazione, la ESCo si assume anche il rischio finanziario. Infine, il modello di contratto "Risparmio garantito" prevede che il creditore sia una terza parte diversa dalla ESCo e dal cliente ma in questo caso è il cliente che firma il prestito, mentre la ESCo assume normalmente il ruolo di reperimento e organizzazione del finanziamento, oltre a garantire un certo livello di prestazioni al quale riceve il compenso dal cliente. Il contratto normalmente dura circa 4-8 anni. La ESCo si impegna essenzialmente a garantire che i risparmi non siano inferiori ad un minimo concordato, stabilito sulla base delle analisi di fattibilità. La garanzia di risparmio si esprime attraverso formule che prevedono un risarcimento a favore del cliente in caso di consumi superiori a quello garantito; se, invece, i risparmi sono superiori alle attese, questi andranno normalmente a vantaggio del cliente. In questa formula contrattuale, il cliente finale finanzia la progettazione e l'installazione degli interventi di miglioramento dell'efficienza, assumendosi l'obbligo contrattuale di pagamento e il conseguente rischio di credito. Il ruolo della ESCo è trovare finanziamenti assumendosi

il rischio tecnico legato al successo della riqualificazione. La ESCo inoltre si impegna a garantire che i risparmi non siano inferiori a un minimo concordato, stabilito sulla base delle attività di audit.

I vantaggi di queste tipologie di contratti sono essenzialmente:

- l'assenza di oneri finanziari per il cliente;
- il trasferimento alla ESCo di tutti i rischi tecnici e finanziari (considerato che il corrispettivo e il recupero dei costi sono entrambi legati all'ammontare del risparmio ottenuto);
- l'opportunità di beneficiare dell'esperienza e della competenza specialistica che la ESCo offre nel settore dell'efficienza energetica.

Le criticità, invece, possono essere riassunte come segue:

- la necessità di un'attenta valutazione del progetto al fine di stabilire la durata del contratto;
- la necessità di una stima realistica e precisa del possibile consumo di riferimento;
- la complessità strutturale che il contratto stesso presenta;
- la scarsa conoscenza dello strumento da parte del cliente e del sistema bancario.

Per risolvere parzialmente queste criticità, l'Allegato 13 alla Direttiva 2012/27/CE specifica gli elementi minimi che devono essere inclusi nei contratti di prestazione energetica sono:

- un elenco chiaro e trasparente delle misure di efficienza da applicare o dei risultati da ottenere in termini di efficienza;
- il risparmio garantito da conseguire applicando le misure previste dal contratto;
- la durata e gli aspetti fondamentali del contratto, le modalità e i termini previsti;
- un elenco chiaro e trasparente degli obblighi che incombono su ciascuna parte contrattuale;
- tempi di riferimento per la determinazione dei risparmi realizzati;
- un elenco chiaro e trasparente delle fasi di attuazione di una misura o di un pacchetto di misure e, se del caso, dei relativi costi;
- l'obbligo di attuare integralmente le misure previste dal contratto e la documentazione di tutte le modifiche apportate durante il progetto;
- le disposizioni che disciplinano l'inclusione di requisiti equivalenti in eventuali concessioni di appalti di terzi;
- un'indicazione chiara e trasparente delle implicazioni finanziarie del progetto e della quota di partecipazione delle due parti al risparmio pecuniario realizzato;
- le disposizioni chiare e trasparenti per la quantificazione e la verifica dei risparmi garantiti conseguiti, controlli di qualità e garanzie;
- le disposizioni che chiariscono la procedura per la gestione delle modifiche delle condizioni quadro che incidono sul contenuto e sui risultati del contratto (ad esempio, variazioni dei prezzi dell'energia, intensità di utilizzo di un impianto);
- le informazioni dettagliate sugli obblighi di ciascuna delle parti contraenti e sulle sanzioni in caso di inadempienza.

C.2 Il ruolo del Gestore dei Servizi Energetici

Il Gestore dei Servizi Energetici (GSE) svolge un ruolo centrale nello sviluppo delle fonti rinnovabili in Italia. L'attività principale è la promozione, anche attraverso l'erogazione di incentivi economici, dell'energia elettrica e termica prodotta da fonti rinnovabili. Il GSE è responsabile dell'attuazione dei meccanismi di promozione dell'efficienza energetica e promuove la cultura dell'uso dell'energia compatibile e sostenibile con le esigenze dell'ambiente. In particolare, il GSE gestisce i flussi economici e finanziari che riguardano i meccanismi di incentivazione delle fonti rinnovabili. Nel dettaglio, oltre ad organizzare, gestire ed incentivare la produzione di energia da fonti rinnovabili, gestisce per conto del Ministero dello Sviluppo Economico, il sistema nazionale dei certificati per l'immissione in consumo di biocarburanti, al fine di sviluppare la filiera dei biocarburanti sostenibili, il meccanismo dei Certificati Bianchi e quello del Conto Termico. Infine, supporta le istituzioni per l'attuazione delle politiche energetiche attraverso la fornitura di studi, dati e consulenze tecniche e le pubbliche amministrazioni attraverso la fornitura di servizi energetici specialistici e svolge attività di informazione e formazione rivolte agli operatori del settore e ai cittadini per promuovere la conoscenza dei diversi meccanismi di supporto alle rinnovabili. Nei paragrafi successivi vengono descritti dettagliatamente i più importanti meccanismi di incentivazione direttamente gestiti dal GSE e non.

C.3 Certificati Bianchi o Titoli di Efficienza Energetica

I Certificati Bianchi, o Titoli di Efficienza Energetica (TEE) rappresentano il più importante strumento per incentivare l'efficienza energetica nelle imprese e nella Pubblica Amministrazione. Si tratta di titoli negoziabili che vengono forniti in base ai risparmi negli usi finali di energia, conseguiti con interventi di efficientamento energetico. Per ogni tonnellata equivalente di petrolio (tep) risparmiata viene riconosciuto un TEE, per un numero di anni compreso tra 3 e 10 a seconda del progetto. Il valore economico di un TEE può variare nel tempo. Il meccanismo dei TEE è stato introdotto con il D.M. del 20 luglio 2004 ed è rivolto esclusivamente ad imprese e alla Pubblica Amministrazione. I Certificati Bianchi sono rilasciati dal Gestore dei Mercati Energetici (GME), una società del gruppo GSE, sulla base delle certificazioni di risparmio conseguite. L'ARERA⁵⁷ ha definito le regole tecniche ed economiche per l'attuazione del meccanismo e annualmente ripartisce gli obiettivi nazionali tra i distributori di energia elettrica e gas naturale secondo i criteri definiti dal decreto. Infatti, i Soggetti obbligati, a raggiungere un obiettivo di miglioramento dell'efficienza energetica sono proprio i distributori di energia elettrica e/o gas con un parco di clienti finali superiore alle 50.000 unità. Gli obiettivi sono in aumento nel tempo, e possono essere raggiunti attraverso la realizzazione di interventi per i consumatori finali (es. installazione di apparecchi o caldaie ad alta efficienza, isolamento termico degli edifici, interventi per aumentare l'efficienza energetica dei processi industriali, lampadine ad alto rendimento ecc.) che ne beneficiano direttamente in termini di riduzione del dispendio energetico. Per

⁵⁷ ARERA – Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente

dimostrare di aver rispettato gli obblighi di risparmio energetico e di non incorrere in sanzioni da parte dell'Autorità, i distributori devono consegnare annualmente all'Autorità un numero di attestati di efficienza energetica equivalente all'obiettivo obbligatorio. In alternativa agli interventi di risparmio energetico da effettuarsi direttamente dai consumatori finali, i distributori possono scegliere di adempiere ai propri obblighi acquistando, in tutto o in parte, da terzi i Certificati Bianchi che ne attestano il conseguimento di risparmi da parte di altri soggetti (altri distributori o società operanti nel settore dei servizi energetici). Anche i Soggetti non obbligati, come ad esempio imprese e Pubblica Amministrazione, possono volontariamente realizzare progetti di efficienza energetica ed acquisire TEE. Lo scambio dei TEE avviene sia tramite contratti bilaterali sia attraverso il mercato dei Titoli di Efficienza Energetica, organizzato e gestito dal GME sulla base di regole stabilite nel 2006 dall'Autorità. La figura seguente schematizza l'intero processo.

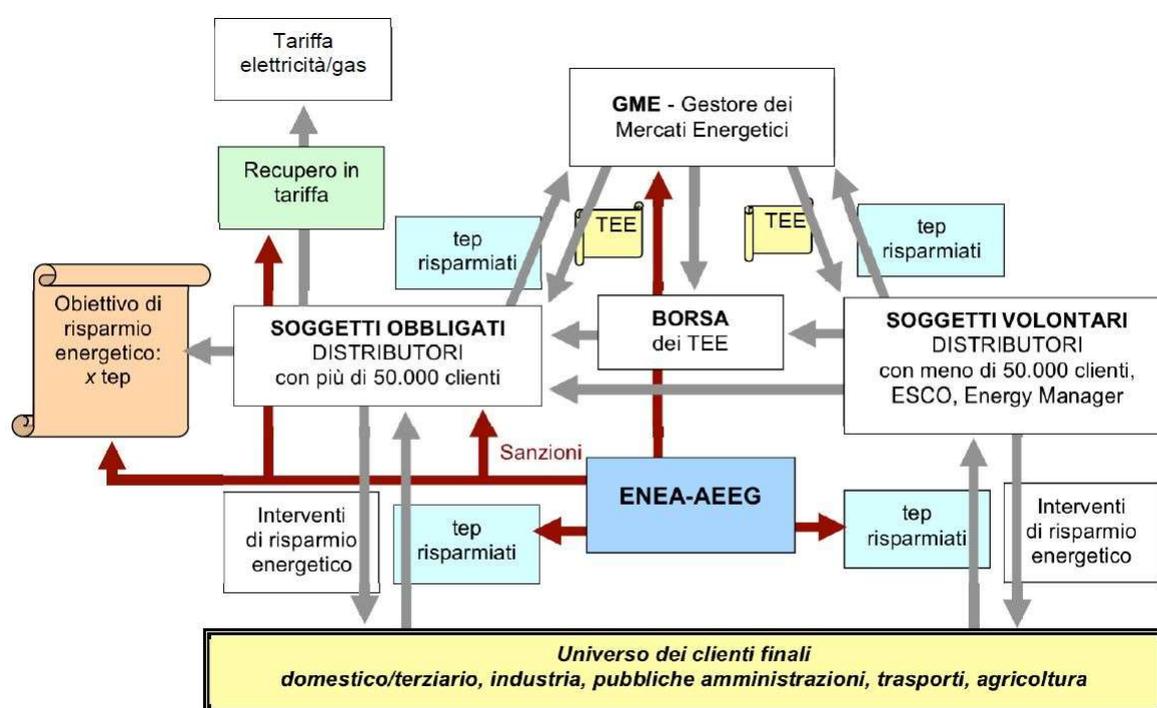


Figura 68. Meccanismo dei Certificati Bianchi

C.4 Conto termico

Il Conto Termico è stato introdotto per la prima volta dal D.M. 28/12/2012⁵⁸ con l'obiettivo di favorire gli interventi che migliorano le prestazioni energetiche degli edifici e la produzione di energia termica da fonti rinnovabili per impianti di dimensioni medio-piccole. Si tratta di un sostegno economico diretto, erogato in rate annuali costanti per una durata compresa tra 2 e 5 anni, a seconda della tipologia di intervento, oppure in un'unica soluzione se l'importo dell'incentivo non supera i 5.000 euro. Per ogni tipologia di intervento sono definite le spese ammissibili, i massimali di costo e il valore dell'incentivo, che varia dal 40 al 65%

⁵⁸ Decreto Ministeriale 28 dicembre 2012 in materia di "Incentivazione della produzione di energia termica"

della spesa sostenuta. Il D.M. 16/02/2016⁵⁹ ne ha potenziato e semplificato il meccanismo di sostegno introducendo nuovi interventi di efficienza energetica. I beneficiari del Conto Termico sono le Pubbliche Amministrazioni, le imprese, i soggetti provati, i condomini e le ESCo in possesso di certificazione UNI CEI 11352.

Gli interventi di incentivazione si dividono in due principali categorie:

- interventi di incremento dell'efficienza energetica in edifici esistenti, parti di essi o unità immobiliari esistenti;
- interventi di piccola scala per la produzione di energia termica da fonti rinnovabili e impianti ad alta efficienza in edifici esistenti, parti di essi o unità immobiliari esistenti.

Gli interventi ammessi alla prima categoria possono essere applicati solo su edifici della Pubblica Amministrazione (anche tramite ESCo). In particolare, per Pubbliche Amministrazioni si intendono tutte le Amministrazioni dello Stato (compresi istituti e scuole di ogni ordine e grado), gli ex Istituti Autonomi Case Popolari, le Cooperative sociali e quelle di abitanti. Gli interventi possono essere così sintetizzati:

- isolamento termico delle superfici opache che delimitano il volume climatizzato;
- sostituzione delle chiusure trasparenti compresi gli infissi che delimitano il volume climatizzato;
- sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale con generatori di calore a condensazione;
- installazione di sistemi di schermatura e/o ombreggiatura di chiusure trasparenti con esposizione da ESE a O, fisse o mobili, non trasportabili;
- trasformazione in "edifici a energia quasi zero";
- sostituzione dei sistemi di illuminazione interna e degli apparecchi esterni esistenti con sistemi di illuminazione efficienti;
- installazione di tecnologie di gestione e controllo automatico (building automation) di impianti termici ed elettrici, compresa l'installazione di impianti di termoregolazione e contabilizzazione.

Gli interventi della seconda categoria, illustrati di seguito, possono essere applicati sia su edifici della Pubblica Amministrazione che su edifici privati.

- sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale esistenti con impianti di climatizzazione invernale mediante pompe di calore elettriche o a gas, anche geotermiche (con potenza termica utile nominale fino a 2.000 kW);
- sostituzione degli impianti di condizionamento o riscaldamento invernale delle serre esistenti e degli edifici rurali esistenti con generatori di calore alimentati a biomasse (con potenza termica nominale fino a 2.000 kWt);
- Installazione di collettori solari termici, anche abbinati a sistemi di solar cooling (con superficie solare lorda fino a 2.500 m²);
- sostituzione scaldacqua elettrici con scaldacqua a pompa di calore;

⁵⁹ Decreto Interministeriale 16 febbraio 2016 reca l'aggiornamento delle discipline per l'innovazione dei piccoli interventi di incremento dell'efficienza energetica e per la produzione di energia termica da fonti rinnovabili cui al DM 28 dicembre 2012 (c.d. Conto termico).

- sostituzione dei sistemi di climatizzazione invernale esistenti con sistemi ibridi a pompa di calore.

Le richieste di incentivi devono essere presentate al Gestore dei Servizi Energetici il quale, se ottemperano ai requisiti stabiliti dal decreto, fornirà il contributo finanziario. L'ammontare dell'incentivo è calcolato secondo specifici algoritmi che tengono conto dell'ubicazione dell'edificio e del grado di efficienza dell'intervento effettuato. Sono previste due tipologie di accesso al contributo: "accesso diretto" e la "prenotazione dell'incentivo". La prenotazione dell'incentivo è una modalità riservata esclusivamente alle PA la quale consente di prenotare l'incentivo attraverso un'apposita scheda-domanda a preventivo. In caso di accettazione della richiesta di prenotazione, il GSE procede ad impegnare la somma corrispondente all'incentivo spettante. L'accesso diretto permette invece di presentare la richiesta di incentivo solo a seguito della conclusione dell'intervento entro 60 giorni e rappresenta l'unica forma utilizzabile dai soggetti privati.

L'incentivo del Conto Termico non può essere riconosciuto agli interventi per la cui realizzazione siano concessi altri incentivi statali, fatti salvi i fondi di garanzia, i fondi di rotazione e i contributi in conto interesse. Non è quindi cumulabile con altre tipologie di incentivo quali la detrazione fiscale e/o i Certificati Bianchi.

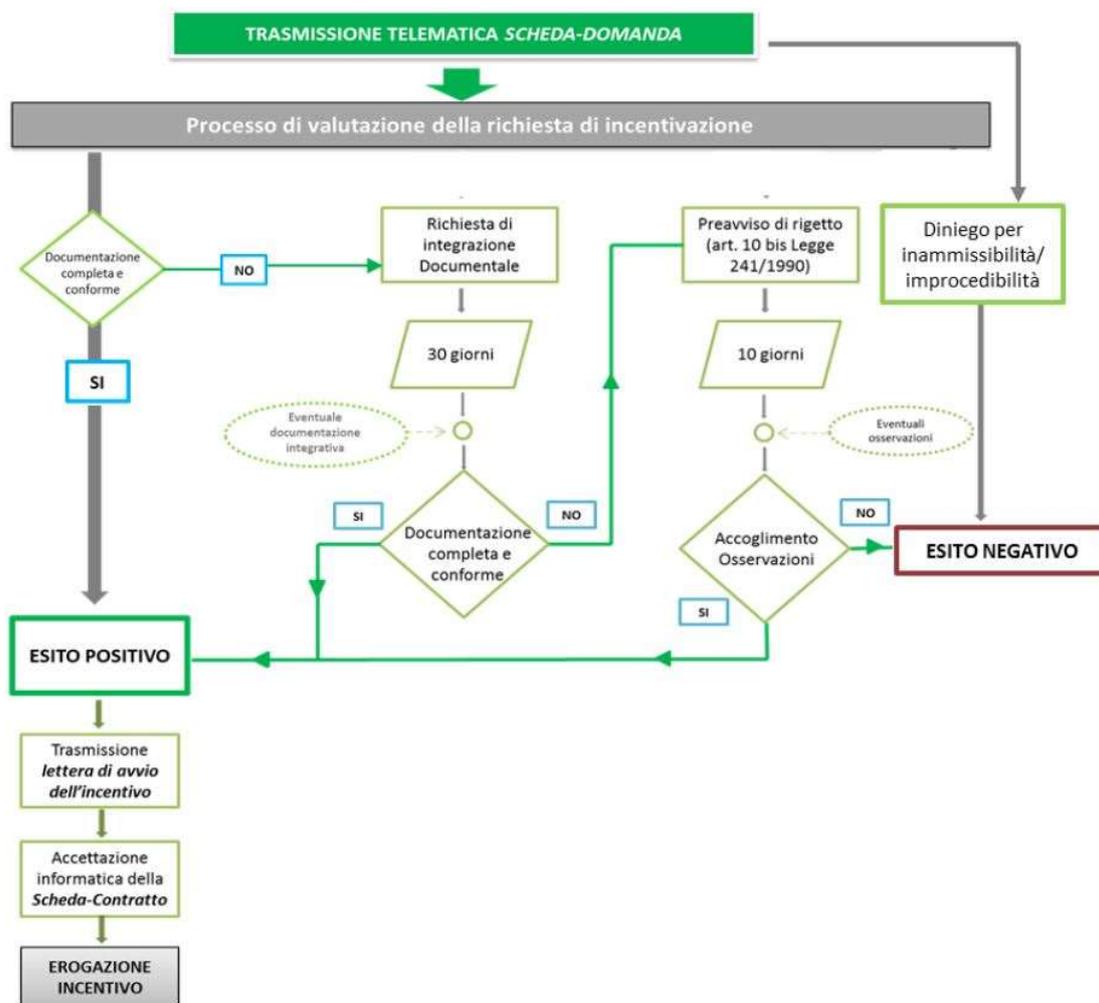


Figura 69. Meccanismo del Conto Termico

C.5 Detrazione fiscale

Con la legge 296/06 sono stati introdotti incentivi per gli interventi di efficienza energetica sotto forma di detrazione fiscale per favorirne la diffusione su larga scala. Il beneficio consiste nel recupero parziale delle spese sostenute per l'intervento di efficienza energetica come credito d'imposta da utilizzare in 10 anni. La percentuale di recupero va da un minimo del 50% a un massimo dell'85% a seconda del tipo di intervento effettuato. I principali interventi che accedono alla detrazione fiscale (cd "ecobonus") possono essere riassunti come segue:

- riqualificazione energetica che incide sulla prestazione energetica dell'intero edificio;
- coibentazione di strutture opache verticali e orizzontali (tetti e solai), che delimitano il volume riscaldato verso l'esterno, verso vani non riscaldati e contro terra, che rispettano i requisiti di trasmittanza termica riportati nella Tabella 2 del DM 26 gennaio 2010;
- sostituzione di serramenti comprensivi di infissi, che delimitano il volume riscaldato verso l'esterno e verso o ambienti non riscaldati rispondenti ai requisiti di trasmittanza termica, riportati nella Tabella 2 del D.M. 26 gennaio 2010;

- installazione di schermi solari e/o chiusure tecniche mobili oscuranti installati in solidarietà con l'involucro edilizio o suoi componenti ed installati all'interno, all'esterno o integrati nel piano finestrato;
- installazione di collettori solari per la produzione di acqua calda sanitaria o per uso industriale e per coprire il fabbisogno di acqua calda in piscine, impianti sportivi, case di accoglienza e di cura, scuole e università;
- sostituzione o nuova installazione di impianti di climatizzazione invernale dotati di generatori di calore alimentati a biomasse;
- sostituzione, in tutto o in parte, degli impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di caldaie a condensazione;
- sostituzione, in tutto o in parte, degli impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di pompe di calore ad alta efficienza, anche con impianti geotermici a bassa entalpia;
- sostituzione, in tutto o in parte, degli impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di apparecchi ibridi, costituiti da una pompa di calore integrata con caldaia a condensazione;
- installazione di microgeneratori per sostituire i sistemi esistenti che portano a un risparmio di energia primaria (PES) $\geq 20\%$;
- installazione di sistemi di building automation, che consentono la gestione automatica personalizzata degli impianti di riscaldamento o la produzione di acqua calda sanitaria o di condizionamento estivo, compreso il loro controllo remoto tramite canali multimediali.

La detrazione fiscale non necessita dell'approvazione di alcuna richiesta per potervi accedere fermo restando i limiti agli importi massimi di detrazione.

Il decreto-legge 19 maggio 2020, n.34 convertito dalla legge 17 luglio 2020 n.77 (cd "Decreto Rilancio") ha incrementato al 110 % l'aliquota di detrazione delle spese sostenute dal 1° luglio 2020 al 31 dicembre 2021, a fronte di specifici interventi, denominati trainanti, in ambito di efficienza energetica. Altra importante novità introdotta dal Decreto Rilancio è la possibilità di optare per un contributo anticipato sotto forma di sconto o, in alternativa, per la cessione del credito corrispondente alla detrazione spettante. Gli interventi trainanti che permettono di accedere alla detrazione del 110 % sono di seguito illustrati.

- *Isolamento termico* delle superfici opache verticali, orizzontali e inclinate che interessano l'involucro degli edifici, compresi quelli unifamiliari, con un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda dell'edificio medesimo o dell'unità immobiliare sita all'interno di edifici plurifamiliari che sia funzionalmente indipendente e disponga di uno o più accessi autonomi dall'esterno;
- *sostituzione degli impianti di climatizzazione invernale* esistenti con impianti centralizzati per il riscaldamento e/o il raffrescamento e/o la fornitura di acqua calda sanitaria sulle parti comuni degli edifici, o con impianti di riscaldamento e/o raffrescamento e/o la fornitura di acqua calda sanitaria sugli edifici unifamiliari o sulle unità immobiliari site all'interno di edifici plurifamiliari che siano funzionalmente indipendenti e dispongano di uno o più accessi autonomi dall'esterno;

- *interventi antisismici* finalizzati al miglioramento della classe sismica dell'edificio di cui ai commi bis a 1-septies dell'articolo 16 del decreto-legge n. 63 del 2013 (cd "sismabonus").

La detrazione fiscale al 110% (cd "Superbonus") spetta anche per ulteriori tipologie di interventi (trainati) a condizione che siano eseguiti congiuntamente con almeno uno degli interventi trainanti precedentemente elencati. Per interventi trainati si intendono tutti gli interventi di efficientamento energetico rientranti nell'ecobonus con l'aggiunta dell'installazione di infrastrutture per la ricarica di veicoli elettrici negli edifici, l'installazione di impianti solari fotovoltaici connessi alla rete elettrica e l'installazione contestuale o successiva di sistemi di accumulo. Gli interventi di efficientamento energetico, trainanti e gli eventuali trainati devono assicurare, nel loro complesso, anche congiuntamente agli interventi di installazione di impianti fotovoltaici con eventuali sistemi di accumulo, il miglioramento di almeno due classi energetiche ovvero, se non possibile, il conseguimento della classe energetica più alta. Possono usufruire del Superbonus gli interventi effettuati da condomini, persone fisiche, Istituti Autonomi Case Popolari, cooperative di abitazione, organizzazioni non lucrative di utilità sociale.

C.6 Fondo Nazionale per l'Efficienza Energetica

Il Fondo Nazionale per l'Efficienza Energetica è un fondo di natura rotativa che favorisce gli interventi di efficientamento energetico mediante la concessione di:

- finanziamenti a tasso agevolato;
- garanzie su singole operazioni di finanziamento.

Istituito presso il Ministero dello Sviluppo Economico (articolo 15, comma 1, del decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102), il Fondo è disciplinato dal decreto interministeriale 22 dicembre 2017. Anche in questo caso, come per il sistema dei TEE, il Fondo è destinato a sostenere gli interventi di efficienza energetica realizzati da imprese, ESCo, e Pubblica Amministrazione su immobili, impianti e processi produttivi. Sono ammessi all'incentivo per questa tipologia di intervento sia le amministrazioni pubbliche che i soggetti privati. Tale incentivo è stato riconfermato con l'aggiornamento del Conto termico da parte del DM 16 febbraio 2016. Nello specifico, gli interventi supportati devono riguardare:

- la riduzione dei consumi energetici nei processi industriali;
- la realizzazione e l'ampliamento delle reti di teleriscaldamento;
- l'efficienza dei servizi e delle infrastrutture pubbliche, compresa l'illuminazione pubblica;
- la riqualificazione energetica degli edifici.

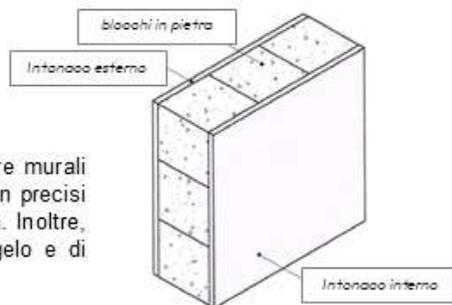
Il Fondo ha natura revolving ed è suddiviso in due sezioni che operano per concessioni di garanzie su singole operazioni di finanziamento ed erogazione di finanziamenti a tasso agevolato. La gestione del Fondo è affidata alla società Invitalia.

ALLEGATO A: Schede tecniche materiali involucro opaco

MURATURA IN PIETRA

Anni '20 - '30

Rappresenta un tipo di muratura economica assai diffusa nelle opere murali tradizionali. Per la sua realizzazione si necessita di requisiti fisici ben precisi quali la durezza, la lavorabilità, la granulosità e l'affinità con la malta. Inoltre, deve rispondere a caratteristiche chimiche quali la resistenza al gelo e di decomposizione a contatto con l'aria e l'acqua.



CARATTERISTICHE TERMICHE ANTE OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,41	0,05
Blocchi in pietra	40	3000	3,50	0,11
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	2,70 W/(m²K)			

MATERIALE ISOLANTE: PANNELLO IN FIBRA 100% DI POLIESTERE

Composto al 100% di poliestere proveniente dalla raccolta urbana differenziata, è un riciclato a bassissimo contenuto di energia grigia. Completamente riciclabile, non contiene sostanze tossiche, può essere maneggiato e posto in opera in totale sicurezza, non rilascia polveri e non irrita la pelle. Le caratteristiche tecniche e i contenuti ecologici ne fanno il prodotto ideale per ogni genere di struttura architettonica. I pannelli hanno misure standard di 600 × 1200 mm; gli spessori variano dai 10 ai 145 mm.



TIPOLOGIA DI INTERVENTO: CAPPOTTO ESTERNO

- ✗ Posa in opera senza ponteggi esterni
- ✓ Efficiente rapporto spessore/isolamento
- ✓ Buona qualità/prezzo
- ✓ Elemento prefabbricato
- ✗ Impiego per edifici vincolati
- ✓ Riciclabile/riciclato

I pannelli possono essere inseriti all'interno dell'intercapedine o a contatto con lo strato di intonaco; Sono auto adesivi, il collante standard utilizzato è un acrilico con buon comportamento termico fino a 80°. I pannelli sono quindi incollati alle strutture facenti parte del sistema murario.

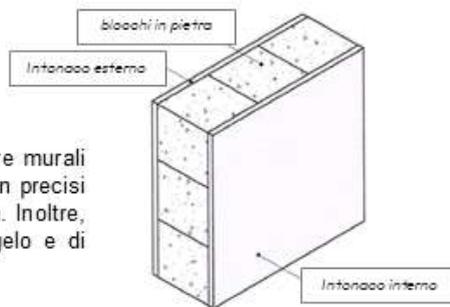
CARATTERISTICHE TERMICHE POST OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,41	0,05
Blocchi in pietra	40	3000	3,50	0,11
Pannello in fibra di poliestere	10	40	0,033	3,03
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	0,29 W/(m²K)			

MURATURA IN PIETRA

Anni '20 - '30

Rappresenta un tipo di muratura economica assai diffusa nelle opere murali tradizionali. Per la sua realizzazione si necessita di requisiti fisici ben precisi quali la durezza, la lavorabilità, la granulosità e l'affinità con la malta. Inoltre, deve rispondere a caratteristiche chimiche quali la resistenza al gelo e di decomposizione a contatto con l'aria e l'acqua.



CARATTERISTICHE TERMICHE ANTE OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,41	0,05
Blocchi in pietra	40	3000	3,50	0,11
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	2,70 W/(m²K)			

MATERIALE ISOLANTE: PANNELLO IN FIBRA DI MAIS

I pannelli sono composti da una fibra biodegradabile ottenuta dall'estrusione e successiva filatura dell'acido polilattico, polimero dell'acido lattico, ottenuto dalla fermentazione controllata delle pannocchie di mais. L'acido polilattico a un indice della richiesta di ossigeno di circa 26; ciò lo rende naturalmente autoestinguente, con bassa emissione di fumo durante la combustione. La fibra di mais, una volta raggiunta la fine del suo ciclo di vita, può essere facilmente smaltita in quanto biodegradabile al 100%. L'Eventuale smaltimento è lo stesso della frazione umida del rifiuto domestico.



TIPOLOGIA DI INTERVENTO: ISOLAMENTO INTERNO

- ✓ Posa in opera senza ponteggi esterni
- ✗ Efficiente rapporto spessore/isolamento
- ✓ Buona qualità/prezzo
- ✓ Elemento prefabbricato
- ✓ Impiego per edifici vincolati
- ✓ Riciclabile/riciclato
- ✗ Risoluzione del ponte termico

Le fibre di mais sono utilizzate in pannelli standard a di spessori 20 e 60 mm. I pannelli vengono impiegati in edifici di nuova costruzione che vengono incastrati tra le strutture dello scheletro del muro portante o dell'intercapedine della parete.

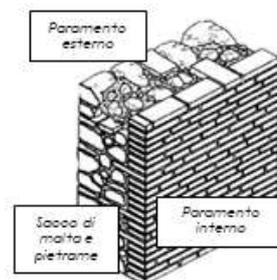
CARATTERISTICHE TERMICHE POST OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,41	0,05
Pannelli in fibra di mais	10	40	0,036	2,50
Blocchi in pietra	40	3000	3,50	0,11
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	0,32 W/(m²K)			

MURATURA A SACCO CON RICORSO DI MATTONI

Anni '20 - '30

E' un tipo di muratura che si ritrova usata di frequente per la costruzione di edifici storici e opere difensive, consistente in due paramenti (muri) realizzati in pietra o mattoni paralleli e distanziati fra loro (aventi la funzione di cassero di contenimento e finitura superficiale), riempiti all'interno con una miscela di pietrisco e avanzi di lavorazione dei paramenti, legati da malta di cemento o di calce.



CARATTERISTICHE TERMICHE ANTE OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,41	0,05
Muratura in blocchi	20	2300	1,70	0,24
Sacco di malta e pietrame	30	1600	0,90	0,33
Muratura in blocchi	20	2300	1,70	0,24
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	1,28 W/(m²K)			

MATERIALE ISOLANTE: PANNELLO IN VETRO GRANULARE ESPANSO

Il pannello termo isolante in vetro granulare espanso contiene più del 66% di vetro riciclato da parabrezza di automobili, sabbia di quarzo, vetri per serramenti e tubi di neon. È ecologico e la sua origine inorganica lo rende totalmente incombustibile. La struttura del materiale è costituita da milioni di cellule, chiuse ed ermetiche in vetro che assicurano un efficiente sbarramento al vapore all'acqua.



TIPOLOGIA DI INTERVENTO: ISOLAMENTO INTERNO

- ✓ Posa in opera senza ponteggi esterni
- ✗ Efficiente rapporto spessore/isolamento
- ✓ Buona qualità/prezzo
- ✓ Elemento prefabbricato
- ✓ Impiego per edifici vincolati
- ✓ Riciclabile/riciclato
- ✗ Risoluzione del ponte termico

I pannelli sono particolarmente facili da porre in opera. A seconda dell'impiego possono essere incollati con bitume caldo con annaffiatoio o immersi in vasca per bitume; oppure possono essere posati con colla a freddo o applicati a secco.

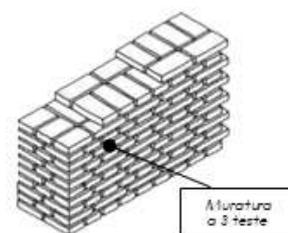
CARATTERISTICHE TERMICHE POST OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,41	0,05
Pannelli in vetro granulare espanso	10	120	0,04	2,50
Muratura in blocchi	20	2300	1,70	0,24
Sacco di malta e pietrame	30	1600	0,90	0,33
Muratura in blocchi	20	2300	1,70	0,24
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	0,30 W/(m²K)			

MURATURA IN MATTONI PIENI

Anni '30 - '50

Costituisce il tipo di muratura più diffuso e più antico ed è allo stesso tempo elemento strutturale e rifinitura dell'edificio. I muri possono essere ad una testa, 2, 3 ecc. che corrispondono agli spessori. Le pareti realizzate con tale sistema costruttivo solitamente hanno funzione portante grazie alla sua elevata resistenza a compressione. Tale tipologia costruttiva era un'operazione lunga e costosa, perciò riservata agli edifici di pregio.



CARATTERISTICHE TERMICHE ANTE OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,41	0,05
Mattoni pieni	30	1800	0,47	0,63
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	1,13 W/(m²K)			

MATERIALE ISOLANTE: PANNELLO IN LANADI ROCCIA

La lana minerale o lana di roccia è ottenuta dalla fusione e filatura di rocce naturali, a circa 1600°. Le caratteristiche del materiale di partenza la rendono inattaccabile dagli acidi, con un'elevata resistenza alla temperatura. La lana di roccia in forma biosolubile, che è conosciuta in Italia anche come lana minerale, è chimicamente neutra, non contiene componenti pericolosi, ha elevate caratteristiche di bassa conducibilità termica; Viene principalmente utilizzata per la realizzazione di sistemi a isolamento interno e cappotto esterno.



TIPOLOGIA DI INTERVENTO: CAPPOTTO ESTERNO

- ✗ Posa in opera senza ponteggi esterni
- ✓ Efficiente rapporto spessore/isolamento
- ✓ Buona qualità/prezzo
- ✓ Elemento prefabbricato
- ✗ Impiego per edifici vincolati
- ✓ Riciclabile/riciclato
- ✓ Risoluzione del ponte termico

I pannelli in lana di roccia possono essere posati in opera attraverso un incastro nello scheletro della parete, oppure incollati alle strutture. Vengono fissati dai profili di partenza poi si procede all'incollaggio attraverso adesivi cementizi o in pasta. I pannelli vengono solitamente posati direttamente sopra il telo di freno a vapore o barriera al vapore.

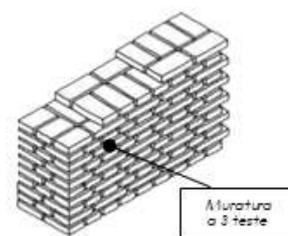
CARATTERISTICHE TERMICHE POST OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,41	0,05
Mattoni pieni	30	1800	0,47	2,50
Pannelli in lana di roccia	9	90	0,036	2,22
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	0,29 W/(m²K)			

MURATURA IN MATTONI PIENI

Anni '30 - '50

Costituisce il tipo di muratura più diffuso e più antico ed è allo stesso tempo elemento strutturale e rifinitura dell'edificio. I muri possono essere ad una testa, 2, 3 ecc. che corrispondono agli spessori. Le pareti realizzate con tale sistema costruttivo solitamente hanno funzione portante grazie alla sua elevata resistenza a compressione. Tale tipologia costruttiva era un'operazione lunga e costosa, perciò riservata agli edifici di pregio.



CARATTERISTICHE TERMICHE ANTE OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m³]	λ [W/m K]	R [m²K/W]
Intonaco interno		900	0,41	0,05
Mattoni pieni	30	1800	0,47	0,63
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	1,13 W/(m²K)			

MATERIALE ISOLANTE: PANNELLO IN FIBRA DI KENAF E CANAPA

Pannello in fibre naturali di kenaf e canapa provenienti da coltivazioni biologiche effettuate in Italia, a cui si aggiunge una certa quantità di fibre di rinforzo in poliestere o PLA (amido di mais). Le fibre di kenaf non necessitano di alcun trattamento anti-insetti, quali tarne e coleotteri poiché non contengono alcuna sostanza proteica. È caratterizzato da elasticità e flessibilità elevate, oltre a una struttura a fibre a notevole resistenza meccanica. Tali peculiarità consentono di conservare nel tempo le prestazioni di isolamento termico ed acustico anche in presenza di carichi statici e dinamici. Viene impiegato per eliminare i ponti termici, intercapedine delle pareti verticali e per realizzare sistemi a cappotto interno ed esterno.



TIPOLOGIA DI INTERVENTO: ISOLAMENTO INTERNO

- ✓ Posa in opera senza ponteggi esterni
- ✓ Efficiente rapporto spessore/isolamento
- ✓ Buona qualità/prezzo
- ✓ Elemento prefabbricato
- ✓ Impiego per edifici vincolati
- ✓ Riciclabile/riciclato
- ✗ Risoluzione del ponte termico

I pannelli di kenaf e canapa vengono utilizzati su pareti sia in mattone che in pannelli di legno o cartongesso altro materiale rigido. Si possono tagliare con un normale cutter e non rilasciano fibre o polveri. I pannelli sono incastrati e fissati tramite giunzioni metalliche. L'utilizzo è consigliato per l'isolamento di edifici in costruzione ma anche per edifici esistenti.

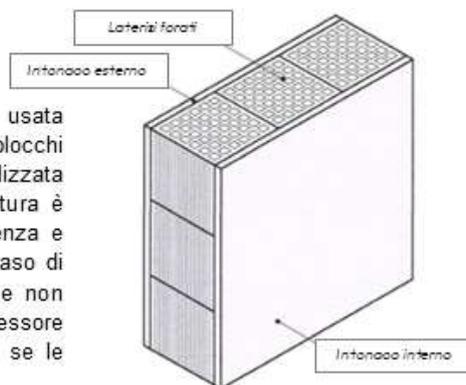
CARATTERISTICHE TERMICHE POST OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m³]	λ [W/m K]	R [m²K/W]
Intonaco interno	2	900	0,41	0,05
Pannelli in kenaf e canapa	9	30	0,037	2,57
Mattoni pieni	30	1800	0,47	0,47
Intonaco esterno	2	1800	0,8	0,02
U TOTALE	0,29 W/(m²K)			

MURATURA IN LATERIZI FORATI

Anni '50 - '60

Solitamente costituisce muratura di tamponamento ma può essere usata come sistema portante (in questo caso svolge la stessa funzione dei blocchi di pietra, solo per edifici di modeste dimensioni). Essa quindi viene utilizzata a chiusura di pilastri in calcestruzzo armato. Tale tipologia di muratura è quella che possiede migliori requisiti in termini di leggerezza coibenza e afonicità. È un materiale con ottime prestazioni termoisolanti. Nel caso di murature portanti in laterizio di forte spessore (40-50 cm) potrebbe non essere necessario lo strato di isolamento termico, poiché l'elevato spessore funziona da massa termica. L'isolamento risulta invece necessario se le pareti in laterizio sono di spessore minore.



CARATTERISTICHE TERMICHE ANTE OPERAM

Materiale	d [cm]	p [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,35	0,04
Laterizi forati	30	480	0,5	0,6
Intonaco esterno	2	1800	0,8	0,02
U TOTALE	1.19 W/(m²K)			

MATERIALE ISOLANTE: PANNELLI IN FIBRA DI LINO

La fibra di lino impiegata per produrre i pannelli isolanti viene ricavata da piante provenienti da coltivazioni biologiche, con lavorazioni non inquinanti e con scarsa richiesta energetica. Le fibre vengono trattate con sali di boro e in alcuni casi addizionati con supporto in fibra di poliestere. Il lino è un materiale con ottime proprietà di isolamento termico, è altamente traspirante e igroscopico, e non contiene sostanze nocive per la salute.



TIPOLOGIA DI INTERVENTO: ISOLAMENTO INTERNO

- ✓ Posa in opera senza ponteggi esterni
- ✓ Efficiente rapporto spessore/isolamento
- ✓ Buona qualità/prezzo
- ✓ Elemento prefabbricato
- ✓ Impiego per edifici vincolati
- ✓ Riciclabile/riciclato
- ✗ Risoluzione del ponte termico

La parte in lino si posa rivolta verso l'interno, la parte riflettente, verso l'esterno. Si ritaglia facilmente con forbici o cutter appropriati a lame larghe; i pannelli vengono fissati con graffe metalliche o con dei chiodi a testa alta. Nei punti di giunzione assicurare il sormonto dell'isolante di circa 50 mm su un supporto solido (trave, tassello, muro).

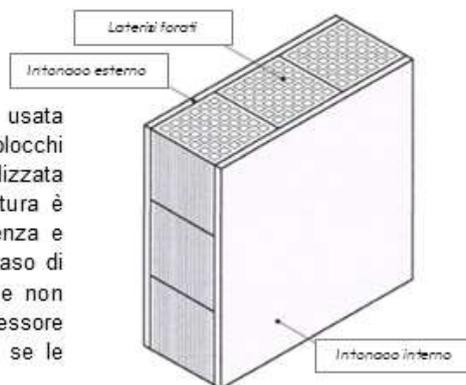
CARATTERISTICHE TERMICHE POST OPERAM

Materiale	d [cm]	p [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,35	0,04
Pannelli in fibra di lino	8	30	0,04	1,9
Laterizi forati	30	480	0,5	0,6
Intonaco esterno	2	1800	0,8	0,02
U TOTALE	0.27 W/(m²K)			

MURATURA IN LATERIZI FORATI

Anni '50 - '60

Solitamente costituisce muratura di tamponamento ma può essere usata come sistema portante (in questo caso svolge la stessa funzione dei blocchi di pietra, solo per edifici di modeste dimensioni). Essa quindi viene utilizzata a chiusura di pilastri in calcestruzzo armato. Tale tipologia di muratura è quella che possiede migliori requisiti in termini di leggerezza coibenza e afonicità. È un materiale con ottime prestazioni termoisolanti. Nel caso di murature portanti in laterizio di forte spessore (40-50 cm) potrebbe non essere necessario lo strato di isolamento termico, poiché l'elevato spessore funziona da massa termica. L'isolamento risulta invece necessario se le pareti in laterizio sono di spessore minore.

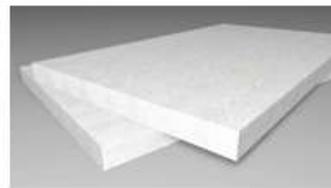


CARATTERISTICHE TERMICHE ANTE OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,35	0,04
Laterizi forati	30	480	0,50	0,6
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	1,15 W/(m²K)			

MATERIALE ISOLANTE: PANNELLI DI POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO

È caratterizzato da leggerezza, elevato potere termo-isolante e densità, inattaccabilità da parte di muffe e batteri e da ritardata propagazione di fiamma; non rilascia inoltre gas tossici. Lavorazioni meccaniche e maneggiamento non prevedono pericolo di inalazione di particelle o di manifestazioni allergiche; impatto ambientale minimo. Viene impiegato per la realizzazione di sistemi a cappotto interno o esterno, l'isolamento termico di partizioni verticali interne e per l'eliminazione di ponti termici.



TIPOLOGIA DI INTERVENTO: CAPPOTTO ESTERNO

- ✗ Posa in opera senza ponteggi esterni
- ✓ Efficiente rapporto spessore/isolamento
- ✓ Buona qualità/prezzo
- ✓ Elemento prefabbricato
- ✗ Impiego per edifici vincolati
- ✓ Riciclabile/riciclato
- ✓ Risoluzione del ponte termico

L'utilizzo dei pannelli in polistirene espanso sintetizzato sui muri esterni permette di realizzare un isolamento a cappotto continuo e senza ponti termici, aumentando l'inerzia termica dell'edificio e limitando il deteriorarsi della struttura a causa della penetrazione della pioggia o della formazione di muffe. Nell'isolamento a cappotto è buona norma tassellare i pannelli meccanicamente. Se le superfici non sono planari, è opportuno rasare o spessorare con della colla al fine di stabilizzare al meglio il pannello.

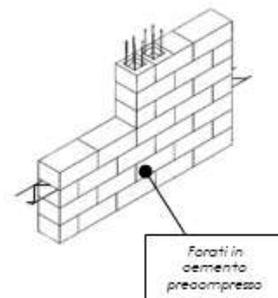
CARATTERISTICHE TERMICHE POST OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,35	0,04
Laterizi forati	30	480	0,50	0,6
Pannelli di polistirene	9	10	0,035	2,57
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	0,29 W/(m²K)			

MURATURA IN FORATI DI CEMENTO PRECOMPRESSO

Anni '60 - '70

Rispetto ai mattoni in laterizio possiedono dei vantaggi legati alle loro maggiori dimensioni che di conseguenza comportano tempi ridotti di posa e costi complessivi minori. Inoltre, hanno una ottima resistenza meccanica a compressione. Possono essere portanti o non portanti, ciò dipende dal rapporto di foratura. Generalmente l'aumento della capacità portante va a discapito soprattutto della leggerezza e in secondo luogo dell'isolamento termico, questo a causa della maggior compattezza e omogeneità del calcestruzzo. Grazie all'elevata resistenza di questi manufatti sono state realizzate grandi murature con rapporti di snellezza sempre maggiori, rispondendo alla sempre maggiore richiesta di realizzazioni come per esempio quelle legate alla grande distribuzione.



CARATTERISTICHE TERMICHE ANTE OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,35	0,04
Forati in cemento	30	1400	0,50	0,60
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	1,15 W/(m²K)			

MATERIALE ISOLANTE: VETRO GRANULARE ESPANSO

Il pannello termo isolante in vetro granulare espanso contiene più del 66% di vetro riciclato da parabrezza di automobili, sabbia di quarzo, vetri per serramenti e tubi di neon. È ecologico e la sua origine inorganica lo rende totalmente incombustibile. La struttura del materiale è costituita da milioni di cellule, chiuse ed ermetiche in vetro che assicurano un efficiente sbarramento al vapore all'acqua.



TIPOLOGIA DI INTERVENTO: CAPPOTTO ESTERNO

- ✗ Posa in opera senza ponteggi esterni
- ✓ Efficiente rapporto spessore/isolamento
- ✓ Buona qualità/prezzo
- ✓ Elemento prefabbricato
- ✗ Impiego per edifici vincolati
- ✗ Riciclabile/riciclato
- ✓ Risoluzione del ponte termico

I pannelli sono particolarmente facili da porre in opera. A seconda dell'impiego possono essere incollati con bitume caldo con annaffiatoio o immersi in vasca per bitume; oppure possono essere posati con colla a freddo o applicati a secco.

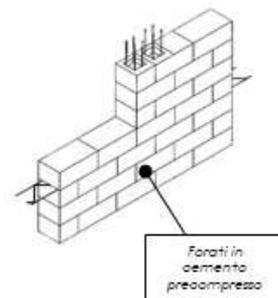
CARATTERISTICHE TERMICHE POST OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,35	0,04
Forati in cemento	30	480	0,50	0,60
Pannelli in vetro granulare esp.	10	120	0,04	1,84
Intonaco esterno	2	1800	0,9	0,02
U TOTALE	0.30 W/(m²K)			

MURATURA IN FORATI DI CEMENTO PRECOMPRESSO

Anni '60 - '70

Rispetto ai mattoni in laterizio possiedono dei vantaggi legati alle loro maggiori dimensioni che di conseguenza comportano tempi ridotti di posa e costi complessivi minori. Inoltre, hanno una ottima resistenza meccanica a compressione. Possono essere portanti o non portanti, ciò dipende dal rapporto di foratura. Generalmente l'aumento della capacità portante va a discapito soprattutto della leggerezza e in secondo luogo dell'isolamento termico, questo a causa della maggior compattezza e omogeneità del calcestruzzo. Grazie all'elevata resistenza di questi manufatti sono state realizzate grandi murature con rapporti di snellezza sempre maggiori, rispondendo alla sempre maggiore richiesta di realizzazioni come per esempio quelle legate alla grande distribuzione.



CARATTERISTICHE TERMICHE ANTE OPERAM

Materiale	d [cm]	p [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,35	0,04
Forati in cemento	30	1400	0,50	0,60
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	1,15 W/(m²K)			

MATERIALE ISOLANTE: PANNELLO IN LANA DI PECORA

Materassino in lana di pecora elastica e traspirante, climatizzata sia contro il freddo che contro il caldo e con una notevole capacità igroscopica. È capace di respingere l'acqua, di assorbire il vapore acqueo fino al 33% del suo peso senza apparire umido, favorendo quindi una regolazione naturale interna delle abitazioni riducendo il rischio di condensa con le successive conseguenze alla struttura come muffe e funghi.



TIPOLOGIA DI INTERVENTO: ISOLAMENTO INTERNO

- ✓ Posa in opera senza ponteggi esterni
- ✓ Efficiente rapporto spessore/isolamento
- ✓ Buona qualità/prezzo
- ✓ Elemento prefabbricato
- ✓ Impiego per edifici vincolati
- ✗ Riciclabile/riciclato
- ✗ Risoluzione del ponte termico

La lana di pecora è l'unico isolante di origine animale utilizzato in edilizia. Si tratta di una materia prima di un consumo energetico ridotto e di un impatto ambientale minimo e costituisce una valida alternativa all'impiego di isolanti di origine sintetiche. È un materiale facile da posare, si può tagliare con delle semplici forbici o a mano. Per evitare ponti termici o scivolamento, i materassini vengono fissati alle pareti, tramite graffe, chiodi, tasselli o a colla, cercando di utilizzare solo collanti all'acqua atossici.

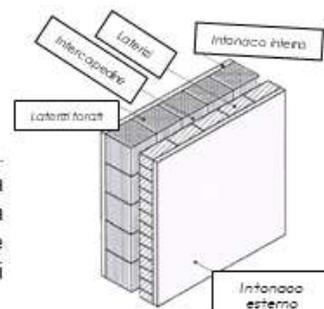
CARATTERISTICHE TERMICHE POST OPERAM

Materiale	d [cm]	p [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,35	0,04
Pannelli in lana di pecora	9	20	0,038	1,71
Forati in cemento	30	480	0,50	0,60
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	0.31 W/(m²K)			

MURATURA A CASSETTA CON LATERIZI FORATI

Anni '60 - '70

L'intercapedine all'epoca costituiva una forma rudimentale di isolamento termico. In effetti laddove ci sono spessori di vuoto limitati (2-3 cm) l'aria contenuta nell'intercapedine costituiva una sorta di isolante tra interno ed esterno. Nella realtà poi e soprattutto laddove abbiamo spessori importanti di intercapedine (superiore a 5-6 cm fino ad arrivare a 30 e oltre) all'interno del muro si creano dei veri e propri moti convettivi che determina una notevole dispersione termica.



CARATTERISTICHE TERMICHE ANTE OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,35	0,04
Forati in laterizio	10	900	0,33	0,30
Camera d'aria	10	1	0,11	0,15
Forati in laterizio	15	900	0,33	0,45
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	0.87 W/(m²K)			

MATERIALE ISOLANTE: FIOCCHI DI FIBRA DI CELLULOSA

La fibra di cellulosa è ricavata dalla carta di giornale riciclata che viene sminuzzata e miscelata con sali di boro in modo da rendere il materiale ignifugo e antiparassitario. Da questo procedimento sono prodotti i fiocchi che vengono pressati e commercializzati in sacchi. La fibra di cellulosa può essere usata anche in pannelli, mischiata ad un 15% di fibra di poliestere, che contribuisce ad irrigidire il materiale. La fibra in fiocchi si utilizza negli interventi di recupero per isolare le pareti a cassa vuota, insufflando il materiale nell'intercapedine d'aria.



TIPOLOGIA DI INTERVENTO: INSUFFLAGGIO

- ✓ Posa in opera senza ponteggi esterni
- ✓ Efficiente rapporto spessore/isolamento
- ✓ Buona qualità/prezzo
- ✗ Elemento prefabbricato
- ✓ Impiego per edifici vincolati
- ✓ Riciclabile/riciclato
- ✗ Risoluzione del ponte termico

Il materiale viene utilizzato nella maggior parte dei casi, sfuso in fiocchi e applicato per insufflaggio. La tipologia di posa in opera lo rende adatto, oltre che all'isolamento termoacustico in edifici di nuova costruzione, alla coibentazione su edifici esistenti nell'ambito di interventi di ristrutturazione. I fiocchi vengono immessi nelle intercapedini tramite fori appositamente applicati nella parete.

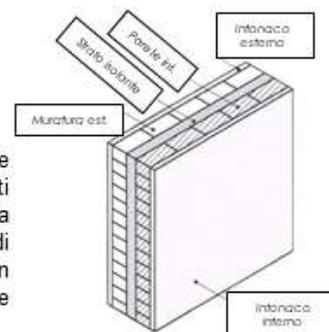
CARATTERISTICHE TERMICHE POST OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,35	0,04
Forati in laterizio	10	900	0,33	0,30
Fiocchi di fibra di cellulosa	10	35	0,039	2,56
Forati in laterizio	15	900	0,33	0,45
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	0.28 W/(m²K)			

MURATURA A CASSETTA CON ISOLAMENTO ALL'INTERCAPEDINE

Anni '70 - '90

Rappresenta nel Lazio una delle tipologie più diffuse di realizzazione delle chiusure d'ambito esterno. Tale sistema si compone solitamente di due pareti dello stesso o di diverso materiale, di differenti dimensioni, separate dalla camera d'aria e in cui la parete esterna viene realizzata con elementi di maggior spessore e densità. L'isolamento in intercapedine è eseguito con prodotti in lana di roccia o di vetro, di sufficiente spessore, in grado di garantire già allo stato di fatto un buon isolamento termico.



CARATTERISTICHE TERMICHE ANTE OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,35	0,04
Forati in laterizio	15	900	0,33	0,30
Pannello in lana di vetro	7	80	0,04	0,16
Forati in laterizio	15	900	0,33	0,45
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	0.36 W/(m²K)			

MATERIALE ISOLANTE: PANNELLO IN FIBRA DI POLISTIRENE ESPANSO SINTERIZZATO

È caratterizzato da leggerezza, elevato potere termo-isolante e densità, inattaccabilità da parte di muffe e batteri e da ritardata propagazione di fiamma; non rilascia inoltre gas tossici. Lavorazioni meccaniche e maneggiamento non prevedono pericolo di inalazione di particelle o di manifestazioni allergiche; impatto ambientale minimo. Viene impiegato per la realizzazione di sistemi a cappotto interno o esterno, l'isolamento termico di partizioni verticali interne e per l'eliminazione di ponti termici.



TIPOLOGIA DI INTERVENTO: CAPPOTTO ESTERNO

- ✗ Posa in opera senza ponteggi esterni
- ✓ Efficiente rapporto spessore/isolamento
- ✓ Buona qualità/prezzo
- ✓ Elemento prefabbricato
- ✓ Impiego per edifici vincolati
- ✓ Riciclabile/riciclato
- ✗ Risoluzione del ponte termico

L'utilizzo dei pannelli in polistirene espanso sintetizzato sui muri esterni permette di realizzare un isolamento a cappotto continuo e senza ponti termici, aumentando l'inerzia termica dell'edificio e limitando il deteriorarsi della struttura a causa della penetrazione della pioggia o della formazione di muffe. Nell'isolamento a cappotto è buona norma tassellare i pannelli meccanicamente. Se le superfici non sono planari, è opportuno rasare o spessorare con della colla al fine di stabilizzare al meglio il pannello.

CARATTERISTICHE TERMICHE POST OPERAM

Materiale	d [cm]	P [kg/m ³]	λ [W/m K]	R [m ² K/W]
Intonaco interno	2	900	0,35	0,04
Forati in laterizio	15	900	0,33	0,30
Pannello in lana di vetro	7	80	0,04	0,16
Forati in laterizio	15	900	0,33	0,45
Pannelli di polistirene	4	10	0,035	1,14
Intonaco esterno	2	1800	0,90	0,02
U TOTALE	0.26 W/(m²K)			

ALLEGATO B: Schede tecniche materiali involucro trasparente

INFISSO IN LEGNO A VETRO SINGOLO Anni '20 - '60

essendo il legno un buon isolante termico e acustico è stato largamente utilizzato per costruire e realizzare serramenti. Pertanto ad oggi, in Italia e nel Lazio è possibile riscontrare numerosi infissi con telaio in legno che venivano opportunamente laccati per aumentare la loro resistenza alle intemperie. Al centro del telaio veniva poi incastonata un'unica lastra di vetro temperato. Tale soluzione, però, ha una trasmittanza termica altissima e scarse proprietà di isolamento termo-acustico.



CARATTERISTICHE TERMICHE

Dimensioni telaio	U telaio [W/m ² K]	Dimensioni vetro	U vetro [W/m ² K]
1m x 1m	2,00	0,9m x 0,9m	5,80
Uw tot.	5,08 W/(m²K)		

INFISSO IN LEGNO, VETROCAMERA CON ARGON E TRATTAMENTO BASSO EMISSIVO

CARATTERISTICHE TERMICHE

Dimensioni telaio	U telaio [W/m ² K]	Dimensioni vetro	U vetro [W/m ² K]
1m x 1m	2,00	0,9m x 0,9m	1,30
Uw tot.	1,61 W/(m²K)		

INFISSO A TAGLIO FREDDO CON VETRO SINGOLO Anni '70 - '90

Sono composti di un materiale che non ha interruzioni termiche, è passante dall'esterno all'interno. Sono considerati a taglio freddo i vecchi infissi in alluminio, i vecchi serramenti in acciaio (comunemente chiamato ferro). La continuità di materiale tra la superficie esterna e quella interna determinano un effetto ponte termico più accentuato, data dall'alta conducibilità termica del materiale, che incide notevolmente sul riscaldamento o il raffreddamento degli ambienti.



CARATTERISTICHE TERMICHE

Dimensioni telaio	U telaio [W/m ² K]	Dimensioni vetro	U vetro [W/m ² K]
1m x 1m	7,00	0,9m x 0,9m	5,80
Uw tot.	6,03 W/(m²K)		

INFISSO IN LEGNO, VETROCAMERA CON ARGON E TRATTAMENTO BASSO EMISSIVO

CARATTERISTICHE TERMICHE

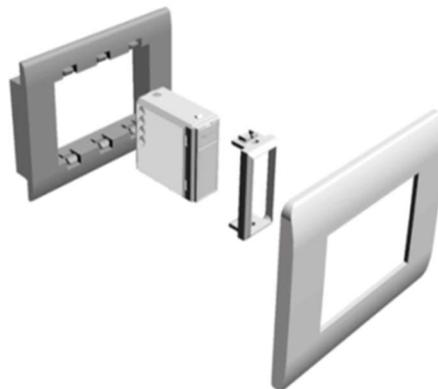
Dimensioni telaio	U telaio [W/m ² K]	Dimensioni vetro	U vetro [W/m ² K]
1m x 1m	3,00	0,9m x 0,9m	1,30
Uw tot.	1,80 W/(m²K)		

ALLEGATO C: Schede tecniche sistemi e dispositivi per il controllo illuminotecnico

Rilevatore di movimento per locali interni

DESCRIZIONE

Il componente in oggetto è un prodotto a tecnologia PIR (Passive Infrared) ed assicura che la luce si accenda automaticamente ogni volta che viene rilevato un movimento. Il sensore agisce in base alla variazione dell'irradiazione di calore nell'ambiente, all'interno dei propri range spaziali di rilevamento. Il sensore è dotato della funzione di regolazione della soglia di intervento in base al livello di illuminamento nel locale e della funzione di regolazione del tempo di ritardo allo spegnimento.



Tensione nominale	Portata lampada LED massima	Temperatura funzionamento	Grado protezione IP
230 VAC (50/60 Hz)	200 W	-10 ÷ +50 °C	IP 20

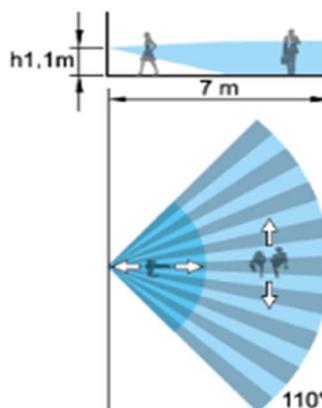
Prodotto a titolo esemplificativo

marca Finder serie 18 – mod. 18.91
<https://www.findernet.com/it/italy/informes/nuovo-rilevatore-di-movimento-ultra-compatto-tipo-1891>

LOCALI DI DESTINAZIONE

<i>Edificio residenziale</i> (Usa stand alone)	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Edificio sett. terziario</i> (associato a sist. domotica)	<input type="checkbox"/>
Locale igienico	<input checked="" type="checkbox"/>	Uffici	<input type="checkbox"/>
Camera	<input type="checkbox"/>	Sala riunione	<input type="checkbox"/>
Atrio/Androne	<input checked="" type="checkbox"/>	Aula didattica	<input type="checkbox"/>
Scale	<input checked="" type="checkbox"/>	Locale igienico	<input type="checkbox"/>
Aree transito/corridoio	<input checked="" type="checkbox"/>	Atrio/Androne	<input type="checkbox"/>
Zona giorno/living	<input type="checkbox"/>	Scale	<input type="checkbox"/>
Cucina	<input type="checkbox"/>	Aree transito/corridoio	<input type="checkbox"/>
Ambienti esterni	<input type="checkbox"/>	Ambienti esterni	<input type="checkbox"/>

RANGE COPERTURA



PARAMETRI DI CONFRONTO

Installazione a parete	<input checked="" type="checkbox"/>
Installazione a soffitto	<input type="checkbox"/>
Velocità di impiego	<input checked="" type="checkbox"/>
Buon rapporto qualità/prezzo	<input checked="" type="checkbox"/>
Aspetto estetico personalizzabile	<input checked="" type="checkbox"/>
Impiego su impianti esistenti (install. scatola 503)	<input checked="" type="checkbox"/>
Adattabilità con prodotti di altra marca	<input checked="" type="checkbox"/>
Compatibilità KNX	<input type="checkbox"/>
Compatibilità DALI	<input type="checkbox"/>
Compatibilità bluetooth	<input type="checkbox"/>

RISPARMIO ENERGETICO

Alcuni studi su utilizzatori domestici reali hanno dimostrato che, le lampade da interno con controllo basato sull'occupazione, hanno un utilizzo effettivo pari a circa il 50% rispetto a quelle a controllo convenzionale on/off.

50%

Altre informazioni utili

NO oggetti che limitino la visibilità del sensore;
 ADEGUATA DISTANZA da sistemi di riscaldamento/ventilazione;
 ADEGUATA DISTANZA da apparecchi di illuminazione

Rilevatore di movimento per locali interni (sistema bus KNX)

DESCRIZIONE

Il componente in oggetto è un prodotto a tecnologia *Passive Infrared*, avente 3 sensori PIR attivabili singolarmente o a gruppi, ed assicura che la luce si accenda automaticamente ogni volta che viene rilevato un movimento. Il sensore agisce in base alla variazione dell'irradiazione di calore nell'ambiente, all'interno dei propri range spaziali di rilevamento. Il sensore viene alimentato mediante bus e può essere impiegato in impianti di automazione di case ed edifici a standard KNX.



Tensione nominale	Portata lampada LED massima	Temperatura funzionamento	Grado protezione IP
24 Vdc	200 W	-20 ÷ +40 °C	IP 20

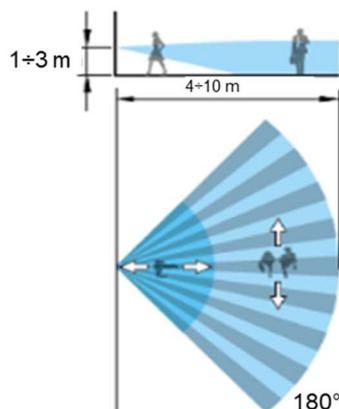
Prodotto a titolo esemplificativo

marca EKINEX serie 18 – mod. EK-SM2-TP-xxx.
(https://www.ekinex.com/area-tecnica_sensori-knx/rilevatore-di-movimento_42.html)

LOCALI DI DESTINAZIONE

<i>Edificio residenziale</i> (Usa stand alone)	<input type="checkbox"/>	<i>Edificio sett. terziario</i> (associato a sist. domotica)	<input checked="" type="checkbox"/>
Locale igienico	<input type="checkbox"/>	Uffici	<input type="checkbox"/>
Camera	<input type="checkbox"/>	Sala riunione	<input type="checkbox"/>
Atrio/Androne	<input type="checkbox"/>	Aula didattica	<input type="checkbox"/>
Scale	<input type="checkbox"/>	Locale igienico	<input checked="" type="checkbox"/>
Aree transito/corridoio	<input type="checkbox"/>	Atrio/Androne	<input checked="" type="checkbox"/>
Zona giorno/living	<input type="checkbox"/>	Scale	<input checked="" type="checkbox"/>
Cucina	<input type="checkbox"/>	Aree transito/corridoio	<input checked="" type="checkbox"/>
Ambienti esterni	<input type="checkbox"/>	Ambienti esterni	<input type="checkbox"/>

RANGE COPERTURA



PARAMETRI DI CONFRONTO

Installazione a parete	<input checked="" type="checkbox"/>
Installazione a soffitto	<input type="checkbox"/>
Velocità di impiego	<input type="checkbox"/>
Buon rapporto qualità/prezzo	<input type="checkbox"/>
Aspetto estetico personalizzabile	<input checked="" type="checkbox"/>
Impiego su impianti esistenti (install. scatola 503)	<input type="checkbox"/>
Adattabilità con prodotti di altra marca	<input checked="" type="checkbox"/>
Compatibilità KNX	<input checked="" type="checkbox"/>
Compatibilità DALI	<input type="checkbox"/>
Compatibilità bluetooth	<input type="checkbox"/>

RISPARMIO ENERGETICO

Alcuni studi su utilizzatori domestici reali hanno dimostrato che, le lampade da interno con controllo basato sull'occupazione, hanno un utilizzo effettivo pari a circa il 50% rispetto a quelle a controllo convenzionale on/off.

50%

Altre informazioni utili

NO oggetti che limitino la visibilità del sensore;
ADEGUATA DISTANZA da sistemi di riscaldamento/ventilazione;
ADEGUATA DISTANZA da apparecchi di illuminazione

Rilevatore di movimento per esterno

DESCRIZIONE

Il componente in oggetto è un prodotto a tecnologia PIR (Passive Infrared) ed assicura che la luce si accenda automaticamente ogni volta che viene rilevato un movimento. Il sensore agisce in base alla variazione dell'irradiazione di calore nell'ambiente, all'interno dei propri range spaziali di rilevamento. Dotato di sensore crepuscolare e della funzione di regolazione del ritardo allo spegnimento.



Prodotto a titolo esemplificativo

marca Finder serie 18 – mod. 18.A1
[\(https://www.findernet.com/it/italy/\)](https://www.findernet.com/it/italy/)

Tensione nominale	Portata lampada LED massima	Temperatura funzionamento	Grado protezione IP
230 VAC (50/60 Hz)	300 W	-10 ÷ +50 °C	IP 55

LOCALI DI DESTINAZIONE

Edificio residenziale
(Uso stand alone)



Edificio sett. terziario
(associato a sist. domotica)



Locale igienico



Uffici



Camera



Sala riunione



Atrio/Androne



Aula didattica



Scale



Locale igienico



Aree transito/corridoio



Atrio/Androne



Zona giorno/living



Scale



Cucina



Aree transito/corridoio



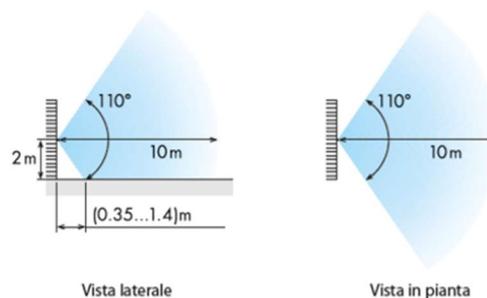
Ambienti esterni



Ambienti esterni



RANGE COPERTURA



PARAMETRI DI CONFRONTO

Installazione a parete



Installazione a soffitto



Velocità di impiego



Buon rapporto qualità/prezzo



Aspetto estetico personalizzabile



Impiego su impianti esistenti (install. scatola 503)



Adattabilità con prodotti di altra marca



Compatibilità KNX



Compatibilità DALI



Compatibilità bluetooth



RISPARMIO ENERGETICO

Alcuni studi hanno dimostrato che, in ambienti esterni (aree di passaggio, scale esterne), le lampade con accensione basata sull'occupazione, hanno un utilizzo effettivo pari a circa il 60% rispetto a quelle prive di tale controllo.

60%

Altre informazioni utili

NO oggetti che limitino la visibilità del sensore;
 ADEGUATA DISTANZA da sistemi di riscaldamento/ventilazione;
 ADEGUATA DISTANZA da apparecchi di illuminazione

Rilevatore di presenza per locali interni

DESCRIZIONE

Il componente in oggetto è un prodotto a tecnologia PIR (Passive Infrared); tale dispositivo possiede le stesse funzioni di un sensore di movimento ma è dotato di una sensibilità molto più elevata e, di conseguenza, è in grado di rilevare anche piccolissimi movimenti (micromovimenti). Il prodotto proposto consente di definire 2 aree di rilevamento: zona "presenza" adatta ad aree con basse attività da parte degli occupanti e zona "movimento" adatta ad aree di passaggio o maggiore attività.



Tensione nominale	Portata lampada LED massima	Temperatura funzionamento	Grado protezione IP
230 VAC (50/60 Hz)	300 W	-10 ÷ +50 °C	IP 40

Prodotto a titolo esemplificativo

marca Finder serie 18 – mod. 18.51-0040
<https://www.findernet.com/it/italy/products/families/12/series/18>

LOCALI DI DESTINAZIONE

Edificio residenziale
(Uso stand alone)



Edificio sett. terziario
(associato a sist. domotica)



Locale igienico



Uffici



Camera



Sala riunione



Atrio/Androne



Aula didattica



Scale



Locale igienico



Aree transito/corridoio



Atrio/Androne



Zona giorno/living



Scale



Cucina



Aree transito/corridoio



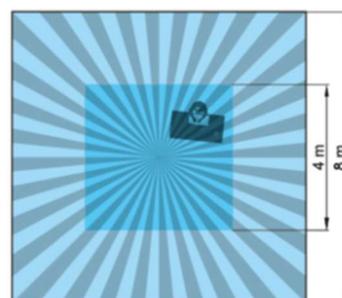
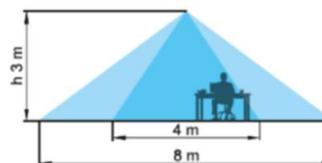
Ambienti esterni



Ambienti esterni



RANGE COPERTURA



PARAMETRI DI CONFRONTO

Installazione a parete



Installazione a soffitto



Velocità di impiego



Buon rapporto qualità/prezzo



Aspetto estetico personalizzabile



Impiego su impianti esistenti (install. scatola 503)



Adattabilità con prodotti di altra marca



Compatibilità KNX



Compatibilità DALI



Compatibilità bluetooth



RISPARMIO ENERGETICO

Alcuni studi su utilizzatori domestici reali hanno dimostrato che, le lampade da interno con controllo basato sull'occupazione, hanno un utilizzo effettivo pari a circa il 50% rispetto a quelle a controllo convenzionale on/off.

50%

Altre informazioni utili

NO oggetti che limitino la visibilità del sensore;
 ADEGUATA DISTANZA da sistemi di riscaldamento/ventilazione;
 ADEGUATA DISTANZA da apparecchi di illuminazione

Rilevatore di presenza per locali interni con sensore di luminosità

DESCRIZIONE

Il componente in oggetto è un prodotto a doppia tecnologia PIR (Passive Infrared) e Ultrasuoni (US); tale dispositivo possiede le stesse funzioni di un sensore di movimento ma è dotato di una sensibilità molto più elevata e, di conseguenza, è in grado di rilevare anche piccolissimi movimenti (micromovimenti). Consente di definire 2 aree di rilevamento, una dove agisce il PIR e una dove agisce il sensore a tecnologia US, assicurando flessibilità e massima accuratezza nel rilevamento presenza. E' dotato di **sensore di luminosità** per una completa gestione dell'illuminazione.



Tensione nominale	Portata lampada LED massima	Temperatura funzionamento	Grado protezione IP
230 VAC (50-60Hz)	1000 W	-5 ÷ +45 °C	IP 20

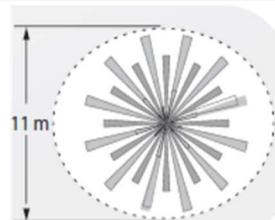
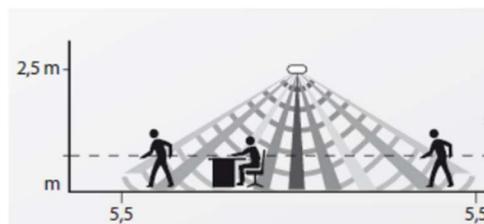
Prodotto a titolo esemplificativo

marca Bticino mod. BMSA2202IT
<https://catalogo.bticino.it/BTI-BMSA2202-IT>

LOCALI DI DESTINAZIONE

<i>Edificio residenziale</i> (Usa stand alone) <input checked="" type="checkbox"/>	<i>Edificio sett. terziario</i> (associato a sist. domotica) <input type="checkbox"/>
Locale igienico <input type="checkbox"/>	Uffici <input type="checkbox"/>
Camera <input checked="" type="checkbox"/>	Sala riunione <input type="checkbox"/>
Atrio/Androne <input type="checkbox"/>	Aula didattica <input type="checkbox"/>
Scale <input type="checkbox"/>	Locale igienico <input type="checkbox"/>
Aree transito/corridoio <input type="checkbox"/>	Atrio/Androne <input type="checkbox"/>
Zona giorno/living <input checked="" type="checkbox"/>	Scale <input type="checkbox"/>
Cucina <input checked="" type="checkbox"/>	Aree transito/corridoio <input type="checkbox"/>
Ambienti esterni <input type="checkbox"/>	Ambienti esterni <input type="checkbox"/>

RANGE COPERTURA



11 m indica l'area di copertura del sensore US, il sensore PIR ha un'area di 8 m

PARAMETRI DI CONFRONTO

Installazione a parete	<input type="checkbox"/>
Installazione a soffitto	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocità di impiego	<input checked="" type="checkbox"/>
Buon rapporto qualità/prezzo	<input type="checkbox"/>
Aspetto estetico personalizzabile	<input type="checkbox"/>
Impiego su impianti esistenti (install. scatola 503)	<input type="checkbox"/>
Adattabilità con prodotti di altra marca	<input checked="" type="checkbox"/>
Compatibilità KNX	<input type="checkbox"/>
Compatibilità DALI	<input type="checkbox"/>
Compatibilità bluetooth	<input checked="" type="checkbox"/>

RISPARMIO ENERGETICO

Alcuni studi su utilizzatori domestici reali hanno dimostrato che, le lampade da interno con controllo basato sull'occupazione, hanno un utilizzo effettivo pari a circa il 50% rispetto a quelle a controllo convenzionale on/off.

50%

Altre informazioni utili

NO oggetti che limitino la visibilità del sensore;
 ADEGUATA DISTANZA da sistemi di riscaldamento/ventilazione;
 ADEGUATA DISTANZA da apparecchi di illuminazione

Rilevatore di presenza per locali interni con sensore di luminosità (sistema bus KNX)

DESCRIZIONE

Il componente in oggetto è un prodotto a doppia tecnologia PIR (Passive Infrared) e Ultrasuoni (US); tale dispositivo possiede le stesse funzioni di un sensore di movimento ma è dotato di una sensibilità molto più elevata e, di conseguenza, è in grado di rilevare anche piccolissimi movimenti. Ha due aree di rilevamento, una dove agisce il PIR e una dove agisce il sensore a tecnologia US, assicurando flessibilità e massima accuratezza nel rilevamento presenza. E' dotato di **sensore di luminosità** per una completa gestione dell'illuminazione. Sintetizzando il dispositivo assicura le seguenti funzioni: ON-OFF, dimmer, presenza persone, livello d'illuminamento.

Tensione nominale	Portata lampada LED massima	Temperatura funzionamento	Grado protezione IP
27 Vdc (da Bus)	NA - Dipende dall'attuatore	-5 ÷ +45 °C	IP 20



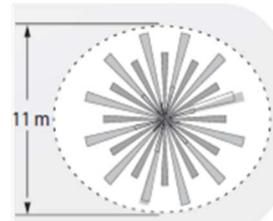
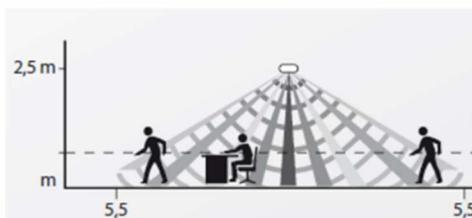
Prodotto a titolo esemplificativo

marca Bticino mod. BMSE3003
(<https://catalogo.bticino.it/>)

LOCALI DI DESTINAZIONE

<i>Edificio residenziale</i> (Uso stand alone)	<input type="checkbox"/>	<i>Edificio sett. terziario</i> (associato a sist. domotica)	<input checked="" type="checkbox"/>
Locale igienico	<input type="checkbox"/>	Uffici	<input checked="" type="checkbox"/>
Camera	<input type="checkbox"/>	Sala riunione	<input checked="" type="checkbox"/>
Atrio/Androne	<input type="checkbox"/>	Aula didattica	<input checked="" type="checkbox"/>
Scale	<input type="checkbox"/>	Locale igienico	<input type="checkbox"/>
Aree transito/corridoio	<input type="checkbox"/>	Atrio/Androne	<input type="checkbox"/>
Zona giorno/living	<input type="checkbox"/>	Scale	<input type="checkbox"/>
Cucina	<input type="checkbox"/>	Aree transito/corridoio	<input type="checkbox"/>
Ambienti esterni	<input type="checkbox"/>	Ambienti esterni	<input type="checkbox"/>

RANGE COPERTURA



11 m indica l'area di copertura del sensore US, il sensore PIR ha un'area di 8 m

PARAMETRI DI CONFRONTO

Installazione a parete	<input type="checkbox"/>
Installazione a soffitto	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocità di impiego	<input type="checkbox"/>
Buon rapporto qualità/prezzo	<input type="checkbox"/>
Aspetto estetico personalizzabile	<input type="checkbox"/>
Impiego su impianti esistenti (install. scatola 503)	<input type="checkbox"/>
Adattabilità con prodotti di altra marca	<input checked="" type="checkbox"/>
Compatibilità KNX	<input checked="" type="checkbox"/>
Compatibilità DALI	<input type="checkbox"/>
Compatibilità bluetooth	<input type="checkbox"/>

RISPARMIO ENERGETICO

Alcuni studi su utilizzatori domestici reali hanno dimostrato che, le lampade da interno con controllo basato sull'occupazione, hanno un utilizzo effettivo pari a circa il 50% rispetto a quelle a controllo convenzionale on/off.

50%

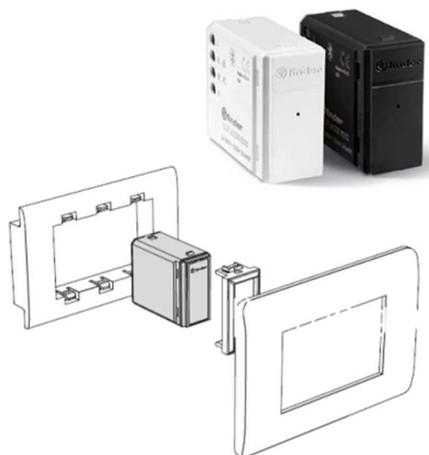
Altre informazioni utili

NO oggetti che limitino la visibilità del sensore;
ADEGUATA DISTANZA da sistemi di riscaldamento/ventilazione;
ADEGUATA DISTANZA da apparecchi di illuminazione

Regolatore luce per locali interni

DESCRIZIONE

Componente che, grazie ad un circuito elettronico, consente di variare la tensione di alimentazione dell'apparecchio LED adibito all'illuminazione. In tal modo è possibile regolare l'intensità della sorgente luminosa a seconda dell'attività lavorativa che si sta svolgendo e delle situazioni ambientali a contorno, aumentando il comfort e riducendo gli sprechi in termini di energia elettrica.



Tensione nominale	Portata lampada LED massima	Temperatura funzionamento	Grado protezione IP
230 VAC (50/60 Hz)	100 W	-10 + +50 °C	IP 20

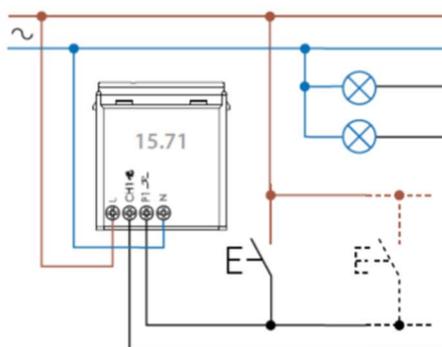
Prodotto a titolo esemplificativo

marca Finder serie 15 – mod. 15.71
(<https://www.findernet.com/it/italy/products/families/15/serie/15/documents>)

LOCALI DI DESTINAZIONE

- | | |
|---|--|
| Edificio residenziale
(Uso stand alone) <input checked="" type="checkbox"/> | Edificio sett. terziario
(associato a sist. domotica) <input type="checkbox"/> |
| Locale igienico <input type="checkbox"/> | Uffici <input type="checkbox"/> |
| Camera <input checked="" type="checkbox"/> | Sala riunione <input type="checkbox"/> |
| Atrio/Androne <input type="checkbox"/> | Aula didattica <input type="checkbox"/> |
| Scale <input type="checkbox"/> | Locale igienico <input type="checkbox"/> |
| Aree transito/corridoio <input type="checkbox"/> | Atrio/Androne <input type="checkbox"/> |
| Zona giorno/living <input checked="" type="checkbox"/> | Scale <input type="checkbox"/> |
| Cucina <input checked="" type="checkbox"/> | Aree transito/corridoio <input type="checkbox"/> |
| Ambienti esterni <input type="checkbox"/> | Ambienti esterni <input type="checkbox"/> |

SCHEMA DI COLLEGAMENTO



PARAMETRI DI CONFRONTO

- Installazione a parete
- Installazione a soffitto
- Velocità di impiego
- Buon rapporto qualità/prezzo
- Aspetto estetico personalizzabile
- Impiego su impianti esistenti (install. scatola 503)
- Adattabilità con prodotti di altra marca
- Compatibilità KNX
- Compatibilità DALI
- Compatibilità bluetooth

RISPARMIO ENERGETICO

Valore non quantificabile poiché dipendente dal tipo di utilizzo. Tuttavia, il dispositivo garantisce sicuramente un risparmio se confrontato a sistemi di comando convenzionale del tipo «on/off».

Regolatore luce per locali interni ((sistema bus KNX)

DESCRIZIONE

Componente che, consentendo di variare la tensione di alimentazione dell'apparecchio LED adibito all'illuminazione, permette di regolare l'intensità della sorgente luminosa a seconda dell'attività lavorativa che si sta svolgendo e delle situazioni ambientali a contorno, aumentando il comfort e riducendo gli sprechi in termini di energia elettrica. In tal caso si tratta di un attuatore *dimmer* a standard KNX. Il dispositivo riceve dal *bus* un telegramma, inviato da un dispositivo KNX (come un pulsante, un sensore o da un altro apparecchio di comando/controllo) che determina l'apertura o la chiusura del corrispondente relè o la regolazione dell'intensità luminosa emessa dalla lampada dell'apparecchio di illuminazione collegato.



Tensione nominale	Portata lampada LED massima	Temperatura funzionamento	Grado protezione IP
230 VAC (50/60 Hz)	2 x 300W	-5 ÷ +45 °C	IP 20

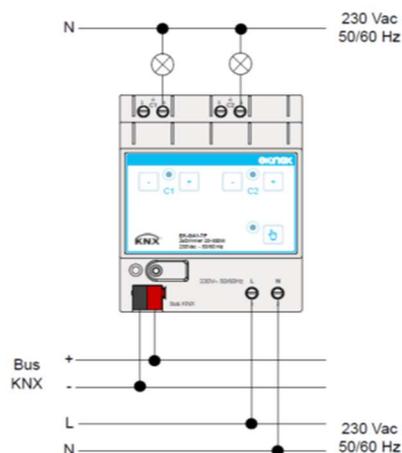
Prodotto a titolo esemplificativo

marca Ekinex – mod. EK-GA1-TP
(https://www.ekinex.com/area-tecnica/dimmer-knx/dimmer-universale-1-canale_15.html)

LOCALI DI DESTINAZIONE

<i>Edificio residenziale</i> (Uso stand alone)	<input type="checkbox"/>	<i>Edificio sett. terziario</i> (associato a sist. domotica)	<input checked="" type="checkbox"/>
Locale igienico	<input type="checkbox"/>	Uffici	<input checked="" type="checkbox"/>
Camera	<input type="checkbox"/>	Sala riunione	<input checked="" type="checkbox"/>
Atrio/Androne	<input type="checkbox"/>	Aula didattica	<input checked="" type="checkbox"/>
Scale	<input type="checkbox"/>	Locale igienico	<input type="checkbox"/>
Aree transito/corridoio	<input type="checkbox"/>	Atrio/Androne	<input type="checkbox"/>
Zona giorno/living	<input type="checkbox"/>	Scale	<input type="checkbox"/>
Cucina	<input type="checkbox"/>	Aree transito/corridoio	<input type="checkbox"/>
Ambienti esterni	<input type="checkbox"/>	Ambienti esterni	<input type="checkbox"/>

SCHEMA DI COLLEGAMENTO



PARAMETRI DI CONFRONTO

Montaggio modulare su guida DIN per quadri e armadi di distribuzione elettrica	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocità di impiego	<input type="checkbox"/>
Buon rapporto qualità/prezzo	<input checked="" type="checkbox"/>
Aspetto estetico personalizzabile	<input type="checkbox"/>
Impiego su impianti esistenti (install. scatola 503)	<input type="checkbox"/>
Adattabilità con prodotti di altra marca	<input checked="" type="checkbox"/>
Compatibilità KNX	<input checked="" type="checkbox"/>
Compatibilità DALI	<input type="checkbox"/>
Compatibilità bluetooth	<input type="checkbox"/>

RISPARMIO ENERGETICO

Valore non quantificabile poiché dipendente dal tipo di utilizzo. Tuttavia, il dispositivo garantisce sicuramente un risparmio se confrontato a sistemi di comando convenzionale del tipo «on/off».

Rilevatore di presenza per locali interni con sensore di luminosità

DESCRIZIONE

Il componente in oggetto è un prodotto a doppia tecnologia PIR (Passive Infrared) e Ultrasuoni (US); tale dispositivo possiede le stesse funzioni di un sensore di movimento ma è dotato di una sensibilità molto più elevata e, di conseguenza, è in grado di rilevare anche piccolissimi movimenti (micromovimenti). Consente di definire 2 aree di rilevamento, una dove agisce il PIR e una dove agisce il sensore a tecnologia US, assicurando flessibilità e massima accuratezza nel rilevamento presenza. E' dotato di **sensore di luminosità** per una completa gestione dell'illuminazione.



Tensione nominale	Portata lampada LED massima	Temperatura funzionamento	Grado protezione IP
230 VAC (50-60Hz)	1000 W	-5 ÷ +45 °C	IP 20

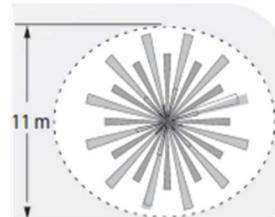
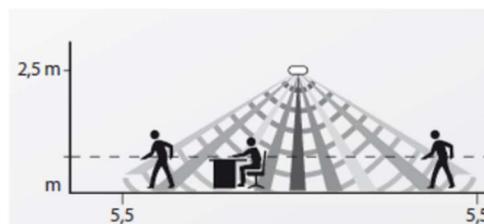
Prodotto a titolo esemplificativo

marca Bticino mod. BMSA2202IT
<https://catalogo.bticino.it/BTI-BMSA2202-IT>

LOCALI DI DESTINAZIONE

<i>Edificio residenziale</i> (Usa stand alone)	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Edificio sett. terziario</i> (associato a sist. domotica)	<input type="checkbox"/>
Locale igienico	<input type="checkbox"/>	Uffici	<input type="checkbox"/>
Camera	<input checked="" type="checkbox"/>	Sala riunione	<input type="checkbox"/>
Atrio/Androne	<input type="checkbox"/>	Aula didattica	<input type="checkbox"/>
Scale	<input type="checkbox"/>	Locale igienico	<input type="checkbox"/>
Aree transito/corridoio	<input type="checkbox"/>	Atrio/Androne	<input type="checkbox"/>
Zona giorno/living	<input checked="" type="checkbox"/>	Scale	<input type="checkbox"/>
Cucina	<input checked="" type="checkbox"/>	Aree transito/corridoio	<input type="checkbox"/>
Ambienti esterni	<input type="checkbox"/>	Ambienti esterni	<input type="checkbox"/>

RANGE COPERTURA



11 m indica l'area di copertura del sensore US, il sensore PIR ha un'area di 8 m

PARAMETRI DI CONFRONTO

Installazione a parete	<input type="checkbox"/>
Installazione a soffitto	<input checked="" type="checkbox"/>
Velocità di impiego	<input checked="" type="checkbox"/>
Buon rapporto qualità/prezzo	<input type="checkbox"/>
Aspetto estetico personalizzabile	<input type="checkbox"/>
Impiego su impianti esistenti (install. scatola 503)	<input type="checkbox"/>
Adattabilità con prodotti di altra marca	<input checked="" type="checkbox"/>
Compatibilità KNX	<input type="checkbox"/>
Compatibilità DALI	<input type="checkbox"/>
Compatibilità bluetooth	<input checked="" type="checkbox"/>

RISPARMIO ENERGETICO

Alcuni studi su utilizzatori domestici reali hanno dimostrato che, le lampade da interno con controllo basato sull'occupazione, hanno un utilizzo effettivo pari a circa il 50% rispetto a quelle a controllo convenzionale on/off.

50%

Bibliografia

- AA.VV (2013), Efficienza energetica attraverso la Diagnosi e il Servizio Energia negli Edifici. Linee Guida;
- Cellura, M., Beccali, M., Guarino, F., Lo Brano, V. (2013) “Redesign di edifici a energia netta zero e caratterizzazione degli edifici scolastici nella Regione Sicilia”;
- Costanzo E. Indicatori di compatibilità ambientale e durabilità negli edifici - Energia Ambiente e Innovazione 2/03;
- Cumo, F., Giustini, F., Pennacchia, E., “Stato dell’arte di soluzioni tecnologiche di involucro edilizio esistenti come base per interventi di Deep Renovation del patrimonio immobiliare nel settore abitativo”, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l’energia e lo sviluppo economico sostenibile MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO, Report RdS/PTR2019/XXX;
- Energy Efficiency Report – Politecnico di Milano dipartimento di ingegneria gestionale MIP;
- EEA (2013), European Union CO2 emissions: different accounting perspectives;
- EEA (2013), Achieving energy efficiency through behaviour change: what does it take? EEA Technical Report No 5/2013;
- ENEA, FIRE, Guida al contenimento della spesa energetica nelle scuole;
- ENEA (2013) a cura di Sergio Zabet e Dario di Santo, Guida ai contratti di Prestazione Energetica negli Edifici Pubblici, Report RdS/2013/150;
- ENEA (2016), Guida all’efficienza energetica negli edifici scolastici;
- Energy Lab. Laboratorio Efficienza Energetica (2014), Efficienza energetica: governance, strumenti e mercato, Ediplan Editrice, Milano 2014;
- Energy Strategy Group (2013), Energy Efficiency Report. L’efficienza energetica in Italia: soluzioni tecnologiche e opportunità di business nell’industria, il terziario e la Pubblica Amministrazione;
- European Commission (2013), Energy performance certificates in buildings and their impact on transaction prices and rents in selected EU countries;
- Gazzetta Ufficiale N. 84 del 10 aprile 2009 – Presidenza del Consiglio dei ministri - Circolare 27 marzo 2009 -Criteri per la comunicazione di informazioni relative al Partenariato Pubblico-Privato ai sensi dell’articolo 44, comma 1-bis del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248 convertito, con modificazioni, dall’articolo 1, comma 1 della legge 28 febbraio 2008, n. 31;
- Giuliano Dall’O, Annalisa Galante, Abitare sostenibile, Il Mulino;
- GSE (2014), Conto Termico. Cos’è, come funziona e come richiedere gli incentivi;
- Joint Research Centre (2013), Linee Guida come sviluppare un Piano d’Azione per l’Energia Sostenibile (PAES);
- JRC (2010), Existing Methodologies and Tools for the Development and Implementation of Sustainable Energy Action Plans;

- Legambiente, Cresme (2013), L'innovazione energetica in edilizia. Rapporto ONRE 2013;
- Legambiente, CGIL (2013), Innovazione e sostenibilità nel settore edilizio. Costruire il futuro;
- Mazzarella L., Piterà L.A. (2013), Efficienza energetica attraverso la diagnosi e il Servizio Energia negli edifici. Linee Guida;
- Meddah, Seddik (2017). Recycled aggregates in concrete production: engineering properties and environmental impact, MATEC Web of Conferences, DOI: 10.1051/mateconf/201710105021;
- Ministero dell'Ambiente (2007), Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della Pubblica Amministrazione;
- Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero dell'Ambiente, APAT, Renael (2012), Linee-guida per la definizione di contratti di efficienza energetica delle amministrazioni pubbliche;
- OECD 2013, Green Growth in Cities, OECD Green Growth Studies;
- ONRE (2013), L'innovazione energetica in edilizia. Rapporto Onre 2013. I Regolamenti Edilizi comunali e lo scenario dell'innovazione energetica e ambientale in Italia 50;
- Passive House Institute (2015), Edifici a energia quasi zero (NZEB). Il ruolo dei Comuni;
- Piras, G., Pennacchia, E. (2018), "Materiali e componenti per l'efficienza energetica degli edifici", Legislazione tecnica, Roma, ISBN 978-88-6219-258-3;
- Progetto Combines (2013), Il potenziale dell'efficienza energetica in Italia e le prospettive per i contratti di rendimento energetico. Report Nazionale WP3;
- Provincia di Torino (2013), Efficienza gestionale ed energetica nella Pubblica Amministrazione RSE, Enea, Ministero Sviluppo Economico (2009), Indagine sui consumi degli edifici pubblici (direzionale e scuole) e potenzialità degli interventi di efficienza energetica. Report RSE/2009/165;
- RSE (2015), Edifici energeticamente efficienti. Un'opportunità.