



Piano di Efficienza Energetica del Comune di Transacqua (TN)



Valutazione dell'efficienza energetica degli edifici comunali e degli impianti di illuminazione pubblica ed individuazione degli interventi di risparmio su supporto web-gis



Autori

arch. Luigi Boso
ing. Matteo Poletti
Michel Gaier

Consulenza

Polo Tecnologico per l'Energia s.r.l.
prof. ing. Maurizio Fauri
ing. Matteo Manica

INDICE

| | | |
|-------------------|--|-----------|
| CAPITOLO 1 | RISULTATI DELLO STUDIO | 5 |
| 1.1 | Introduzione | 5 |
| 1.2 | Struttura del documento | 6 |
| 1.3 | Sintesi dei risultati | 7 |
| 1.4 | Considerazioni sulle fonti rinnovabili | 8 |
| CAPITOLO 2 | INTERVENTI E TECNOLOGIE PER L'INCREMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA | 10 |
| 2.1 | Linee di azione per la riduzione dei consumi e dei costi energetici | 10 |
| 2.2 | Efficienza energetica nell'edilizia civile | 12 |
| 2.2.1 | Illuminazione interna | 12 |
| 2.2.2 | Produzione di acqua calda sanitaria | 14 |
| 2.2.3 | Apparecchiature elettriche ed elettroniche | 15 |
| 2.2.4 | Isolamento termico delle pareti | 16 |
| 2.2.5 | Isolamento termico delle coperture | 18 |
| 2.2.6 | Sostituzione delle finestre | 20 |
| 2.2.7 | Generatori di calore | 21 |
| 2.2.8 | Distribuzione del calore e corpi scaldanti | 24 |
| 2.2.9 | Pompe di calore | 25 |
| 2.2.10 | Gestione e regolazione degli impianti | 28 |
| 2.2.11 | Abitudini e comportamenti | 30 |
| 2.3 | Efficienza energetica negli impianti di illuminazione pubblica | 32 |
| 2.3.1 | Illuminazione pubblica | 32 |
| CAPITOLO 3 | TECNOLOGIE PER LO SFRUTTAMENTO DELLE RINNOVABILI | 37 |
| 3.1 | Impianti idroelettrici di piccola taglia | 37 |
| 3.2 | Impianti a biomassa | 40 |
| 3.2.1 | Principali tipologie di biomassa | 40 |

| | | |
|-------------------|---|------------|
| 3.2.2 | Stato dell'arte delle tecnologie per la produzione energetica | 42 |
| 3.2.3 | Impatto ambientale degli impianti | 46 |
| 3.3 | Impianti fotovoltaici | 48 |
| 3.3.1 | Componenti e requisiti tecnici di un impianto FV | 48 |
| 3.3.2 | Stato dell'arte della tecnologia | 52 |
| 3.3.3 | Il "Conto Energia" | 56 |
| 3.4 | Impianti solari termici | 62 |
| 3.4.1 | Stato dell'arte della tecnologia | 62 |
| 3.4.2 | Tipologie di impianto | 64 |
| 3.4.3 | Aspetti economici | 65 |
| CAPITOLO 4 | EDIFICI COMUNALI: VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA ENERGETICA ED INTERVENTI DI RISPARMIO | 66 |
| 4.1 | Introduzione | 66 |
| 4.2 | Definizione dello stato di fatto | 67 |
| 4.2.1 | Analisi dei consumi di energia elettrica | 67 |
| 4.2.2 | Analisi dei consumi di gasolio | 69 |
| 4.3 | Valutazione dell'efficienza energetica | 71 |
| 4.3.1 | Efficienza energetica in ambito elettrico | 72 |
| 4.3.2 | Efficienza energetica in ambito termico | 75 |
| 4.4 | interventi di efficienza energetica | 79 |
| 4.4.1 | Scuola materna | 79 |
| 4.4.2 | Caserma dei Carabinieri | 87 |
| 4.4.3 | Scuola media | 92 |
| 4.4.4 | Casa sociale | 97 |
| 4.4.5 | Impianto frigorifero della piastra del ghiaccio | 99 |
| 4.5 | Conclusioni | 101 |
| 4.6 | Particolari costruttivi della scuola media | 102 |
| CAPITOLO 5 | IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE: VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA ENERGETICA ED INTERVENTI DI RISPARMIO | 104 |
| 5.1 | Introduzione e sintesi dei risultati | 104 |

| | | |
|-------------------|---|------------|
| 5.2 | Legislazione provinciale | 106 |
| 5.3 | Definizione dello stato di fatto | 108 |
| 5.3.1 | Raccolta dati | 108 |
| 5.3.2 | Parco lampade, regolazione impianti e consumi | 108 |
| 5.3.3 | Corpi illuminanti | 112 |
| 5.4 | Valutazione dell'efficienza energetica | 114 |
| 5.5 | Interventi di efficienza energetica | 117 |
| 5.5.1 | Descrizione degli interventi | 117 |
| 5.5.2 | Sintesi dei risultati degli interventi | 122 |
| 5.6 | Titoli di efficienza energetica | 126 |
| 5.7 | Conclusioni | 128 |
| 5.8 | Rilievo dei punti luce del comune | 130 |
| CAPITOLO 6 | IL PIANO COMUNALE DI EFFICIENZA ENERGETICA GESTITO CON SISTEMA WEB-GIS | 134 |
| 6.1 | Introduzione | 134 |
| 6.2 | Il progetto | 135 |
| 6.3 | Caratteristiche tecniche | 135 |
| 6.4 | Gli elementi di innovatività | 138 |

CAPITOLO 1 RISULTATI DELLO STUDIO

1.1 Introduzione

Il presente lavoro valuta l'attuale livello di efficienza energetica di otto edifici comunali e degli impianti di illuminazione pubblica a Transacqua e illustra i possibili interventi finalizzati alla riduzione dei consumi e dei costi energetici.

Il Comune di Transacqua si trova in provincia di Trento, ad una quota di 746 m s.l.m. e si estende per una superficie di circa 36 km²; nel Comune risiedono 2.100 abitanti. In base al DPR 412/1993 i gradi giorno del Comune di Transacqua sono 3.555 e il Comune appartiene alla zona climatica F (nessuna limitazione temporale all'uso degli impianti di riscaldamento).

Al fine di definire gli interventi di efficienza energetica degli edifici e degli impianti del Comune, si adotta la metodologia di lavoro sinteticamente descritta nel seguito:

- valutazione dello stato di fatto degli edifici e degli impianti attraverso l'analisi dei consumi elettrici e termici e la realizzazione di sopralluoghi;
- individuazione delle situazioni di inefficienza e di spreco relative agli aspetti tecnici e gestionali;
- definizione degli interventi prioritari tesi alla riduzione dei consumi e dei costi energetici;
- stima dei costi e dei risparmi economici derivanti dalla realizzazione degli interventi, allo scopo di valutarne i tempi di ritorno.

La Tabella 1 riporta gli attuali consumi e costi energetici annuali delle utenze in esame. In termini di emissioni di CO₂, il consumo complessivo di energia elettrica si traduce in 330 ton/anno e il consumo di gasolio in 284 ton/anno, per un totale di 614 ton/anno.

| Voce di consumo e costo energetico | Consumo annuo (kWh, litri) | Costo annuo (€) |
|---|-----------------------------------|------------------------|
| Energia elettrica (ill. pubblica) | 397.000 kWh | 52.000 |
| Energia elettrica (edifici) | 263.000 kWh | 50.000 |
| Gasolio | 103.000 litri | 98.000 |
| Costo energetico totale | --- | 200.000 |

Tabella 1 - Consumi e costi energetici delle utenze in esame

1.2 **Struttura del documento**

Per consentire un'agevole lettura ed interpretazione dell'analisi energetica, il presente documento è strutturato in due distinte relazioni, ciascuna delle quali è relativa ad un settore di intervento:

- edifici di proprietà comunale;
- impianti di illuminazione pubblica.

La suddivisione del documento in fascicoli separati per ogni area energetica individuata consentirà, in futuro, anche un rapido e continuo aggiornamento dei dati e dei risultati che emergeranno via via dai successivi approfondimenti ed interventi tecnici.

1.3 **Sintesi dei risultati**

Si anticipano i principali risultati dell'analisi energetica degli edifici e degli impianti di illuminazione pubblica del Comune.

Nel settore degli edifici pubblici si delinea un quadro attuale di buona efficienza energetica, sia in ambito elettrico che termico. Il lavoro non individua margini di riduzione dei consumi elettrici, che possono essere legati solo alla modifica di eventuali abitudini e comportamenti scorretti da parte degli occupanti. Contenuti sono anche i margini di risparmio in ambito termico, nell'ordine del 10% dell'attuale consumo complessivo di gasolio: in tal senso, il lavoro definisce i possibili interventi di efficienza.

Nel settore dell'illuminazione pubblica i potenziali di risparmio sono più consistenti e sono conseguibili tramite la sostituzione delle armature e delle lampade a bassa efficienza e la regolazione del flusso: i risparmi energetici ed economici sono nell'ordine del 18-19% nel caso si installino lampade al sodio ad alta pressione in sostituzione delle lampade ai vapori di mercurio e del 22-23% nel caso si adottino nuovi corpi illuminanti a LED.

1.4

Considerazioni sulle fonti rinnovabili

L'attenzione del lavoro si concentra sugli aspetti legati all'efficienza energetica, che riguarda gli usi e i consumi finali dell'energia elettrica e termica.

Altrettanto importanti sono gli aspetti connessi alla produzione energetica attraverso impianti alimentati dalle fonti rinnovabili localmente disponibili. Le fonti in questione possono essere individuate nel sole, nella biomassa legnosa e nell'acqua. Mentre la biomassa sarà ampiamente utilizzata dalla centrale di teleriscaldamento in costruzione, il sole e l'acqua non sono ancora sfruttati.

Il sole può alimentare impianti fotovoltaici per la produzione di energia elettrica e impianti solari termici per la produzione di acqua calda: soprattutto i primi sono in forte sviluppo in Italia, grazie agli incentivi del "Conto Energia", rinnovati anche per il triennio 2011-2013 con il DM 6 agosto 2010.

Indicativamente, possibili siti per impianti solari sono le falde di copertura esposte a sud-ovest della palestra della scuola media e del centro sportivo (Figura 1) e la falda esposta a sud della scuola materna (Figura 2 a pagina seguente). Interessante sarebbe anche la sostituzione dell'attuale copertura mobile della piastra del ghiaccio con una copertura fissa fotovoltaica realizzata con pannelli in silicio amorfo.



Figura 1 – Possibili siti di impianti solari: scuola media e centro sportivo

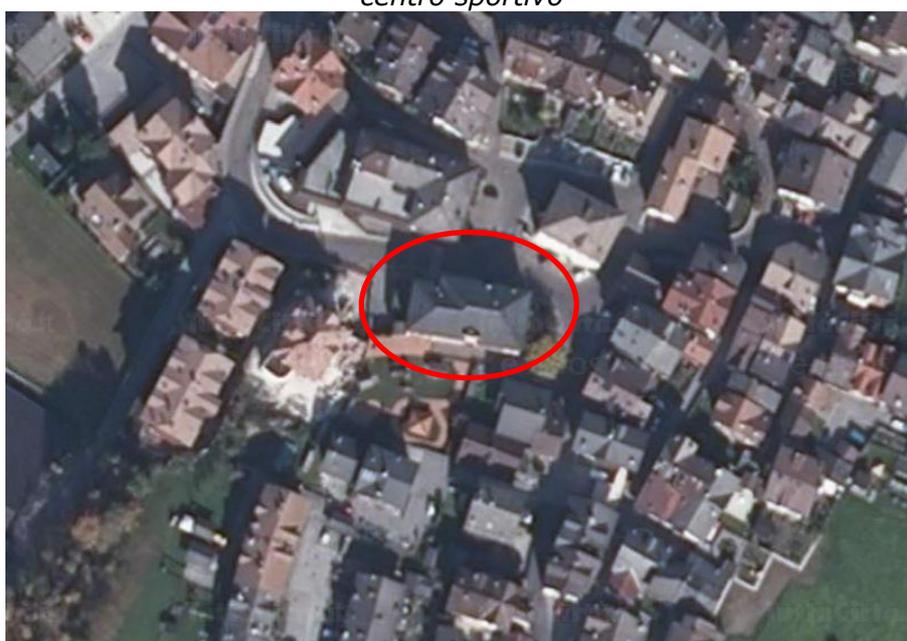


Figura 2 – Possibile sito di impianti solari: scuola materna

L'acqua, infine, può alimentare impianti idroelettrici costruiti su corsi d'acqua naturali, ma potenzialmente anche lungo la rete acquedottistica.

CAPITOLO 2 INTERVENTI E TECNOLOGIE PER L'INCREMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA

2.1 Linee di azione per la riduzione dei consumi e dei costi energetici

I programmi e le azioni caratterizzanti un'organica ed integrata pianificazione energetica a livello locale devono essere finalizzati, da un lato, al contenimento e alla riduzione dei costi energetici connessi all'utilizzo e alla trasformazione dei combustibili fossili (che rappresentano di gran lunga la fonte energetica ancora prevalente) e dall'altro lato al crescente ricorso alle fonti rinnovabili di energia.

Nell'ambito dei processi per il contenimento e la riduzione dei costi energetici, si possono individuare meccanismi distinti, sui quali è possibile intervenire in modo indipendente.

Tutti gli interventi di efficienza energetica e di riduzione dei costi si possono ricondurre a tre linee di azione fondamentali (Figura 3), dalla cui opportuna combinazione deriva il conseguimento del massimo risparmio economico:

- la contrattazione del prezzo di fornitura dell'energia;
- il miglioramento delle prestazioni e della qualità degli edifici e degli impianti;
- l'ottimizzazione dei sistemi di gestione.

La prima importante opportunità per il raggiungimento di sensibili benefici economici è offerta dal processo di liberalizzazione del mercato dell'energia (decreto legislativo 79/99), che consente la possibi-

lità di contrattazione del prezzo dell'energia elettrica e del gas nel mercato libero. Oltre che dal miglioramento dell'efficienza energetica, la riduzione dei costi è infatti ottenibile anche mediante la contrattazione del prezzo di acquisto dell'energia sul libero mercato.

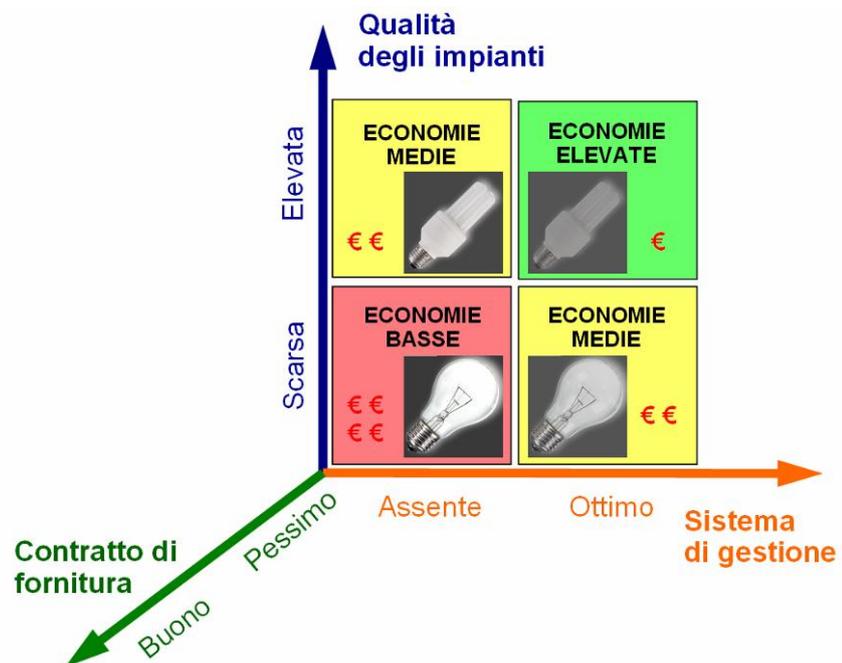


Figura 3 - Linee di azione per la riduzione dei costi energetici

Le altre due linee di azione indipendenti per la riduzione dei costi sono legate all'incremento dell'efficienza attraverso il miglioramento degli impianti e della loro gestione.

Con riferimento alla Figura 3, si può facilmente intuire che l'utilizzo di apparecchiature e sistemi a maggiore efficienza (rappresentato lungo l'asse verticale dalla sostituzione di lampade a incandescenza con lampade fluorescenti compatte) riduce i consumi di energia a parità di condizioni gestionali (ore di funzionamento, regolazione automatica e modelli di comportamento).

Nello stesso tempo, a parità di efficienza degli impianti, una notevole riduzione dei consumi è conseguibile mediante il miglioramento della gestione (asse orizzontale), che spesso è attuabile con interventi a basso costo di investimento come, per esempio, la modifica dei comportamenti delle persone (educazione all'uso economico delle risorse energetiche) e l'installazione di sistemi di base per il controllo e la regolazione automatica (fotocellule, cronotermostati, ecc.).

La logica dei tre assi indipendenti visualizzati nella Figura 3, rispetta ogni situazione di utilizzo delle risorse energetiche. Nel campo dei trasporti privati, per esempio, qualora si cerchi di ottimizzare economicamente ed energeticamente l'utilizzo della propria autovettura, si può:

- fare rifornimento presso il distributore che offre i prezzi migliori del carburante (asse verde dei contratti di fornitura);
- cambiare la propria autovettura, acquistando una vettura nuova più efficiente (asse blu della qualità degli impianti);
- modificare il proprio stile di guida, cercando di ridurre i consumi di carburante (asse rosso della gestione).

2.2 **Efficienza energetica nell'edilizia civile**

2.2.1 *Illuminazione interna*

Gli impianti di illuminazione degli edifici non sempre soddisfano i principi di efficienza energetica, per motivi di vetustà, di sovradimensionamento o di comportamenti poco responsabili degli utenti.

Nel settore dell'illuminazione degli ambienti interni l'efficienza può essere migliorata grazie alle scelte operate in merito a:

- incremento dell'efficienza delle sorgenti luminose (compresi i dispositivi ausiliari delle lampade). La Tabella 2 riporta, a titolo di esempio, un confronto di efficienza tra due diverse tipologie di sorgenti luminose impiegate tipicamente negli impianti interni;
- incremento delle prestazioni degli apparecchi illuminanti in termini di controllo del flusso luminoso emesso;
- utilizzo dei dispositivi automatici di regolazione delle luci.

Nel caso siano installate lampade ad incandescenza o alogene, si deve considerare la loro sostituzione con lampade fluorescenti ad alta efficienza, che garantiscono lo stesso flusso luminoso con risparmi energetici fino all'80%. Un ulteriore aspetto da valutare è rappresentato dal sistema di controllo delle luci, riguardo al quale si possono fare le seguenti considerazioni:

- interruttori manuali: il loro numero deve essere adeguato alla distribuzione interna delle singole aree funzionali. Ogni interruttore deve comandare un piccolo gruppo di lampade, in modo da poter illuminare solo le zone effettivamente utilizzate, anche in base alla disponibilità di luce naturale;
- interruttori a tempo e sensori di presenza: sono dispositivi automatici molto semplici ed economici, che permettono di limita-

re l'accensione delle luci ai locali realmente occupati e ai momenti di necessità;

- fotocellule: questi dispositivi automatici sono in grado di regolare il flusso luminoso delle lampade (limitando in tal modo la potenza elettrica assorbita) in funzione della disponibilità di luce naturale nell'ambiente interno.

I risparmi energetici derivanti da un razionale sistema di controllo delle luci variano molto con il livello di utilizzo dei dispositivi elencati: l'impiego combinato dei sensori di presenza e delle fotocellule può comportare risparmi dell'ordine del 50% sui consumi degli impianti di illuminazione.

| Lampade a incandescenza | | Fluorescente integrata | |
|---|--------------------------|---|------|
|  | 40 W corrispondono a... |  | 9 W |
| | 60 W corrispondono a... |  | 13 W |
| | 75 W corrispondono a... | | 18 W |
| | 100 W corrispondono a... | | 25 W |

Tabella 2 - Confronto tra le lampade elettroniche fluorescenti e le vecchie lampade ad incandescenza

2.2.2 Produzione di acqua calda sanitaria

La maggior parte dei consumi elettrici connessi alla produzione di acqua calda sanitaria è dovuta ad un comportamento poco oculato da parte dell'utente, che il più delle volte regola il termostato del boiler su temperature eccessive e ritiene di consumare meno energia

elettrica mantenendo costantemente acceso lo scaldabagno (o preferisce mantenerlo acceso per ragioni di comodità).

In questo modo, però, gran parte dei consumi elettrici del boiler non è legata alla produzione dell'acqua calda effettivamente utilizzata, ma alle perdite di calore attraverso le pareti dello scaldabagno (perdite che sono tanto più alte quanto più si forza lo scaldabagno ad operare ad elevate temperature).

Tra le possibilità immediate che si offrono per la riduzione dei consumi elettrici nella produzione di acqua calda sanitaria si evidenziano le seguenti:

- installazione di tecnologie efficienti (boiler con buon isolamento termico);
- utilizzo di interruttori a tempo per la gestione dei carichi (gli interruttori consentono l'accensione programmata notturna dei boiler, due o tre ore prima dell'utilizzo al mattino dell'acqua calda).

Tuttavia la soluzione che risulta più efficace in termini di riduzione dei consumi elettrici e di abbattimento delle emissioni inquinanti consiste nella sostituzione dello scaldabagno elettrico con uno scaldabagno a gas, integrato con pannelli solari termici installati sulla copertura.

2.2.3 *Apparecchiature elettriche ed elettroniche*

La sensibilità verso i consumi di energia elettrica delle apparecchiature elettroniche è abbastanza recente e non ancora pienamente svi-

luppata, tanto che i produttori non sono soliti fornire una chiara indicazione della potenza assorbita dagli apparecchi sulle etichette o sui manuali di istruzioni d'uso.

La scarsa consapevolezza dei consumi delle apparecchiature elettroniche è legata al fatto che per lo più si tratta di consumi nascosti, che avvengono quando gli apparecchi sono spenti o sono in funzione ma non utilizzati (modalità stand-by).

Le apparecchiature elettroniche registrano solitamente un certo consumo di energia elettrica anche se spente, a causa delle perdite nei trasformatori interni: per eliminare tale consumo, gli apparecchi dovrebbero essere connessi con un interruttore generale, in grado di togliere l'alimentazione alle singole prese di corrente.

Ulteriori risparmi di energia elettrica derivano da accensioni e spegnimenti ragionati delle apparecchiature: i computer, le stampanti e le fotocopiatrici consumano molto anche quando sono in stand-by (gli assorbimenti di potenza possono raggiungere i 150 W) e per questo tali apparecchi andrebbero spenti per pause prolungate.

Infine, è opportuno precisare che lo spegnimento delle apparecchiature elettroniche evita la produzione di calore e la diffusione di rumore negli ambienti di lavoro.

2.2.4 *Isolamento termico delle pareti*

L'isolamento termico delle pareti perimetrali di un edificio rappresenta l'intervento più efficace per la riduzione dei consumi energetici connessi al riscaldamento ambientale, in particolar modo nel caso di

vecchi edifici, caratterizzati generalmente da elevate dispersioni di calore attraverso i componenti dell'involucro.

La coibentazione deve essere distribuita uniformemente sull'intera superficie delle pareti, in modo tale da garantire l'eliminazione dei ponti termici, in corrispondenza dei quali si concentrano considerevoli perdite termiche.

L'isolamento può essere realizzato tramite l'applicazione di pannelli isolanti di opportuno spessore e di adeguate caratteristiche termoacustiche e meccaniche sulla superficie esterna o interna delle pareti.

L'applicazione dei pannelli sulla superficie esterna rappresenta la soluzione più efficace per l'isolamento di un edificio. Essa conferisce una notevole inerzia termica alle pareti, che accumulano calore durante il funzionamento dell'impianto di riscaldamento e lo rilasciano nei periodi in cui l'impianto è spento. Tale soluzione, inoltre, garantisce la completa eliminazione dei ponti termici sulla superficie dell'edificio. I pannelli isolanti devono essere ricoperti da uno spessore sottile di finitura, sia per motivi estetici sia per la protezione dell'isolante dall'irraggiamento solare e dalle intemperie. I vantaggi di questo intervento si possono così sintetizzare:

- isolamento continuo e uniforme con eliminazione dei ponti termici;
- protezione delle pareti esterne dagli agenti atmosferici;
- nella fase di realizzazione dell'intervento l'edificio può essere regolarmente utilizzato;

- se ben eseguito l'intervento presenta una notevole stabilità e durata.

L'applicazione di uno strato isolante sulla superficie interna conferisce scarsa inerzia termica alle pareti e pertanto risulta particolarmente adatta negli interventi di ristrutturazione degli ambienti di lavoro e di quelli occupati poche ore al giorno, nei quali sono necessari tempi di riscaldamento rapidi. L'intervento consiste nell'applicare uno strato isolante costituito da pannelli rigidi e un successivo strato di finitura con intonaco o cartongesso: questa soluzione presenta un'elevata semplicità e un ridotto costo di esecuzione e determina una limitata perdita di spazio abitativo. L'isolamento interno può anche essere realizzato applicando lo strato di isolante e la seguente finitura con intonaco o cartongesso mediante l'utilizzo di una struttura metallica di supporto: questa soluzione è più complessa e determina una maggior perdita di spazio interno, ma fornisce migliori garanzie di durata nel tempo ed un sensibile aumento della coibenza termoacustica, per effetto della formazione di un'intercapedine tra la muratura esistente e l'isolante applicato.

2.2.5 *Isolamento termico delle coperture*

Nel bilancio energetico di un edificio il ruolo assunto dalla copertura è fondamentale, in quanto una parte non trascurabile delle dispersioni termiche avviene proprio attraverso essa.

Nel caso di un sottotetto non abitabile, l'intervento di coibentazione della copertura può consistere nell'applicazione dei pannelli isolanti all'estradosso del solaio orizzontale: questa soluzione presenta

un'estrema semplicità di realizzazione e determina una coibenza termica uniforme, che risolve quasi completamente il problema dei ponti termici.

L'isolamento termico di una copertura a falde con sottotetto abitabile può essere realizzato tramite l'applicazione di pannelli isolanti all'intradosso delle falde stesse con l'ausilio di collanti o elementi di fissaggio meccanici.

Nel caso di una copertura piana costituita semplicemente dal solaio resistente e da una guaina impermeabilizzante esterna, l'isolamento termico può essere realizzato attraverso la posa sull'estradosso della copertura stessa di un pacchetto isolante composto da pannelli in polistirene estruso dello spessore di almeno 10 cm (disposti a secco sulla guaina impermeabilizzante ed accostati fra loro per evitare la formazione di ponti termici in corrispondenza dei giunti a battente) e da uno strato finale di zavorra in ghiaietto tondo lavato dello spessore non inferiore a 5 cm, separato dai pannelli isolanti per mezzo di un tessuto non tessuto in fibre di poliestere.

Il pacchetto isolante così ottenuto svolge anche la funzione di protezione della guaina impermeabilizzante, incrementandone la durata: a questo proposito, prima della posa dei pannelli in polistirene è raccomandabile la verifica dello stato di conservazione del manto impermeabile, intervenendo con la sua sostituzione in caso di deterioramento.

2.2.6 *Sostituzione delle finestre*

Le finestre ed in genere le superfici vetrate hanno un peso notevole nel bilancio energetico di un edificio e possono rappresentare la voce più importante in tale bilancio, come nel caso di molti edifici ad uso ufficio dotati di grandi superfici trasparenti.

Le tradizionali finestre a vetro singolo o vetro doppio senza taglio termico causano notevoli dispersioni termiche e presentano un basso comfort abitativo: la loro sostituzione, pertanto, rappresenta sicuramente una misura prioritaria nel contesto di un risanamento energetico degli edifici, dal momento che comporta la riduzione dei consumi energetici per il riscaldamento invernale e il condizionamento estivo e un incremento non trascurabile del comfort ambientale interno.

Le tradizionali finestre sono tipicamente prodotti artigianali, con l'unica funzione di garantire l'illuminazione dei locali interni degli edifici; i moderni serramenti, al contrario, sono prodotti ad alta tecnologia, che mirano all'ottimizzazione del potere isolante, del potere di insonorizzazione e, più in generale, del comfort abitativo.

La trasmittanza di un vetro semplice è superiore a $5,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, mentre quella di un moderno vetrocamera è inferiore a $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$; inoltre, i vetrocamera riempiti di gas inerte raggiungono valori di trasmittanza di circa $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$.

L'innovazione tecnologica ha riguardato sia i vetri che i telai dei serramenti: i telai, infatti, possono ricoprire fino al 30% della superficie vetrata e pertanto un buon serramento deve possedere necessaria-

mente un'intelaiatura di qualità, in grado di offrire una trasmittanza simile a quella dei vetri.

2.2.7 *Generatori di calore*

I principali interventi per l'ottimizzazione dell'efficienza energetica degli impianti di riscaldamento consistono nell'incremento delle prestazioni dei generatori di calore e nella loro completa sostituzione in caso di raggiungimento della fine della vita utile.

In molti casi si riscontra infatti la possibilità di migliorare notevolmente le prestazioni dei generatori di calore per:

- obsolescenza dei sistemi di generazione per mancato adeguamento tecnologico;
- sostituibilità di combustibili quali gasolio e btz con gas metano;
- errato dimensionamento della potenza termica del generatore di calore per i carichi termici effettivi dell'edificio;
- assenza di sistemi di regolazione della potenza ottenibile per esempio con bruciatori modulanti o multistadio o in cascata;
- possibilità di recupero del calore dei fumi.

A tal proposito si deve tener presente che i generatori di calore sono costituiti da due elementi fondamentali: il bruciatore e la caldaia.

Il bruciatore è un apparecchio che provvede a miscelare il combustibile con l'aria, a introdurre la miscela nella camera di combustione e ad innescare il processo di combustione. I bruciatori devono essere in grado di erogare potenze termiche in funzione del carico richiesto: a tale scopo solo per piccole potenze (tipicamente fino ai 100 kW)

sono raccomandabili bruciatori del tipo on off, nei quali la fiamma viene accesa o spenta in funzione della necessità. Nel caso di potenze superiori (dai 100 ai 300 kW), l'efficienza energetica degli impianti richiede l'uso di bruciatori a due o tre stadi di fiamma, mentre per potenze ancora maggiori è opportuno ricorrere ai bruciatori a modulazione di fiamma.

Per quanto riguarda la caldaia, la scelta della potenza e della tipologia da installare dipende da numerosi parametri, quali le condizioni climatiche esterne, le caratteristiche costruttive dell'edificio, la sua destinazione d'uso e gli orari di occupazione. In particolare, una caldaia tradizionale di potenza eccessiva rispetto alle reali esigenze dell'edificio spreca molta energia: specialmente nelle stagioni intermedie, infatti, essa raggiunge rapidamente la temperatura prefissata e pertanto è soggetta a lunghi e frequenti periodi di spegnimento, durante i quali disperde il calore dal mantello e attraverso il camino. Quindi, considerata l'intera stagione di riscaldamento, la sua efficienza globale è scadente e il suo rendimento stagionale basso.

Allo scopo di mantenere un buon rendimento energetico della caldaia è necessario pulire regolarmente la sua camera di combustione, poiché le sostanze depositate sulle pareti possono ridurre anche del 5 – 10% la potenza termica utile. Inoltre, l'analisi periodica delle emissioni postcombustione e la modifica della miscela fra combustibile e comburente permettono il miglioramento del processo di combustione, l'ottimizzazione dei consumi energetici e la riduzione delle emissioni inquinanti: in generale, la puntuale e costante verifica del ri-

spetto dei limiti legislativi sul rendimento di combustione dei generatori di calore consente risparmi energetici compresi fra il 4 e il 6%.

Nell'ambito del risparmio energetico svolgono un ruolo importantissimo le caldaie di ultima generazione dette a condensazione. Il rendimento di queste caldaie è molto elevato, in quanto esse sono in grado di recuperare il calore latente di condensazione dei fumi. I prodotti della combustione, infatti, sono costituiti da calore e fumi (per lo più CO₂ e vapore acqueo): se la temperatura dei fumi viene abbassata oltre il punto di rugiada, il vapore acqueo si condensa e ciò permette di recuperare una quantità di calore che altrimenti verrebbe dispersa.

La quota proporzionale di energia termica recuperabile tramite la condensazione dei fumi è molto consistente, pari a circa l'11%, alla quale si somma un'ulteriore quota dell'ordine del 6 o 7% legata al recupero di calore sensibile dei fumi (non più a 150 - 200°C come nelle caldaie tradizionali ma a 45 - 80°C), per un recupero totale del 17 o 18%.

L'utilizzo di una caldaia a condensazione comporta comunque alcune complicazioni costruttive. Il condensato d'acqua è acido ed esercita un'azione corrosiva sulla caldaia e sul camino: nelle caldaie a condensazione, dunque, le parti meccaniche a contatto con la condensa devono essere realizzate con materiali idonei a resistere alla corrosione. Inoltre, l'abbassamento della temperatura dei fumi rende praticamente impossibile la loro espulsione per tiraggio naturale e pertanto si rende necessaria l'espulsione forzata. La condensa, infine,

deve essere scaricata nella rete fognaria, prevedendo un adeguato collegamento. Il combustibile più indicato per questo tipo di caldaie è il gas metano, in quanto esso presenta basse emissioni di solfati e nitrati, che una volta mescolate all'acqua di combustione danno origine a sostanze acide.

I rendimenti utili tipici di una caldaia tradizionale variano tra il 90 ed il 92%, mentre quelli di una caldaia a condensazione raggiungono normalmente valori superiori al 100%, variabili in genere tra il 97% ed il 105%, fino ad un massimo di 108% (a seconda della temperatura dell'acqua dell'impianto).

Le caldaie a condensazione esprimono il massimo delle loro prestazioni per temperature dell'acqua relativamente basse (30 – 50°C), tipiche degli impianti a pannelli radianti: è comunque ampiamente dimostrabile che il recupero energetico è molto consistente (fra il 7 e il 10%) anche in caso di impianti tradizionali a radiatori, dal momento che la temperatura media di questi impianti nell'arco dell'intera stagione di riscaldamento è di circa 40 – 60°C.

La semplice sostituzione di caldaie obsolete con nuove caldaia a condensazione a gas, in grado di sfruttare il calore latente contenuto nei fumi di scarico, può portare ad una riduzione dei costi di almeno il (20-25)%, anche in presenza di corpi scaldanti ad alta temperatura.

2.2.8 *Distribuzione del calore e corpi scaldanti*

L'impiego di corpi scaldanti a bassa temperatura (per es. riscaldamento distribuito a pavimento) favorisce l'utilizzo di caldaie a condensazione, riducendo ulteriormente i consumi ed aumentando, nel

contempo, la sensazione di benessere dovuta ad una distribuzione del calore che va riducendosi dai piedi verso la testa (Figura 4).



Figura 4 - Sistema di riscaldamento a bassa temperatura

2.2.9 *Pompe di calore*

La pompa di calore è una macchina per il riscaldamento di edifici e per la preparazione di acqua calda che costituisce un'ottima alternativa alla caldaia tradizionale.

Il principio di funzionamento è quello del ciclo frigorifero. Il trasferimento del calore da un corpo a temperatura più bassa ad un corpo a temperatura più alta avviene con il processo inverso rispetto a quello che avviene normalmente in natura (calore dal corpo a temperatura più elevata verso quello a temperatura inferiore), dovuto al fatto che viene fornita energia elettrica alla macchina che "pompa calore".

Nel caso in cui si abbia sia l'interesse a riscaldare (ad esempio durante l'inverno) che a raffrescare (ad esempio, durante l'estate), la pompa si dice "reversibile" (Figura 5).

Il funzionamento delle pompe di calore si compie in quattro fasi (Figura 6):

- compressione: il fluido di lavoro viene portato ad alta pressione e si riscalda, assorbendo calore (mediante passaggio da energia meccanica a energia termica). E' necessario assorbire energia elettrica dalla rete;
- condensazione: il fluido di lavoro passa dallo stato di vapore a quello di liquido e cede il calore assorbito al fluido vettore. Si cede calore all'esterno;
- espansione: il fluido di lavoro abbassa la propria pressione e temperatura;
- evaporazione: il fluido di lavoro assorbe calore dall'esterno ed evapora. C'è assorbimento di calore dall'ambiente circostante.

Il vantaggio dell'impiego della pompa di calore sta nel fatto che si fornisce più energia (calore, energia poco pregiata) di quella elettrica (energia pregiata) necessaria al funzionamento.

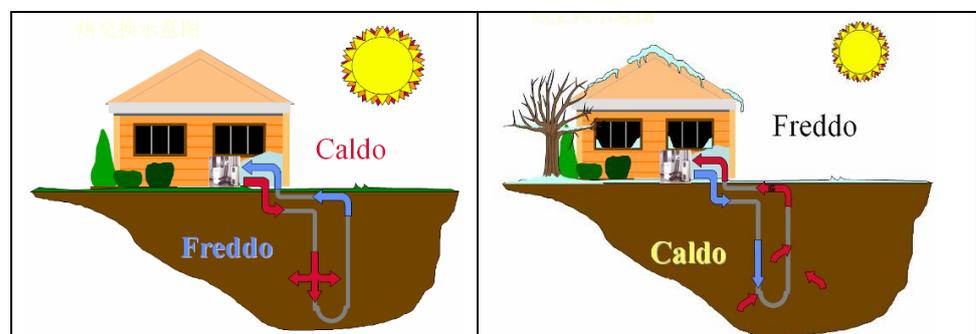


Figura 5 - Funzionamento di una pompa di calore nel periodo estivo ed invernale

L'ambiente da cui si estrae calore è la sorgente fredda: aria dell'ambiente esterno, oppure acqua di falda, di fiume, di lago o ancora terreno, nel quale vengono inserite a profondità variabile delle specifiche tubazioni relative all'evaporatore (tubazioni chiamate sonde geotermiche).

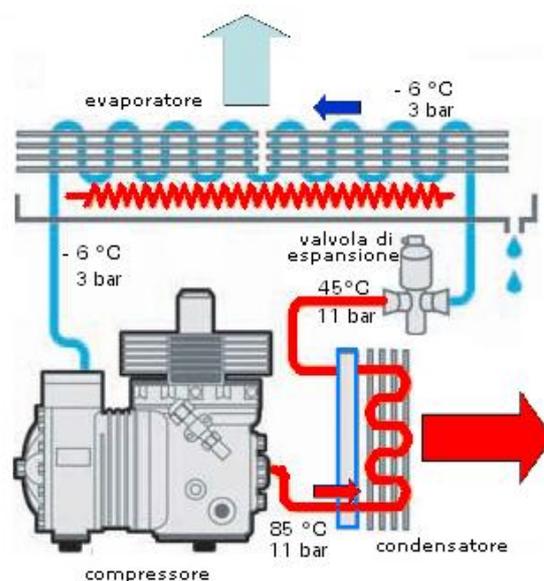


Figura 6 - Schema costruttivo di una pompa di calore

Il fluido vettore da scaldare è detto pozzo caldo e generalmente si tratta di acqua o aria. Nel condensatore il fluido frigorifero cede al pozzo caldo sia il calore prelevato dalla sorgente, sia l'energia fornita dal compressore. Il calore può poi essere ceduto all'ambiente mediante serpentine inserite nel pavimento, radiatori o ventilatori-convettori (nel caso di distribuzione con circuito d'acqua), oppure canalizzazioni per il trasferimento del calore ai diversi locali (nel caso di distribuzione del calore mediante aria).

L'efficienza di una pompa di calore è rappresentata dal coefficiente di prestazione COP (Coefficient of Performance), inteso come rapporto tra l'energia termica resa al corpo da riscaldare e l'energia elettrica consumata.

2.2.10 *Gestione e regolazione degli impianti*

La gestione e la regolazione degli impianti di riscaldamento comprendono il complesso di azioni volte a garantire il funzionamento degli impianti stessi nei tempi, nei modi e nelle quantità necessarie ad assicurare le migliori condizioni di comfort ambientale.

Per convenzione è possibile definire gestione l'insieme di interventi che determinano il funzionamento degli impianti (orari di accensione, temperatura dell'acqua di mandata) e regolazione l'insieme di interventi tendenti a limitare, eventualmente in modo automatico, la fornitura di calore da parte del sistema (termostati ambiente, valvole termostatiche), sebbene i due concetti abbiano numerosi punti in comune.

Gli elementi più sensibili della gestione e della regolazione degli impianti di riscaldamento riguardano:

- i tempi di funzionamento;
- le zone riscaldate all'interno degli edifici;
- i livelli di temperatura garantita.

Dal punto di vista dei tempi di funzionamento, la massima economicità si ottiene facendo funzionare gli impianti per il tempo strettamente necessario ad assicurare la temperatura interna richiesta per

il periodo in cui l'edificio è realmente occupato. Ogni ora di funzionamento oltre quanto necessario determina uno spreco energetico: nel caso degli orari medi di funzionamento della zona climatica E, tale spreco si aggira intorno al 7% per ogni ora di accensione non necessaria.

Per quasi tutti gli edifici, in particolare per quelli usati in modo discontinuo, durante la notte o nel fine settimana il non spegnimento dell'impianto di riscaldamento determina relativamente grandi perdite energetiche. Negli edifici utilizzati in modo discontinuo, la sola attenuazione (riduzione della temperatura dell'acqua di mandata) non è sufficiente, a meno che non si temano danni alle strutture o agli impianti per l'eccessivo freddo o che fenomeni di corrosione possano incidere sull'impianto termico all'accensione: l'impianto, dunque, deve essere spento per il maggiore tempo possibile durante la notte o il fine settimana.

In generale le misure di intervento sono manuali e, pertanto, a costo zero: di norma, infatti, negli edifici sono installati sistemi di regolazione dei tempi di funzionamento degli impianti termici (sonde di temperatura esterna, temporizzatori), che richiedono unicamente una semplice rettifica, sulla base del comportamento termico degli involucri edilizi e degli orari di utilizzo degli edifici.

Per ciò che riguarda le zone riscaldate all'interno degli edifici, la più razionale gestione si ottiene riscaldando nell'arco della giornata solo i locali utilizzati per il tempo minimo necessario. In tal senso riveste un'importanza fondamentale il frazionamento dell'impianto di riscal-

damento in differenti circuiti, che deve essere previsto all'atto della progettazione dello stesso, considerato che un intervento ex post non è sempre possibile o accettabile economicamente.

Per quanto riguarda i livelli di temperatura, nei locali interni questi sono regolati dal D.P.R. 412/93. A questo proposito è opportuno tenere presente che, mediamente, ogni grado di temperatura interna superiore a 20°C determina un consumo energetico superiore del 6% circa.

2.2.11 *Abitudini e comportamenti*

L'incremento dell'efficienza energetica di un edificio dipende naturalmente dalle prestazioni dell'involucro edilizio e dalla qualità degli impianti, ma anche in misura non trascurabile dalle modalità di utilizzo da parte degli utenti, che a loro volta sono fortemente dipendenti dal livello di informazione e di sensibilizzazione nei riguardi delle problematiche energetiche.

Un qualsiasi intervento in materia di efficienza energetica degli edifici, dunque, deve comprendere una diffusa e capillare attività di informazione e di formazione: piccoli cambiamenti nelle abitudini degli occupanti abituali sono in grado di contribuire all'ottimizzazione dei consumi degli edifici, garantendo comunque le condizioni interne di comfort.

L'attenzione di ogni utente verso il miglioramento dei propri comportamenti quotidiani rappresenta una misura di efficienza energetica a costo zero: in particolare negli edifici ad uso ufficio i risparmi derivanti da un razionale utilizzo delle luci e delle apparecchiature elet-

triche sono ben dimostrati e complessivamente compresi fra il 5% e il 15%.

A tal proposito sono molto significativi i risultati del concorso europeo Energy Trophy svoltosi nel 2005 (www.energytrophy.org), nell'ambito del quale numerose aziende ed enti pubblici di diversi Paesi si sono sfidati nel tentativo di risparmiare quanta più energia possibile nei propri uffici nell'arco di un anno, utilizzando solo misure di risparmio energetico a costo zero: l'azienda vincitrice ha ottenuto un risparmio annuo del 31%, mentre le percentuali di risparmio di altri partecipanti variano dal 7% al 19%.

2.3 **Efficienza energetica negli impianti di illuminazione pubblica**

2.3.1 *Illuminazione pubblica*

Le prestazioni e l'efficienza energetica degli impianti di illuminazione pubblica sono principalmente determinate dalle scelte operate in merito a:

1. sorgenti luminose;
2. corpi illuminanti;
3. regolatori del flusso luminoso.

Nel seguito si riporta una breve descrizione degli elementi suddetti, evidenziando per ciascuno di essi le tecnologie attualmente disponibili, le possibilità di applicazione e i benefici derivanti. Si precisa che le indicazioni fornite hanno carattere del tutto generale e costituiscono una base puramente teorica per una più agevole interpretazione del piano di intervento.

Gli impianti di illuminazione pubblica devono disporre di sorgenti luminose ad elevata efficienza: da questo punto di vista la migliore tecnologia disponibile è rappresentata dalle lampade a scarica di gas ad alta densità, mentre sono del tutto inadeguate le lampade ad incandescenza. Fra le sorgenti luminose a scarica di gas, la presente analisi si sofferma sulle lampade ai vapori di mercurio, agli alogenuri metallici e al sodio ad alta pressione, che trovano massimo impiego nell'illuminazione stradale urbana. Le lampade elencate sono attualmente disponibili con il tradizionale attacco a vite e richiedono l'uso di dispositivi ausiliari per il corretto funzionamento, in particolare di

un alimentatore per la limitazione della corrente di scarica e di un accenditore per l'innesco della scarica stessa.

L'installazione e la reciproca sostituzione di queste lampade si possono attuare con facilità su tutti i corpi illuminanti che prevedono l'attacco a vite e l'alloggiamento per i dispositivi ausiliari.

Nella tabella seguente si elencano sinteticamente i principali vantaggi e svantaggi di ciascuna tipologia di lampada, rispetto al caso ideale di una lampada che:

- garantisce un'ottima efficienza luminosa (elevato rapporto fra il flusso luminoso emesso e la potenza assorbita);
- presenta una buona resa cromatica, emettendo tutte le lunghezze d'onda visibili come la luce emessa dal sole;
- ha un costo contenuto;
- garantisce un elevato numero di ore di funzionamento.

| Tipologia di lampada | Vantaggi | Svantaggi |
|-----------------------------|---|---|
| Vapori di mercurio | <ul style="list-style-type: none">- Costo contenuto- Elevato numero di ore di funzionamento (circa 12.000) | <ul style="list-style-type: none">- Scarsa efficienza luminosa (variabile da 40 a 60 lm/W in base alla potenza della lampada)- Scarsa resa cromatica (50 - 70) |

| | | |
|--------------------------------|---|---|
| Alogenuri metallici | <ul style="list-style-type: none"> - Buona efficienza luminosa (variabile da 86 a 100 lm/W in base alla potenza della lampada) - Buona resa cromatica (80 - 90) | <ul style="list-style-type: none"> - Costo elevato - Ridotto numero di ore di funzionamento (circa 7.500) |
| Sodio ad alta pressione | <ul style="list-style-type: none"> - Costo contenuto - Buona efficienza luminosa (variabile da 70 a 120 lm/W in base alla potenza della lampada) - Elevato numero di ore di funzionamento (circa 16.000) | <ul style="list-style-type: none"> - Scarsa resa cromatica (20 - 65) |

Tabella 3 - *Principali caratteristiche delle lampade per l'illuminazione pubblica*

Nell'ambito di un intervento di riqualificazione di un vecchio impianto di illuminazione pubblica, la sostituzione delle lampade ai vapori di mercurio con quelle al sodio ad alta pressione si dimostra particolarmente vantaggiosa: le lampade al sodio, infatti, garantiscono una migliore efficienza luminosa (in generale una lampada al sodio da 70 W fornisce lo stesso flusso luminoso di una lampada al mercurio da 125 W) ed un maggior numero di ore di funzionamento. Le lampade agli alogenuri metallici sono adatte per l'illuminazione di ambienti esterni, per i quali è richiesta un'ottima resa cromatica (impianti sportivi, centri storici e aree commerciali); dato l'elevato costo e il ridotto numero di ore di funzionamento, l'utilizzo di queste lampade non è indicato per l'illuminazione stradale.

I corpi illuminanti hanno la funzione di assicurare il controllo della luce emessa dalle lampade installate, per il conseguimento di un ade-

guato rendimento luminoso e della prevenzione dell'abbagliamento. I corpi illuminanti più indicati a tale scopo sono quelli con ottica full cut off (completamente schermati verso l'alto), in grado di indirizzare il flusso luminoso della lampada solo sulla sede stradale, evitando di disperdere la radiazione luminosa verso l'alto o in altre direzioni.

L'utilizzo di tali apparecchi si prefigge di controllare il flusso luminoso disperso e rendere più efficienti gli impianti di illuminazione pubblica. L'abbattimento del flusso luminoso disperso, infatti, comporta il risparmio dell'energia elettrica necessaria alla produzione del flusso stesso: gli apparecchi full cut off, rispetto a quelli non schermati o solo parzialmente schermati, permettono, a parità di illuminamento della sede stradale, di adottare lampade di potenza inferiore.

I regolatori di flusso luminoso sono dispositivi elettronici in grado di regolare e variare in modo continuo le grandezze elettriche di alimentazione delle lampade, per controllarne la fase di accensione e spegnimento e modificarne la potenza assorbita e il flusso luminoso.

L'accensione di tipo on - off degli impianti di illuminazione tradizionali collegati direttamente alla rete di alimentazione pubblica comporta shock da sovracorrente e ulteriori disturbi, quali sbalzi di tensione ed armoniche, che a lungo andare riducono la vita utile delle lampade e ne pregiudicano l'efficienza.

Inoltre, l'unico modo per parzializzare la potenza complessivamente assorbita da tali impianti nelle ore centrali della notte consiste nello spegnimento alternato dei punti luce: questa modalità, valida dal punto di vista del risparmio energetico, produce un illuminamento

disomogeneo della sede stradale che aumenta il disagio visivo riducendo per questo la sicurezza.

L'introduzione dei regolatori di flusso permette di risolvere queste problematiche, dal momento che tali dispositivi filtrano i disturbi della rete pubblica, regolando le grandezze elettriche di alimentazione all'accensione delle lampade e stabilizzando la tensione durante il funzionamento delle stesse.

La possibilità di controllo delle grandezze elettriche viene sfruttata anche per variare la potenza assorbita e dunque per parzializzare il flusso emesso dalle lampade in orari prestabiliti, salvaguardando l'uniformità di illuminazione delle sedi stradali e contemporaneamente abbattendo i consumi elettrici nelle ore notturne. Il periodo di funzionamento degli impianti a regime parziale è definibile in funzione della riduzione dei flussi di traffico, secondo quanto stabilito dalla norma tecnica UNI 10439 "Requisiti illuminotecnici delle strade con traffico motorizzato": questo periodo generalmente è pari o superiore al 50% della durata totale di accensione delle lampade (tipicamente di 4.000 ore l'anno), con risparmi energetici annuali variabili fra il 20% e il 30%.

CAPITOLO 3 TECNOLOGIE PER LO SFRUTTAMENTO DELLE RINNOVABILI

3.1 Impianti idroelettrici di piccola taglia

Dal momento che tutto o quasi tutto è diffusamente noto circa le tecniche e le tecnologie utilizzabili nei grandi impianti idroelettrici a bacino, l'interesse si concentra sulle piccole risorse idrauliche (piccole centrali realizzabili su sistemi idraulici destinati ad altri usi o siti che non necessitano di opere di sbarramento).

In tal senso si segnala l'impianto idroelettrico a vite perpetua, particolarmente indicato in caso di portate fino a 5,50 mc/s e salti da 1,0 a 10,0 m. La vite perpetua obliqua viene installata su un trogolo di acciaio o di calcestruzzo e connessa con un giunto elastico al moltiplicatore di giri; un altro giunto collega poi il moltiplicatore al generatore, entrambi posti su una base di calcestruzzo all'interno del fabbricato della centrale (Figura 7 e Figura 8).

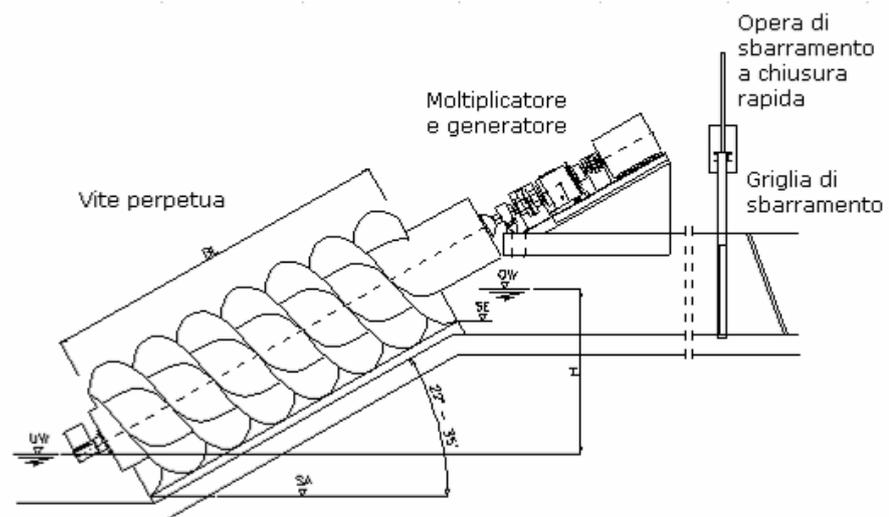


Figura 7 – Vite perpetua per produzione idroelettrica



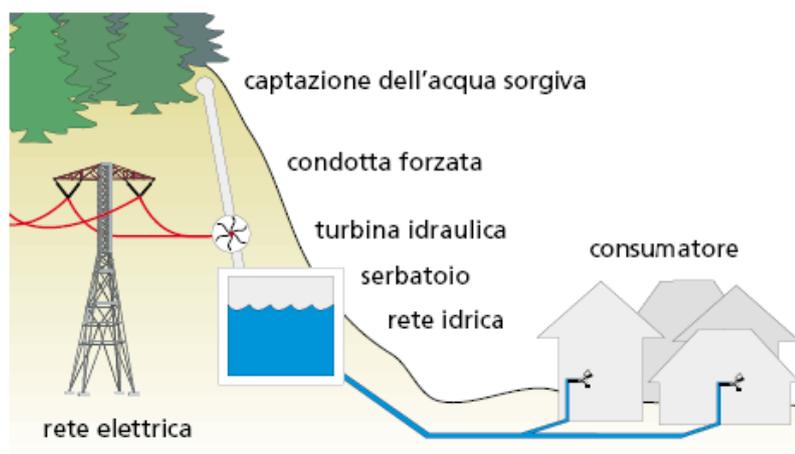
Figura 8 – Esempio di applicazione della vite perpetua

Inoltre, in tutti i sistemi idrici in cui esistono punti di controllo e regolazione della portata derivata o distribuita all'utenza (sistemi dissipativi, quali paratoie, valvole, vasche di disconnessione, sfioratori, traverse, partitori), si possono valorizzare potenzialità energetiche che andrebbero comunque perse, operando il cosiddetto recupero energetico.

In particolare gli acquedotti montani consentono rilevanti recuperi energetici a fronte di soluzioni impiantistiche relativamente semplici. In molti casi si tratta, infatti, di installare, con interventi minimi sulle condotte, gruppi idroelettrici turbina-alternatore, generalmente di piccola taglia, a monte dei serbatoi di carico (Figura 9).

I costi di realizzazione degli impianti idroelettrici sono variabili, in linea di massima, fra i 3.000 €/kW e i 5.000 €/kW, in funzione della

tipologia e della taglia degli impianti stessi. Grazie ai ricavi derivanti dai Certificati Verdi e dalla vendita dell'energia elettrica prodotta, per taglie medie di impianto i tempi di ritorno degli investimenti sono dell'ordine dei 4 - 6 anni.



Basta un salto di 50 m: le centraline idroelettriche vengono spesso inserite nella condotta che porta dalla sorgente al serbatoio. (Illustrazione: Staubli)

Figura 9 – Impianto idroelettrico su acquedotto

3.2 **Impianti a biomassa**

Con il termine biomassa solitamente si indica un vasto insieme di materiali di natura estremamente eterogenea. In generale, è biomassa tutto ciò che ha matrice organica, ovvero il materiale organico costituito o derivato da organismi vegetali o loro componenti, utilizzabile in processi di trasformazione termochimica o biochimica.

In campo energetico l'utilizzo delle biomasse consente notevoli benefici: durante la combustione, la biomassa restituisce all'ambiente solamente la CO₂ assorbita dall'atmosfera durante la crescita e il bilancio della CO₂ è praticamente nullo (la combustione non contribuisce all'effetto serra). L'energia delle biomasse vegetali contribuisce inoltre a ridurre la dipendenza dalle importazioni di combustibili fossili e a diversificare le fonti di approvvigionamento energetico oltre che al perseguimento degli obiettivi imposti nell'ambito delle conferenze internazionali sul clima.

3.2.1 *Principali tipologie di biomassa*

Le principali tipologie di biomassa comunemente impiegate a fini energetici sono:

- colture energetiche dedicate, sia arboree che erbacee (ad esempio, Short Rotation Forestry);
- residui agricoli, agroindustriali, artigianali, industriali e civili (deiezioni animali, paglia, sansa di oliva, stocchi di mais);
- residui forestali, legna da ardere e prodotti ligneo-cellulosici.

Oggi sono disponibili tecnologie affidabili e sperimentate che consentono uno sfruttamento intensivo, diffuso e distribuito del potenziale energetico delle biomasse, sia di quelle appositamente coltivate per uso energetico che di quelle derivanti dai sottoprodotti delle attività agroindustriali e forestali. L'attitudine della biomassa a fini energetici viene determinata mediante il Potere Calorifico Inferiore (PCI), il rapporto tra le quantità di carbonio e di azoto contenute (C/N) e la percentuale di umidità.

L'impiego energetico dei sottoprodotti dell'attività agricola è favorito da una buona attitudine alla combustione ma è gravato dalle problematiche legate alla raccolta, al trasporto e alla conservazione del materiale. I materiali idonei per utilizzazione energetica sono caratterizzati da un elevato rapporto tra il contenuto di carbonio e azoto (C/N superiore a 30), da un sufficiente Potere Calorifico Inferiore (P.C.I. superiore a 10 MJ/kg) e da un ridotto contenuto di umidità (inferiore a 30%). Fra tali materiali si annoverano i più comuni sottoprodotti colturali di tipo ligno-cellulosico, quali la paglia dei cereali autunno-vernini e del riso, i residui colturali del mais da granella (stocchi, tutoli e brattee), oltre ai residui di potatura della vite e dei fruttiferi.

Il materiale legnoso utilizzato per la trasformazione in energia è solitamente composto da cippato, ottenuto dalla sminuzzatura in scaglie del legno, o da pellets, che consiste nella pressatura di segatura con un tasso di umidità del 10-15% in cilindretti da 6 a 8 mm di diametro e di 1,5-2 cm di lunghezza. Il potere calorifico delle essenze le-

gnose non varia molto a seconda della specie legnosa, mentre è fortemente influenzato dal contenuto di umidità. Il P.C.I. varia tra 17 e 18 MJ/kg se si considera la sostanza secca, mentre si riduce a 6 MJ/kg se si esamina la sostanza legnosa appena tagliata, con un contenuto di umidità attorno al 70%.

Le biomasse animali fanno riferimento alle deiezioni prodotte principalmente da suini, bovini e pollame per la loro successiva conversione e trasformazione in prodotti utilizzabili in campo energetico (biogas, etanolo, metanolo). La convenienza e la fattibilità dello sfruttamento energetico delle biomasse animali sono funzioni della dimensione dell'azienda e, dunque, del numero di capi animali presenti. Su base economica, aziende con oltre 200 bovini, 1.500 suini e 17.500 galline (o una combinazione di animali che producono un quantitativo equivalente di escrementi) possono prendere in seria considerazione un sistema a digestore. Per unità più piccole, l'economia ed i benefici dell'impianto a digestore divengono meno convenienti.

3.2.2 *Stato dell'arte delle tecnologie per la produzione energetica*

I sistemi di conversione dell'energia potenziale contenuta nelle biomasse in energia libera (direttamente utilizzabile) sono di due tipi e dipendono dalla composizione chimico-fisica (rapporto C/N) e dal tenore di umidità contenuto nelle biomasse:

1. conversione termochimica:

- combustione diretta (autosostenuta energeticamente);
- pirolisi controllata (produzione carbone e olio combustibile);

- gassificazione (formazione di miscela di gas);

2. conversione biochimica:

- fermentazione alcolica (ottenendo etanolo);
- digestione anaerobica (produzione di biogas).

La Tabella seguente descrive sinteticamente i metodi di base per la conversione dei diversi tipi di materiale greggio, riportando i dati caratteristici.

| Metodo | Materiale Greggio | Produzione |
|---------------------|---|--|
| Combustione diretta | Legno, segatura, paglia ecc. (umidità 15%) | Energia termica (rendimento combustione 30-60%) |
| Pirolisi | Legno, residui, paglia, colture amidacee inclusi i cereali (umidità 15%). Alghe, alghe di mare, residui vegetali verdi, dopo essiccazione | Carbone 30-40%, distillato, ceneri, metanolo fino al 20%. Gas (CO-CO-CH fino al 20% della massa originale) |
| massificazione | Rifiuti animali, residui organici e del legno | Miscela di gas (170m ³ /t) |
| Fermentazione | Colture per zucchero "amidacee" legnose | La resa in etanolo varia col materiale greggio e col processo |
| Digestione | Rifiuti animali, materiale di piante verdi | Biogas (metano) 200-700 m ³ /t |

Le applicazioni della combustione diretta sono generalmente quelle su base decentralizzata a modesta scala, con processo di conversione sul posto o in prossimità dell'area di raccolta del materiale greggio, per il contenimento dei costi di trasporto e vaneggiamento.

Nel settore industriale sono presenti numerosi impianti di combustione diretta delle biomasse di tipo agro-forestale o agro-industriale che consentono la produzione di calore per il ciclo produttivo, di e-

nergia elettrica o di cogenerazione. Gli impianti per la produzione di sola energia termica hanno potenze variabili tra alcune centinaia di kWt e decine di MWt.

Il processo di pirolisi consiste nella decomposizione fisico-chimica del materiale organico per riscaldamento in assenza di aria. La pirolisi avviene generalmente a pressione atmosferica con temperature comprese fra 200°C e 1.100°C. Quanto più è elevata la temperatura di processo, tanto più è la percentuale che si ottiene di gas. Il processo di pirolisi necessita di un riscaldamento e richiede pertanto del materiale greggio secco (contenuto d'acqua inferiore al 15%) per un rendimento elevato.

Tutti i residui organici possono essere utilizzati per produrre alcool metilico, Il principale vantaggio della pirolisi è la formazione di combustibili ad elevata concentrazione energetica, facili da stoccare, maneggiare ed utilizzare.

Il processo di gassificazione è affine al processo di pirolisi, ma avviene a temperature molto più elevate (fino a 1.650°C). I risultati migliori si ottengono con prodotti da trattare a basso contenuto di umidità. Il prodotto finale è costituito da una miscela di idrogeno e monossido di carbonio, con presenza di azoto proveniente dall'immissione di aria. Il processo di gassificazione è uno dei metodi di conversione della biomassa in altre forme di energia più promettenti, sia per l'ampia varietà di materiali greggi utilizzabili, che per le potenzialità ottenibili con la variazione delle condizioni di processo. Grazie alle

elevate temperature di funzionamento l'inquinamento associato al processo è modesto.

I processi biochimici si basano sull'azione di microrganismi viventi che, in quanto tali o mediante enzimi da essi prodotti ed isolati, sono in grado di trasformare le sostanze organiche complesse in sostanze più semplici e di utilizzare queste ultime per la sintesi di nuovi prodotti chimici ad elevato contenuto energetico.

Le biomasse che meglio di prestano a processi di conversione biochimica sono quelle con tenore di umidità e con rapporto C/N < 30 più elevato. La frazione di sottoprodotti e/o di rifiuti che meglio si presta alla conversione energetica è quella organica.

I processi microbiologici di conversione delle biomasse, maggiormente studiati in Italia e in avanzata fase di realizzazione e/o di commercializzazione, sono:

- la digestione anaerobica;
- la fermentazione alcolica.

La digestione anaerobica è il processo di frantumazione della materia organica da parte di batteri, alcuni dei quali sono strettamente anaerobici, in grado di produrre una miscela di biogas ricco in metano. Questo è uno dei processi più interessanti per il trattamento dei residui organici, particolarmente adatto a prodotti di rifiuto molto umidi, con contenuto in acqua variabile dal 50 al 97%, altrimenti difficilmente trattabili con altri procedimenti a costi energetici ragionevoli.

Il combustibile ottenuto prende il nome di biogas ed è una miscela di gas a prevalenza di metano (55-70%) e anidride carbonica (45-30%). Il biogas ha un potere calorifico inferiore, dipendente dalla percentuale di metano, normalmente superiore a 23 MJ/m³.

Il biogas si può utilizzare per combustione diretta o in motori a combustione interna con piccole modifiche. Lo svantaggio principale del biogas è la richiesta di volumi di stoccaggio considerevoli e risulta quindi poco conveniente per la trazione.

Dopo l'estrazione del combustibile, la parte della biomassa rimasta è recuperabile ed utilizzabile come ottimo fertilizzante organico.

Il processo di fermentazione alcolica consiste nella frantumazione iniziale della biomassa (sia fisicamente che chimicamente) per la conversione in zucchero. Successivamente, lo zucchero è fatto fermentare mediante lieviti in una soluzione alcolica al 9% di alcool seguita da una separazione e concentrazione dell'alcol per distillazione.

Tutti i processi richiedono una elevata intensità energetica, specialmente per il processo di separazione.

3.2.3 *Impatto ambientale degli impianti*

L'uso energetico delle biomasse vegetali è considerato uno dei più efficienti sistemi per ridurre le emissioni di gas serra, in quanto la CO₂ emessa durante la produzione di energia dalle biomasse è pari a quella assorbita durante la crescita delle piante. Un altro importante contributo allo sviluppo sostenibile può derivare da un incremento dell'uso del legno e derivati in sostituzione di altri materiali il cui impiego risulti più "costoso" sia energeticamente che ambientalmente,

sfruttandone il ruolo di "sequestratore" di CO₂ e la sua versatilità come materia prima; il tutto in un contesto di salvaguardia e miglioramento del sistema forestale.

Tuttavia, la combustione di biomasse a scopo energetico presenta problemi di impatto ambientale in termini di emissioni di inquinanti convenzionali, quali ossido di carbonio, polveri totali sospese e ossidi di azoto e meno convenzionali, in particolari le polveri sottili.

Non bisogna inoltre trascurare il rischio di deforestazione collegato all'utilizzo di questa tecnologia soprattutto nei paesi in via di sviluppo.

3.3 Impianti fotovoltaici

3.3.1 Componenti e requisiti tecnici di un impianto FV

Un impianto fotovoltaico consente la trasformazione dell'energia solare in energia elettrica in corrente continua grazie all'effetto fotovoltaico (Figura 10).

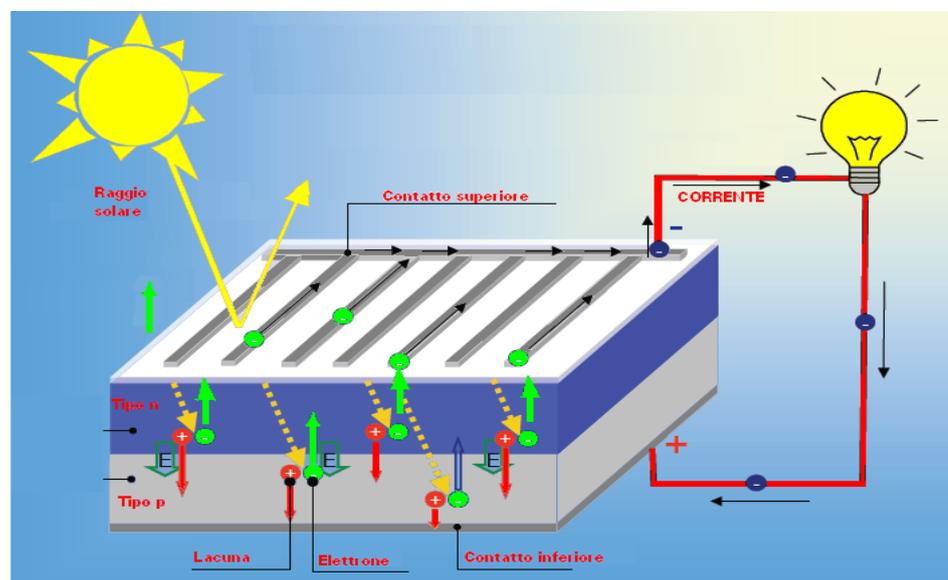


Figura 10 – Schema di principio dell'effetto fotovoltaico

Tale fenomeno si manifesta mediante materiali detti "semiconduttori", usati anche nella produzione di componenti elettronici, il più conosciuto dei quali è il silicio.

Le componenti di un impianto fotovoltaico sono (Figura 11):

- moduli fotovoltaici: pannelli che ospitano le celle fotovoltaiche di silicio. La potenza del singolo modulo fotovoltaico è compresa tra (100÷300) W, con una superficie non superiore a 1,5 m² ed un peso di circa 18 kg;

- strutture di sostegno: strutture che sostengono i moduli fotovoltaici, realizzate generalmente in metallo, con le quali si può ottenere l'inclinazione desiderata del piano dei moduli stessi rispetto all'orizzontale (l'inclinazione ottimale è di circa 30°);
- inverter: dispositivo elettronico che realizza la conversione della corrente continua, prodotta dall'impianto fotovoltaico, in corrente alternata, per essere adeguata alle caratteristiche della rete elettrica nazionale;
- sistema di controllo: dispositivo elettronico che mantiene sotto controllo il funzionamento dell'impianto e permette la registrazione delle misure e la visualizzazione di alcune grandezze caratteristiche.

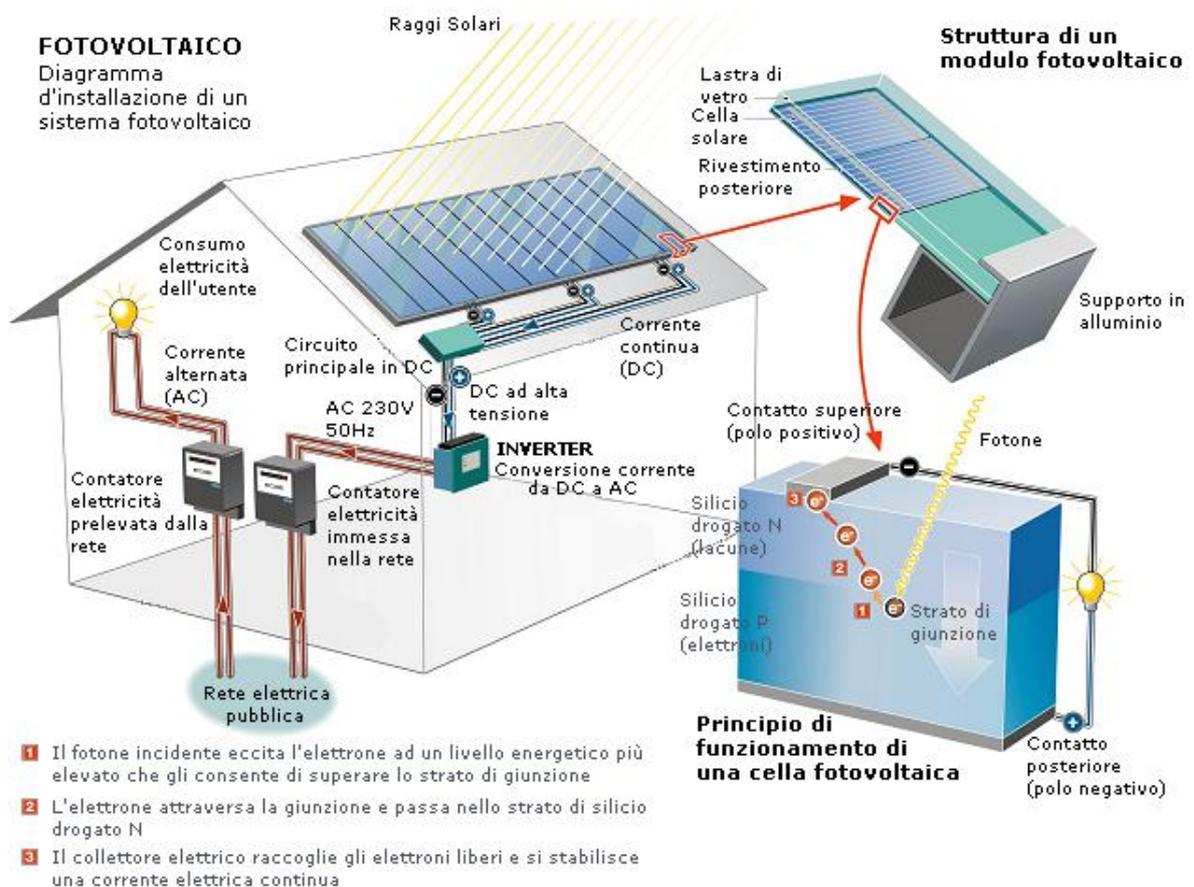


Figura 11 – Componenti di un impianto fotovoltaico

La corretta esposizione all'irraggiamento solare dei moduli fotovoltaici rappresenta un fattore chiave ai fini delle prestazioni dell'impianto. La decisione in merito alla fattibilità tecnica si basa sull'esistenza nel sito d'installazione dei seguenti requisiti, che dovranno essere verificati dal progettista/installatore in sede di sopralluogo:

- disponibilità dello spazio necessario per installare i moduli. Occorre uno spazio netto di circa $(8 \div 10)$ m² per ogni kWp se i moduli sono installati in maniera complanare alle superfici di pertinenza di edifici, mentre occorre uno spazio maggiore se

l'impianto è installato lungo più file successive su strutture inclinate collocate su superfici piane;

- corretta esposizione ed inclinazione dei moduli. Le condizioni ottimali per l'Italia sono rappresentate da un'esposizione sud (accettabili anche sud-est e sud-ovest con limitata perdita di produzione) e da un'inclinazione compresa tra 30 e 35° rispetto all'orizzontale;
- assenza di ostacoli in grado di creare ombreggiamento.

I vantaggi degli impianti fotovoltaici possono riassumersi in (Figura 12):

- assenza di qualsiasi tipo di emissione inquinante e risparmio di combustibili fossili;
- affidabilità degli impianti e costi di esercizio e manutenzione ridotti al minimo;
- modularità del sistema (per aumentare la potenza dell'impianto è sufficiente aumentare il numero dei moduli).

È però da tener presente che l'impianto fotovoltaico è caratterizzato da un elevato costo iniziale (dovuto essenzialmente all'elevato costo dei moduli) e da una produzione discontinua a causa della variabilità della fonte energetica (il sole).

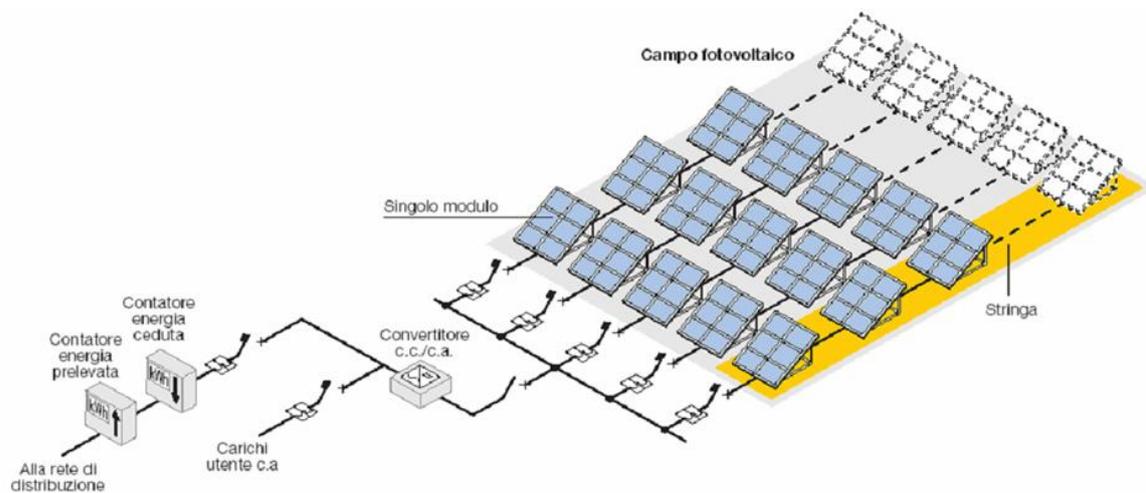


Figura 12 – *Struttura modulare di un impianto fotovoltaico*

3.3.2 *Stato dell'arte della tecnologia*

In Italia, gli impianti fotovoltaici stanno vivendo un periodo di intenso sviluppo: al termine del 2008 la potenza fotovoltaica installata nel nostro Paese si è attestata sui 400 MW, con un incremento notevolissimo rispetto al 2007, alla fine del quale la potenza installata non raggiungeva i 100 MW.

Nella maggior parte delle installazioni (più del 90%) la tecnologia fotovoltaica impiegata in Italia si basa sulle celle in silicio mono o policristallino (Figura 13): il rendimento dei moduli in silicio monocristallino varia tra il (14÷18)% e quello dei moduli in silicio policristallino tra il (12÷14)%. Oggi sono disponibili sul mercato moduli fotovoltaici in silicio monocristallino da 300 Wp (dimensioni 1,50 x 1,00 m), aventi un rendimento di poco inferiore al 19%.

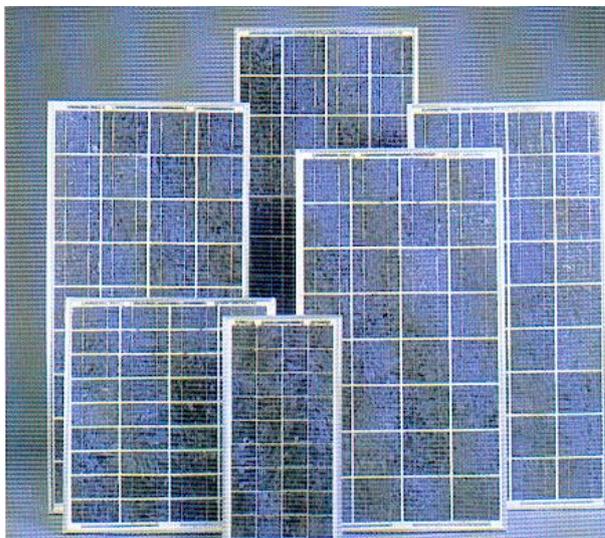


Figura 13 – Moduli in silicio policristallino

Una possibile alternativa a questa tecnologia è rappresentata dai moduli a film sottile, principalmente al silicio amorfo (Figura 14): rispetto alle celle in silicio mono o policristallino, tali moduli hanno livelli di efficienza inferiori (variabili fra il 6% e l'11%), ma sono caratterizzati, per loro natura, da una maggiore facilità di impiego e di integrazione architettonica.

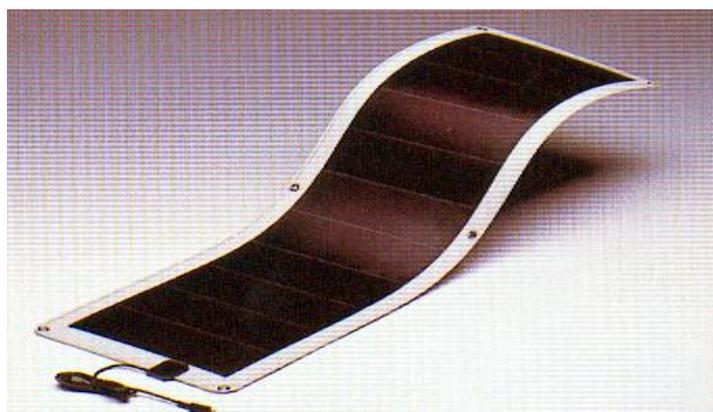


Figura 14 – Moduli in silicio amorfo

I costi di fornitura e posa in opera degli impianti fotovoltaici ad installazione fissa sono variabili, in linea di massima, fra i 3.500 €/kWp

ed i 5.500 €/kWp, in funzione della taglia degli impianti e del grado di integrazione architettonica. In condizioni ottimali di esercizio (inclinazione dei moduli di circa 30° sul piano orizzontale ed esposizione a sud), nelle regioni del nord Italia la produzione annua di energia elettrica degli impianti fissi varia fra i 1.000 ed i 1.100 kWh/kWp. La superficie necessaria per l'installazione degli impianti fissi (Tabella 4) è pari a circa 8 m²/kWp nel caso di moduli appoggiati alle falde dei tetti (tipicamente piccoli impianti domestici), mentre gli impianti fissi, ancorati ad una copertura piana o al terreno tramite apposito telaio, occupano dai (14÷16) m²/kWp (solitamente impianti industriali di taglia medio-grande).

La tipologia di impianti ad inseguimento solare (impianti mobili) registra, in media, costi superiori del 10-15% ed una produzione annua di energia elettrica maggiore del 25-30% rispetto ai valori precedentemente indicati per gli impianti fissi. La superficie necessaria per la realizzazione degli impianti mobili sulle coperture piane o sul terreno (Tabella 4) varia fra (25÷35) m²/kWp, in funzione della tecnologia di inseguimento solare adottata.

| | | |
|--|--|---|
| <p>Installazione sulla falda del tetto</p>  | <p>Installazione fissa in piano (tetto piano o terreno)</p>  | <p>Installazione in piano a inseguimento solare</p>  |
| <p>8 m²/kWp (i moduli sono appoggiati alla falda del tetto)</p> | <p>14-16 m²/kWp (i moduli sono installati su un telaio fisso)</p> | <p>25-35 m²/kWp (i moduli sono installati su una base mobile)</p> |

Tabella 4 – Superfici necessarie per l'installazione di impianti fotovoltaici

I principali produttori mondiali di moduli fotovoltaici garantiscono un resa dei moduli stessi superiore al 90% del valore massimo nei primi 10 anni di esercizio e superiore all'80% fino al 25° anno.

3.3.3 *Il "Conto Energia"*

Il DM 19/02/07 ("Conto Energia") prevede importanti incentivazioni economiche per la produzione di energia elettrica da fonte solare. Tale decreto è subentrato ai precedenti DM del 28/07/2005 e del 6/02/2006 in materia di incentivazione dell'energia fotovoltaica.

Il DM 19/02/2007 definisce tre tipologie d'integrazione architettonica degli impianti fotovoltaici, ai fini della determinazione della tariffa incentivante da riconoscere all'energia elettrica prodotta:

- impianto non integrato (Figura 15): moduli installati a terra, sugli elementi di arredo urbano e viario o sulle superfici esterne degli involucri di edifici e di fabbricati, ma in modo non complanare alle superfici su cui sono fissati;
- impianto parzialmente integrato (Figura 16): moduli installati su tetti piani e terrazze di edifici e fabbricati, su balaustre perimetrali (la quota massima, riferita all'asse mediano dei moduli fotovoltaici, non deve essere superiore all'altezza minima della balaustra), su tetti, coperture, facciate, balaustre o parapetti di edifici e fabbricati in modo complanare alla superficie di appoggio o su elementi di arredo urbano, barriere acustiche, pensiline, pergole e tettoie in modo complanare alla superficie di appoggio, sempre senza la sostituzione dei materiali che costituiscono le superfici d'appoggio stesse;
- impianto con integrazione architettonica (Figura 17): i moduli sostituiscono i materiali di rivestimento di tetti, coperture, fac-

ciate di edifici e fabbricati, con la medesima inclinazione e funzionalità architettonica della superficie rivestita.



Figura 15 – Impianto non integrato



Figura 16 – Impianto parzialmente integrato



Figura 17 – *Impianto integrato*

I ricavi economici derivanti dagli impianti fotovoltaici sono conseguenti:

- alle tariffe incentivanti del Conto Energia, corrisposte per tutta l'energia elettrica prodotta ed erogate dal Gestore del Sistema Elettrico (GSE);
- al risparmio in bolletta dell'energia prodotta e contemporaneamente autoconsumata (contemporaneità fra la produzione ed il consumo);
- alle tariffe in conto scambio erogate per l'energia elettrica immessa in rete in conseguenza della mancata contemporaneità.

Le tariffe incentivanti sono erogate per un periodo di 20 anni a decorrere dalla data di entrata in esercizio dell'impianto e rimangono costanti (non subiscono aggiornamenti ISTAT) per l'intero periodo.

Il DM 19/02/07 valorizza l'energia elettrica prodotta in modo differenziato in funzione della potenza nominale e della tipologia degli impianti fotovoltaici (Tabella 5), privilegiando la costruzione degli impianti di potenza ridotta, che consentono un minor utilizzo del territorio, in particolare di quelli integrati nelle superfici esterne degli involucri edilizi e negli elementi di arredo urbano e viario.

| Potenza nominale impianto (P) kW | Impianto FV non integrato €/kWh | Impianto FV parzialmente integrato €/kWh | Impianto FV con integrazione architettonica €/kWh |
|---|--|---|--|
| $1 \leq P \leq 3$ | 0,384 | 0,422 | 0,470 |
| $3 < P \leq 20$ | 0,365 | 0,403 | 0,442 |
| $P > 20$ | 0,346 | 0,384 | 0,422 |

Tabella 5 – Tariffe incentivanti in vigore dal 1 gennaio 2010

Inoltre, la realizzazione di un impianto della potenza nominale non superiore a 200 kW rende possibile l'accesso alla nuova disciplina di scambio sul posto (in vigore dal 1 gennaio 2009), che prevede una forma di compensazione dei costi sostenuti dall'utente per l'acquisto dell'energia elettrica: l'utente continua a pagare in bolletta l'energia prelevata dalla rete, ma, successivamente, gli viene riconosciuto un contributo in conto scambio, che tiene conto dell'energia prodotta dal suo impianto ed immessa in rete per la mancata contemporaneità fra la produzione ed il consumo (Figura 18).

In alternativa alla disciplina dello scambio sul posto, l'utente finale può optare per la vendita dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico, ad una tariffa minima garantita nel 2010 dall'Autorità

per l'Energia Elettrica ed il Gas (AEEG) pari a 101,1 €/MWh. Tale prezzo minimo è aggiornato dall'AEEG su base annuale, applicando al valore in vigore nell'anno solare precedente il tasso di variazione annuale dei prezzi al consumo per le famiglie di operai e impiegati rilevati dall'ISTAT.

I benefici economici derivanti dal risparmio sulle spese in bolletta e dalla disciplina dello scambio sul posto o dalla vendita dell'energia elettrica valgono oltre la durata della tariffa incentivante del Conto Energia (20 anni) e, quindi, sino alla fine della vita utile dell'impianto (prudenzialmente 25-30 anni).

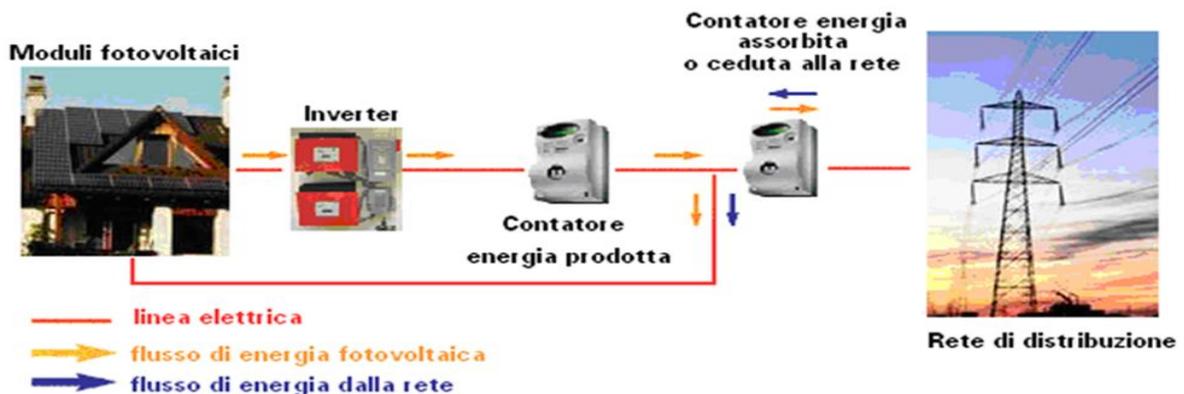


Figura 18 – Schema dei flussi di energia elettrica di un impianto fotovoltaico

Le tariffe incentivanti non sono applicabili all'energia elettrica prodotta da impianti fotovoltaici che usufruiscono di incentivi pubblici (nazionali, regionali, locali o comunitari), superiori al 20% del costo dell'investimento.

Sono però ancora applicabili se il soggetto responsabile dell'edificio è una scuola pubblica o paritaria o una struttura sanitaria pubblica.

Le tariffe incentivanti

- non sono cumulabili con i Certificati Verdi e/o i Titoli di Efficienza Energetica;
- non sono applicabili all'energia elettrica prodotta da impianti realizzati per obblighi di legge (d.lgs 29 dicembre 2006, n. 311) entrati in esercizio in data successiva al 31/12/2010 e/o per i quali sia stata riconosciuta o richiesta la detrazione fiscale per gli interventi di recupero del patrimonio edilizio.

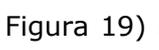
3.4 **Impianti solari termici**

La tecnologia per lo sfruttamento termico dell'energia solare ha raggiunto maturità ed affidabilità tali da farla rientrare tra i modi più razionali per riscaldare l'acqua, soprattutto in ambito residenziale e terziario.

3.4.1 *Stato dell'arte della tecnologia*

L'applicazione più comune del solare termico è senz'altro la produzione di acqua calda attraverso impianti a bassa temperatura, mediante collettori solari che sono essenzialmente di due tipi:

- vetrati piani: molto comuni, di costo medio e versatili;
- sottovuoto: ad alta efficienza, più costosi, ma ben utilizzabili nell'intero arco dell'anno.

Un collettore solare di tipo piano ( Figura 19) si compone dei seguenti elementi fondamentali:

- copertura trasparente, costituita da una o più lastre di vetro o di plastica, al disopra della piastra assorbente per ridurre gli scambi termici convettivi e radiativi tra la piastra e l'esterno;
- piastra assorbente nera che assorbe la radiazione e trasferisce l'energia raccolta ad un fluido termovettore (tipicamente una miscela di acqua e glicole con funzione di antigelo);
- isolamento termico per ridurre al minimo le perdite per conduzione della piastra;
- involucro con funzione di contenimento e di protezione dalla polvere, dall'umidità e dagli agenti atmosferici.

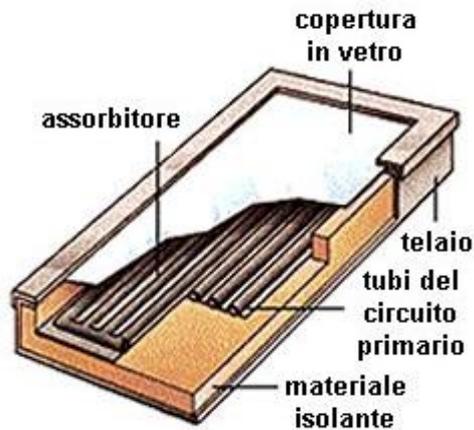


Figura 19 - Schema costruttivo di collettore solare piano

Un collettore sottovuoto (Figura 20) è costituito da una serie di tubi che sfruttano il vuoto come isolante termico: il fluido termovettore viene convogliato all'interno dei tubi in rame e riscaldato. Il collettore sottovuoto, grazie alla sua caratteristica peculiare nel captare la radiazione solare, ha un'efficienza maggiore del collettore piano nei periodi autunnali ed invernali e minore nel periodo estivo.

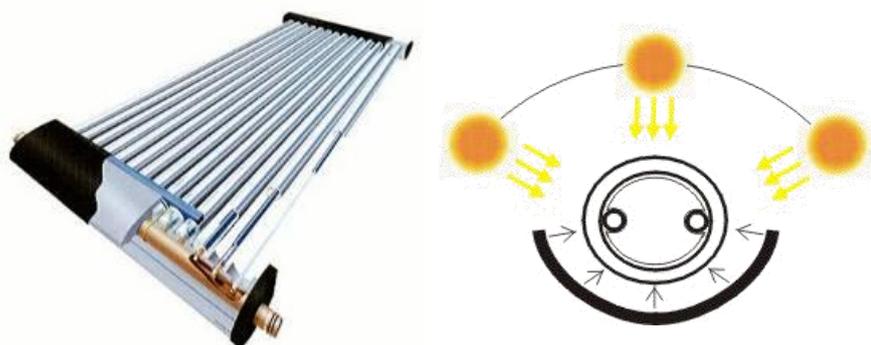


Figura 20 - Schema costruttivo di un collettore solare sottovuoto

Per poterne beneficiare al momento del bisogno, il calore prodotto deve essere accumulato: il serbatoio di accumulo, nella versione più

semplice, contiene al suo interno uno scambiatore (ad intercapedine o a fascio tubero), nel quale circola il fluido termovettore che, cedendo il calore ricevuto dal sole, riscalda l'acqua destinata alle utenze.

3.4.2 *Tipologie di impianto*

Gli impianti solari termici possono essere caratterizzati da una circolazione naturale o forzata dell'acqua calda.

Nei sistemi a circolazione naturale (Figura 21), il fluido termovettore circola in maniera autonoma: la circolazione naturale si fonda sulla legge fisica che stabilisce che un liquido riscaldato si dispone più in alto di un liquido freddo e si avrà quindi la circolazione del fluido vettore nei collettori dal basso all'alto e dai collettori al bollitore. In questa tipologia d'impianto il serbatoio d'accumulo (bollitore) è disposto più in alto e vicino ai collettori solari che sono installati inclinati. Non sono necessari altri dispositivi (ad es. pompe di circolazione) per il funzionamento dell'impianto.



Figura 21 - *Impianto solare termico a circolazione naturale*

Nei sistemi a circolazione forzata (Figura 22), il fluido termovettore circola in maniera assistita mediante pompe di circolazione. In questa tipologia d'impianto il serbatoio d'accumulo può essere disposto distante dai collettori e soprattutto più in basso: ciò consente una maggiore flessibilità d'installazione.



Figura 22 - Impianto solare termico a circolazione forzata

3.4.3 *Aspetti economici*

I costi di fornitura e posa in opera degli impianti solari termici sono variabili, in linea di massima, fra i 500 €/mq e i 1.500 €/mq, in funzione della tipologia e della taglia degli impianti stessi.

Per taglie medie di impianto i tempi di ritorno degli investimenti relativi all'installazione dei collettori solari termici sono variabili fra i 6 e i 7 anni.

CAPITOLO 4 EDIFICI COMUNALI: VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA ENERGETICA ED INTERVENTI DI RISPARMIO

4.1 Introduzione

Il presente lavoro affronta le problematiche legate alla valutazione e al miglioramento dell'efficienza energetica in ambito elettrico e termico degli edifici di proprietà del Comune di Transacqua.

Il lavoro consiste nella definizione di un quadro di conoscenza energetica del patrimonio edilizio di proprietà del Comune, a mezzo di un modello di facile applicabilità per la valutazione dell'efficienza energetica in ambito elettrico e termico degli immobili, con l'obiettivo di orientare gli interventi di risparmio della Pubblica Amministrazione.

Lo sviluppo del modello in questione porta, dunque, a:

- definire lo stato di fatto dei consumi e dei costi energetici;
- valutare l'efficienza energetica degli edifici stessi, tramite la determinazione di opportuni indicatori di qualità energetica (consumi specifici) e il loro confronto con adeguati valori limite;
- configurare, in via di prima approssimazione, le ipotesi prioritarie per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio;
- stimare i potenziali di risparmio energetico ed economico, nonché i benefici ambientali in termini di emissioni evitate.

L'elenco degli edifici oggetto della presente analisi energetica è riportato in Tabella 6.

| Num. | Edifici di proprietà comunale | Indirizzi |
|------|-------------------------------|------------------|
| 1 | Municipio | piazza Municipio |
| 2 | Scuola media "Negrelli" | via Colombo |
| 3 | Scuola materna | piazza Municipio |
| 4 | Caserma dei Carabinieri | viale Piave |
| 5 | Auditorium | viale Piave |
| 6 | Centro sportivo | loc. Fossi |
| 7 | Casa sociale | via Zecchini |
| 8 | Casa anziani | via Isolabella |

Tabella 6 - Elenco degli edifici di proprietà del Comune oggetto di analisi energetica

4.2 Definizione dello stato di fatto

4.2.1 Analisi dei consumi di energia elettrica

Per ciascun edificio comunale oggetto dell'analisi energetica è indicato nella Tabella 7 il consumo annuo di energia elettrica. I dati di consumo elettrico rappresentano le medie del biennio 2008-2009.

| Num. | Edifici di proprietà comunale | Consumo elettrico (kWh/anno) |
|-----------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 1 | Casa sociale | 1.100 |
| 2 | Casa anziani | 3.000 |
| 3 | Scuola materna | 8.200 |
| 4 | Caserma dei Carabinieri | 13.300 |
| 5 | Auditorium | 14.600 |
| 6 | Municipio | 19.600 |
| 7 | Scuola media "Negrelli" | 91.000 |
| 8 | Centro sportivo | 112.400 |
| Consumo totale | | 263.200 |

Tabella 7 - Consumi annuali di energia elettrica

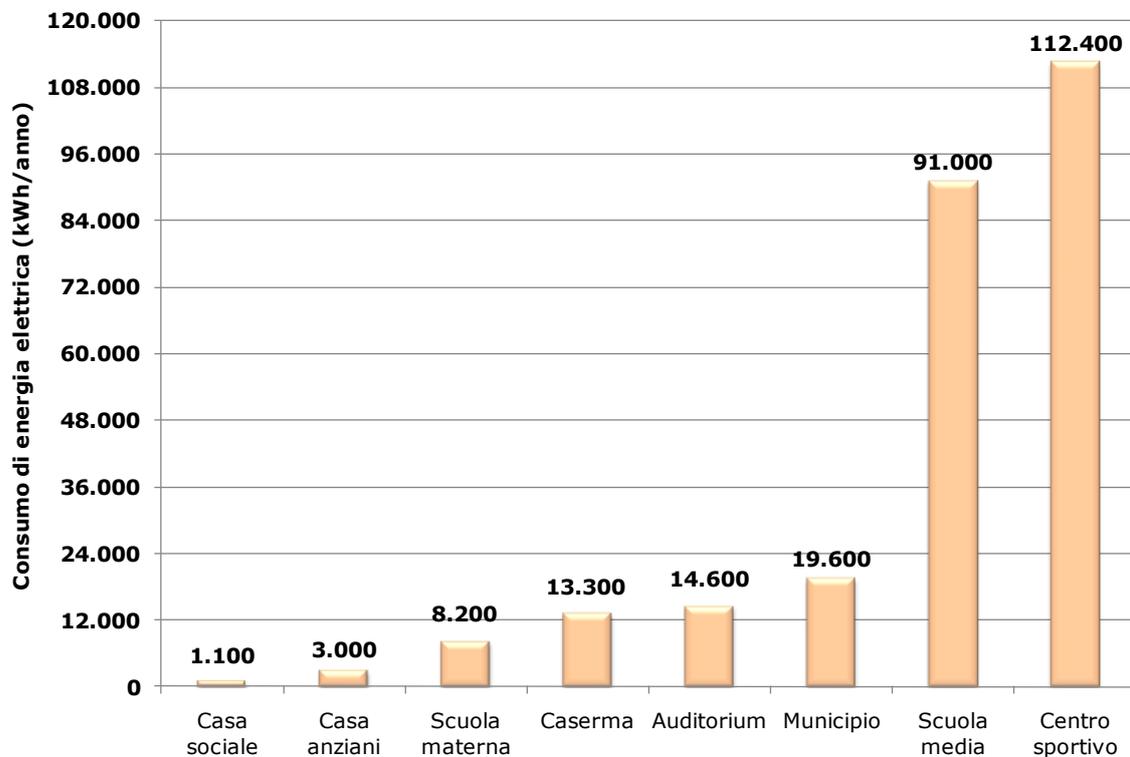


Figura 23 – Consumi annuali di energia elettrica

Il consumo annuo complessivo di energia elettrica ammonta a circa 263.000 kWh, per un costo in bolletta di 50.000 €/anno (IVA compresa) ed un prezzo medio annuo dell'energia di 0,19 €/kWh.

La Figura 1 mostra la ripartizione percentuale dei consumi di energia elettrica elencati in Tabella 7: quasi l'80% dei consumi è attribuibile a due strutture (il centro sportivo e la scuola media).

Si fa notare che il 75% del consumo di energia elettrica del centro sportivo (85.000 kWh/anno) è imputabile al solo gruppo frigo utilizzato da metà novembre a metà marzo per il raffreddamento della piastra del ghiaccio.

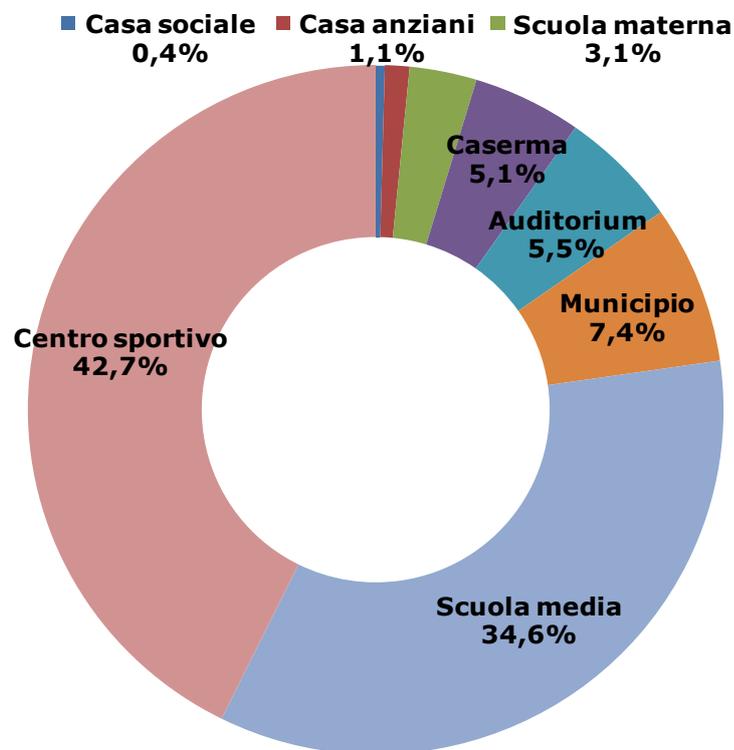


Figura 24 - Ripartizione percentuale dei consumi elettrici

4.2.2 *Analisi dei consumi di gasolio*

Per ciascun edificio comunale oggetto dell'analisi energetica è indicato nella Tabella 8 il consumo annuo di gasolio. I dati di consumo del combustibile rappresentano le medie del quinquennio 2005-2009.

Il consumo annuo totale di gasolio ammonta a circa 103.000 litri, per un costo in fattura di 98.000 €/anno (IVA compresa) ed un prezzo medio annuo di acquisto del combustibile pari a 0,95 €/litro.

| Num. | Edifici di proprietà comunale | Consumo di gasolio (litri/anno) |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 1 | Casa sociale | 1.800 |
| 2 | Casa anziani | 2.300 |
| 3 | Municipio | 6.000 |
| 4 | Scuola materna | 7.100 |
| 5 | Caserma dei Carabinieri | 7.200 |
| 6 | Auditorium | 10.000 |
| 7 | Centro sportivo | 19.000 |
| 8 | Scuola media "Negrelli" | 49.800 |
| Consumo totale | | 103.200 |

Tabella 8 - Consumi annuali di gasolio

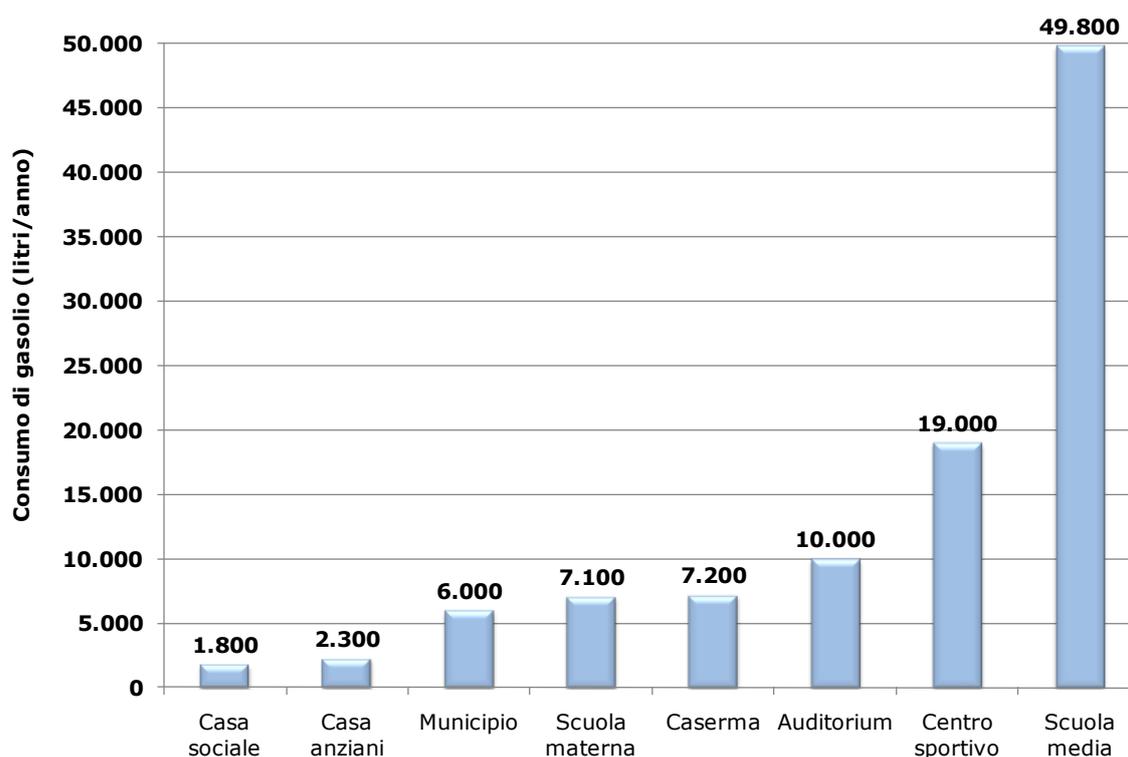


Figura 25 - Consumi annuali di gasolio

La Figura 26 mostra la ripartizione percentuale dei consumi di gasolio elencati in Tabella 8: quasi il 50% dei consumi è attribuibile alla sola scuola media.

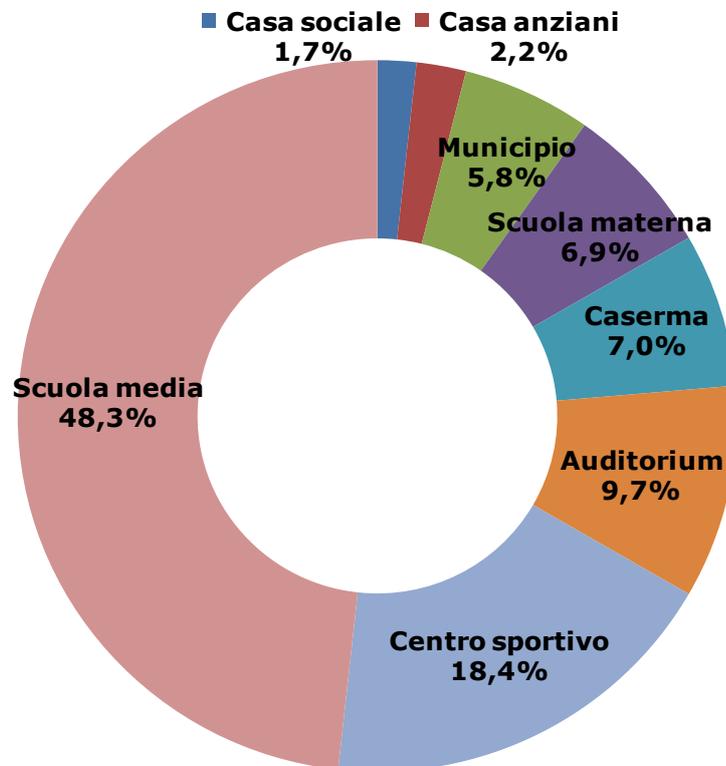


Figura 26 - Ripartizione percentuale dei consumi di gasolio

4.3

Valutazione dell'efficienza energetica

Partendo dal presupposto che le attuali tecnologie consentono molteplici soluzioni di efficienza energetica, il problema preliminare di ogni azione in questo settore è la valutazione del grado di efficienza, che richiede lo sviluppo di indicatori energetici e la definizione di parametri di confronto e di livello. Infatti, mentre tutto o quasi tutto è disponibile a livello di informazione e implementazione per le soluzioni tecnologiche, poco o quasi nulla è dato sapere sulle modalità di valutazione dell'efficienza energetica e sui valori limite di confronto applicabili agli edifici (con particolare riferimento a quelli esistenti), alle apparecchiature ed alle applicazioni energetiche in generale.

4.3.1 *Efficienza energetica in ambito elettrico*

Per la valutazione dell'efficienza energetica in ambito elettrico di ciascun edificio è calcolato il suo consumo elettrico specifico, pari al consumo annuale di energia elettrica per unità di superficie netta. Il consumo specifico dell'edificio è confrontato con un requisito di prestazione, caratteristico della destinazione d'uso e rappresentato dal consumo standard della tipologia edilizia (o meglio da un range di consumi standard). La corretta valutazione dell'efficienza non deve trascurare il fatto che un edificio può presentare specifiche situazioni in grado di comportare necessariamente un consumo elettrico più elevato del valore standard, a seguito di particolari usi finali elettrici o di una maggiore occupazione nel corso della giornata e nelle ore serali rispetto al consueto impiego della tipologia. Allo stesso tempo l'analisi energetica deve tener conto del fatto che un ridotto consumo elettrico può essere la conseguenza di uno scarso utilizzo dell'edificio e non di un elevato livello di efficienza.

Si fa notare che lo spettro di variabili in grado di incidere sul consumo elettrico di un edificio è molto ampio: gli usi finali dell'energia, gli orari di occupazione, il numero ed il comportamento degli utenti. Tutto ciò rende molto complessa l'individuazione di consumi tipici caratteristici delle diverse tipologie edilizie. Inoltre, poche norme tecniche forniscono indicazioni in merito, dal momento che, ad oggi, non è disponibile un preciso quadro normativo in materia di contenimento dei consumi di energia elettrica nel settore edilizio. In assenza di riferimenti adeguati, per le più comuni e diffuse tipologie edilizie, so-

no comunque individuabili range di consumi standard, fondati su basi statistiche tanto ampie da garantirne una buona attendibilità.

Nella Tabella 9 sono riportati i consumi elettrici specifici degli edifici comunali di Transacqua. Si fa notare che il consumo di energia elettrica del centro sportivo (27.000 kWh/anno) fa riferimento solo alla struttura coperta (è escluso il consumo del gruppo frigo esterno).

| Num. | Edifici di proprietà comunale | Consumo elettrico kWh/anno | Superficie netta m ² | Consumo specifico kWh/m ² |
|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Casa sociale | 1.100 | 186 | 5,9 |
| 2 | Auditorium | 14.600 | 1.106 | 13,2 |
| 3 | Scuola materna | 8.200 | 488 | 16,8 |
| 4 | Centro sportivo | 27.000 | 1.520 | 17,8 |
| 5 | Casa anziani | 3.000 | 158 | 19,0 |
| 6 | Scuola media "Negrelli" | 91.000 | 4.219 | 21,6 |
| 7 | Caserma dei Carabinieri | 13.300 | 606 | 21,9 |
| 8 | Municipio | 19.600 | 693 | 28,3 |
| Consumo e superficie totali | | 177.800 | 8.976 | --- |

Tabella 9 – Consumi elettrici specifici degli edifici

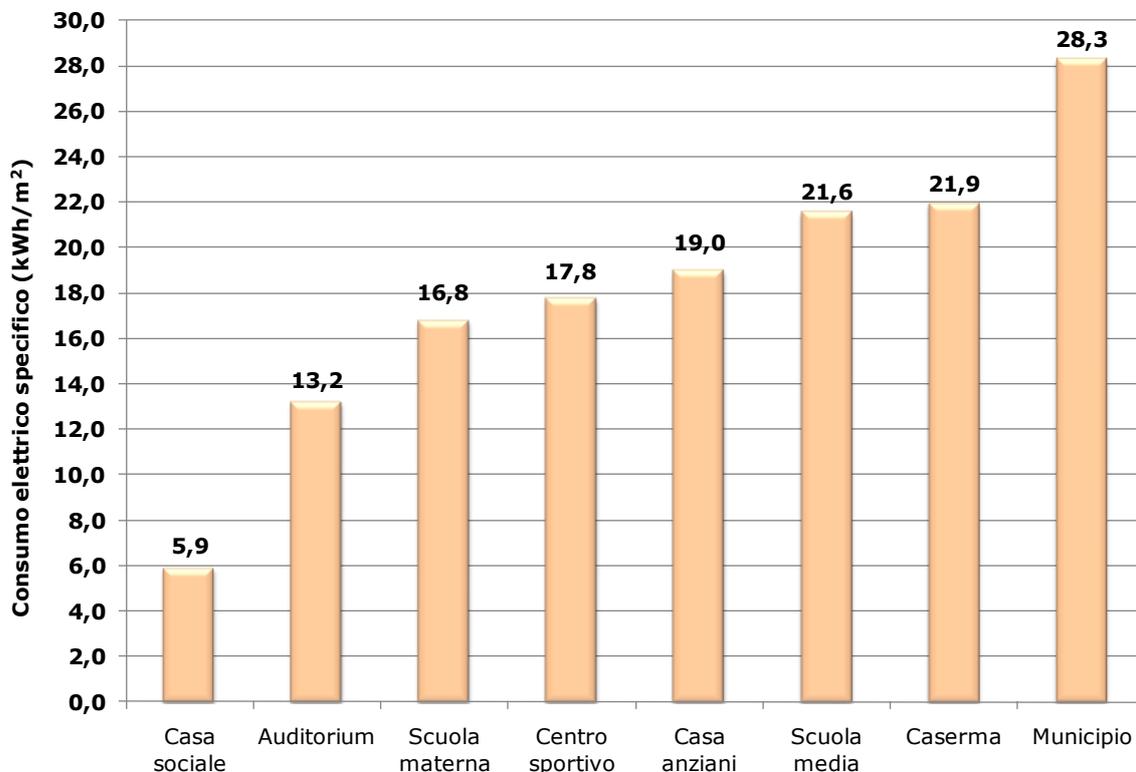


Figura 27 – Consumi elettrici specifici degli edifici

I consumi elettrici tipici degli edifici scolastici sono compresi nel range 15÷25 kWh/m²: rientrano in questo range i consumi della scuola materna e della scuola media.

Anche il consumo specifico del municipio ricade nell'intervallo standard della tipologia, compreso fra i 25 e i 35 kWh/m² (senza il condizionamento estivo dell'aria). Il consumo atteso della tipologia residenziale si attesta sui 30 kWh/m²: sono abbondantemente al di sotto di questo livello la casa anziani e la Caserma dei Carabinieri (che può essere assimilata a tale tipologia). Risulta, inoltre, molto basso il consumo della casa sociale, in conseguenza dell'occupazione ridotta dell'edificio e della totale assenza di apparecchiature elettriche ed e-

lettroniche. Contenuti, infine, anche i consumi del centro sportivo e dell'auditorium.

Nel complesso, l'efficienza energetica in ambito elettrico degli edifici è buona: non si registrano picchi di consumo, che potrebbero essere ricondotti a situazioni di anomalia e di spreco energetico.

4.3.2 *Efficienza energetica in ambito termico*

La valutazione dell'efficienza energetica in ambito termico di ciascun edificio richiede il calcolo del consumo termico specifico, pari al consumo annuale di energia primaria destinata al riscaldamento ambientale per unità di volume lordo riscaldato.

Il consumo specifico è confrontato con valori di riferimento caratteristici dell'epoca di costruzione e del luogo (e dunque del clima) di appartenenza.

La scelta di esprimere il consumo termico specifico come fabbisogno annuo di energia primaria per unità di volume lordo riscaldato (e non per unità di superficie) segue l'orientamento del D.Lgs. 311/06 "Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia" e della Delibera della Giunta Provinciale 1448/09 "Disposizioni regolamentari in materia di edilizia sostenibile in attuazione del titolo IV della legge provinciale 4 marzo 2008, n. 1". Il decreto e la Delibera, infatti, esprimono i valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale degli edifici residenziali in kWh/m², mentre esprimono i valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale

di tutti gli altri edifici in kWh/m³, dal momento che l'interpiano può variare sensibilmente da un edificio all'altro.

Nella Tabella 10 a pagina seguente sono riportati i consumi termici specifici degli edifici comunali di Transacqua, che sono illustrati nella Figura 28 successiva.

| Num. | Edifici di proprietà comunale | Consumo di gasolio litri/anno | Volume lordo m ³ | Consumo specifico kWh/m ³ |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1 | Auditorium | 10.000 | 11.591 | 8,5 |
| 2 | Centro sportivo | 17.100 | 13.206 | 12,8 |
| 3 | Scuola media "Negrelli" | 44.820 | 21.704 | 20,4 |
| 4 | Municipio | 6.000 | 2.441 | 24,3 |
| 5 | Caserma dei Carabinieri | 6.120 | 2.028 | 29,9 |
| 6 | Scuola materna | 6.390 | 2.045 | 30,9 |
| 7 | Casa sociale | 1.800 | 567 | 31,4 |
| 8 | Casa anziani | 1.955 | 582 | 33,3 |
| Consumo e volume totali | | 94.185 | 54.164 | --- |

Tabella 10 – Consumi termici specifici degli edifici
(consumi di gasolio destinati al riscaldamento ambientale)

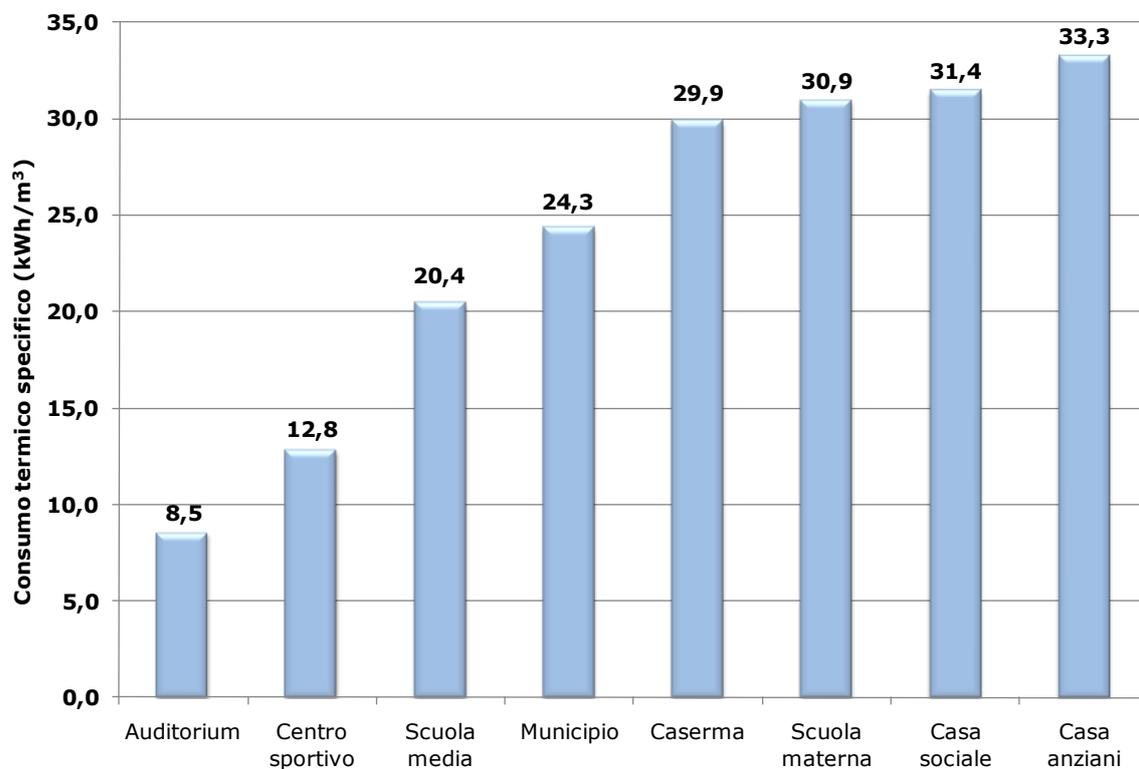


Figura 28 – Consumi termici specifici degli edifici
(consumi di gasolio destinati al riscaldamento ambientale)

Ad eccezione della scuola materna, della casa sociale e della casa anziani, gli edifici comunali di Transacqua registrano consumi termici specifici inferiori a 30 kWh/m³; i tre edifici al di sopra di questa soglia, la superano di poco. Nel caso dell'auditorium e del centro sportivo, i consumi sono inferiori a 15 kWh/m³.

Si fa notare che in Italia i consumi tipici, per il riscaldamento degli edifici realizzati dopo il 1991 secondo la Legge 10, variano nel range 30÷40 kWh/m³ e che in Trentino il consumo energetico medio per il riscaldamento degli immobili esistenti ammonta a 45 kWh/m³.

Sulla base di questi dati, nel complesso l'efficienza energetica in ambito termico degli edifici comunali di Transacqua può dirsi buona.

Il consumo specifico della casa anziani (edificio completamente ricostruito circa 10 anni fa) è il più alto di tutti. A questo riguardo, si fa notare che:

- l'intero edificio registra un'occupazione continuativa nell'arco delle 24 ore, a differenza degli altri immobili;
- il consumo potrebbe essere fortemente condizionato dalle abitudini e dai comportamenti degli anziani.

Pur non rappresentando situazioni di particolare spreco energetico, meritevoli di attenzione sono la scuola media, la Caserma dei Carabinieri, la scuola materna e la casa sociale (la scuola media ha un consumo relativo basso, ma in termini assoluti il suo consumo di gasolio è elevato).

4.4 **Interventi di efficienza energetica**

Nel presente capitolo si individuano e si illustrano i possibili interventi di efficienza energetica per la riduzione dei consumi termici degli edifici comunali, con particolare riferimento alla scuola materna, alla Caserma dei Carabinieri, alla scuola media ed alla casa sociale.

Si riportano, infine, alcune valutazioni relative alla fattibilità tecnica ed economica del recupero calore dal gruppo frigo utilizzato per il raffreddamento della piastra del ghiaccio presso il centro sportivo.

4.4.1 *Scuola materna*

La scuola materna si sviluppa su tre piani: due piani fuori terra ed un piano seminterrato, che ospita la mensa e la cucina. Il sottotetto è adibito a deposito e non è riscaldato: il solaio che lo separa dai locali riscaldati del primo piano non è isolato. Tutte le pareti sono dotate di un cappotto esterno e i serramenti sono in legno con doppio vetro.



Figura 29 – Facciata a sud (foto a sinistra) e facciata a nord (foto a destra) della scuola materna

L'impianto di riscaldamento è ripartito in tre circuiti (uno per piano): ogni circuito è comandato da un termostato. Si fa notare, però, che i tre circuiti non sono indipendenti, ma fanno tutti capo ad un'unica tubazione di mandata dalla caldaia con una sola pompa di circolazione. I corpi scaldanti sono radiatori e l'attuale caldaia alimenta anche l'accumulo dell'acqua calda sanitaria.

Nell'edificio si individuano i seguenti interventi di efficienza energetica, relativi sia all'involucro che agli impianti in centrale termica:

1. isolamento del solaio del sottotetto non riscaldato;
2. installazione di un collettore di mandata (e di un collettore di ritorno) dell'acqua calda con tre distinti stacchi e altrettante pompe di circolazione (uno stacco ed una pompa per ciascun circuito dell'impianto di riscaldamento a servizio dei tre piani);
3. installazione di una sonda di rilevamento della temperatura esterna per la regolazione climatica della temperatura di mandata dell'acqua calda;
4. coibentazione delle tubazioni in vista nella centrale termica.

Intervento n. 1:

isolamento termico del solaio del sottotetto

L'intervento consiste nell'isolamento termico del solaio del sottotetto non riscaldato attraverso la posa all'estradosso di un pacchetto isolante costituito da un doppio strato di pannelli rigidi in polistirene espanso sinterizzato (EPS) da 5 cm. I pannelli sono posati a secco e

ricoperti da un massetto di 5 cm in calcestruzzo alleggerito con argilla espansa.

La superficie da coibentare ammonta a 172 m²: la trasmittanza della chiusura orizzontale si riduce da 1,20 a 0,29 W/m²K ed il peso del nuovo pacchetto, gravante sul solaio esistente, è di 60 kg/m².



Figura 30 – Sottotetto non riscaldato (a sinistra) e foro nel solaio esistente che ha consentito di verificarne l'esatta composizione attuale (a destra)

Nelle Tabelle seguenti si illustrano i risultati dei calcoli relativi a:

- trasmittanza attuale e trasmittanza post-intervento del solaio;
- costi di investimento comprensivi di fornitura e posa in opera dei diversi strati del pacchetto isolante;
- risparmio energetico conseguibile, pari al 16% dell'attuale fabbisogno termico per il riscaldamento;
- risparmi economici e tempi di ritorno dell'intervento nella doppia ipotesi dell'utilizzo della caldaia a gasolio esistente e del futuro allaccio alla rete del teleriscaldamento in costruzione.

| Componenti del solaio | Spessore (m) | Resistenza termica (m ² K/W) |
|--|--------------|---|
| Strato liminare interno | --- | 0,10 |
| Solaio latero-cementizio | 0,240 | 0,35 |
| Intercapedine d'aria | 0,150 | 0,16 |
| Tavella in laterizio forato | 0,030 | 0,08 |
| Massetto in calcestruzzo | 0,060 | 0,04 |
| Strato liminare esterno | --- | 0,10 |
| Spessore e resistenza totali | 0,480 | 0,83 |
| Trasmittanza termica del solaio | | 1,20 W/m²K |

Tabella 11 – Componenti attuali del solaio e calcolo della trasmittanza

| Componenti del solaio | Spessore (m) | Resistenza termica (m ² K/W) |
|--|--------------|---|
| Strato liminare interno | --- | 0,10 |
| Solaio latero-cementizio | 0,240 | 0,35 |
| Intercapedine d'aria | 0,150 | 0,16 |
| Tavella in laterizio forato | 0,030 | 0,08 |
| Massetto in calcestruzzo | 0,060 | 0,04 |
| Barriera al vapore | --- | --- |
| Isolamento in EPS (5+5 cm) | 0,100 | 2,50 |
| Strato separatore | --- | --- |
| Massetto in cls alleggerito | 0,050 | 0,11 |
| Strato liminare esterno | --- | 0,10 |
| Spessore e resistenza totali | 0,630 | 3,44 |
| Trasmittanza termica del solaio | | 0,29 W/m²K |

Tabella 12 – Componenti del solaio con pacchetto isolante all'estradosso e calcolo della trasmittanza

| Componenti del pacchetto isolante | Costo unitario (€/m ²) | Costo (€) |
|-----------------------------------|------------------------------------|--------------|
| Barriera al vapore | 7,0 | 1.205 |
| Isolamento in EPS (5+5 cm) | 20,0 | 3.443 |
| Strato separatore | 2,0 | 344 |
| Massetto in cls alleggerito | 12,0 | 2.066 |
| Costo totale | 41,0 | 7.057 |

Tabella 13 – Costi di investimento del pacchetto isolante

| Caldaia a gasolio | |
|---|-------------------------|
| Risparmio di energia termica (16%) | 9.200 kWh/anno |
| Rendimento medio stagionale dell'impianto | 80 % |
| Risparmio di gasolio | 1.160 litri/anno |
| Prezzo di acquisto del gasolio | 0,95 €/litro |
| Risparmio economico | 1.100 €/anno |
| Tempo di ritorno dell'investimento | 6,4 anni |
| Allaccio alla rete di teleriscaldamento | |
| Risparmio di energia termica (16%) | 9.200 kWh/anno |
| Prezzo di acquisto dell'energia termica | 0,106 €/kWh |
| Risparmio economico | 980 €/anno |
| Tempo di ritorno dell'investimento | 7,2 anni |

Tabella 14 – Risparmio energetico e risparmi economici nell'ipotesi dell'utilizzo della caldaia esistente a gasolio e nell'ipotesi dell'allaccio alla rete del teleriscaldamento

Interventi n. 2, 3 e 4:

collettore di mandata dell'acqua calda, sonda di temperatura esterna e coibentazione delle tubazioni in centrale termica

Gli interventi descritti si concentrano nella centrale termica e il principale di essi consiste nell'installazione di un collettore di mandata (e di un collettore di ritorno) dell'acqua calda con tre distinti stacchi e altrettante pompe di circolazione: ciascuno stacco con relativa pompa alimenta un circuito dell'impianto di riscaldamento a servizio dei

tre piani, che sono già dotati di termostati ambiente. Questo intervento fa in modo che ogni circuito funzioni indipendentemente dagli altri due.

Attualmente i tre circuiti fanno capo in centrale termica ad un'unica tubazione di mandata e di ritorno dell'acqua calda con una sola pompa di circolazione. Pertanto la separazione dei circuiti è solo fisica, ma non funzionale: quando si rende necessario riscaldare un piano, inevitabilmente si riscaldano anche gli altri due. Ciò avviene soprattutto nelle mezze stagioni e determina, oltre ad uno spreco energetico, un disagio per gli utenti dell'edificio. L'intervento, dunque, deve essere valutato sia nell'ottica dell'efficienza e del risparmio energetico che nell'ottica del comfort ambientale dei bambini e delle maestre.

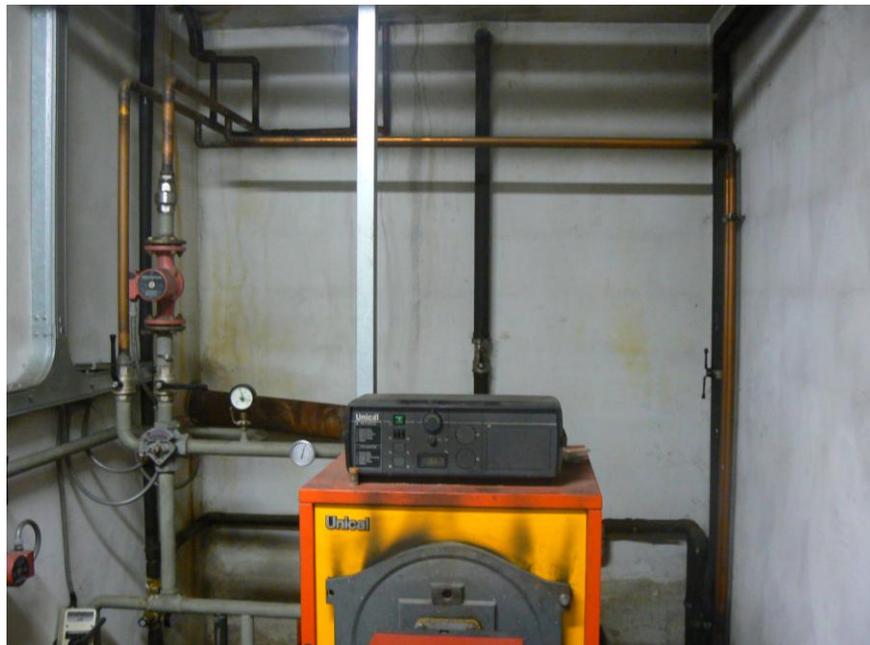


Figura 31 – Caldaia e tubazioni dell'impianto di riscaldamento (unica pompa di circolazione a valle della quale si dividono i circuiti)

Un ulteriore intervento proposto riguarda l'installazione di una sonda di misurazione della temperatura esterna da abbinare ad un regolatore climatico analogico, per il controllo automatico della temperatura di mandata dell'acqua calda all'impianto di riscaldamento. La regolazione climatica dell'impianto consente il risparmio energetico soprattutto nelle mezze stagioni, quando può essere mandata nei radiatori acqua calda a temperatura minore rispetto ai mesi più freddi.

L'ultimo intervento consiste nella coibentazione di tutte le tubazioni a vista presenti nella centrale termica: l'assenza di isolamento comporta la dispersione di calore dai tubi con un inutile riscaldamento dell'aria in centrale.

Nella Tabella seguente si illustrano:

- il costo di investimento complessivo di tutti gli interventi proposti;
- il risparmio energetico conseguibile, stimato nel 10% del consumo attuale di energia termica per il riscaldamento;
- i risparmi economici e i tempi di ritorno degli interventi nella doppia ipotesi dell'utilizzo della caldaia a gasolio esistente e del futuro allaccio alla rete del teleriscaldamento in costruzione.

Si precisa che il costo di investimento indicato comprende la fornitura e la posa in opera delle seguenti componenti termomeccaniche ed elettriche:

- collettore di mandata e di ritorno in tubo nero isolato;

- tubazioni nere coibentate (DN 25) di raccordo fra i collettori e le tubazioni esistenti;
- tre elettropompe di circolazione;
- valvola miscelatrice a tre vie, valvole di intercettazione e valvole di ritegno;
- termometri ad immersione;
- sonda di misurazione della temperatura esterna;
- regolatore climatico analogico per comando valvole;
- attuatore;
- coibentazione delle tubazioni esistenti in vista;
- opere elettriche.

| Caldia a gasolio | |
|--|-----------------------|
| Risparmio di energia termica (10%) | 5.800 kWh/anno |
| Rendimento medio stagionale dell'impianto | 80 % |
| Risparmio di gasolio | 730 litri/anno |
| Prezzo di acquisto del gasolio | 0,95 €/litro |
| Risparmio economico | 700 €/anno |
| Costo di investimento | 5.200 € |
| Tempo di ritorno dell'investimento | 7,4 anni |
| Allaccio alla rete di teleriscaldamento | |
| Risparmio di energia termica (10%) | 5.800 kWh/anno |
| Prezzo di acquisto dell'energia termica | 0,106 €/kWh |
| Risparmio economico | 610 €/anno |
| Costo di investimento | 5.200 € |
| Tempo di ritorno dell'investimento | 8,5 anni |

Tabella 15 – Risparmio energetico e risparmi economici nell'ipotesi dell'utilizzo della caldaia esistente a gasolio e nell'ipotesi dell'allaccio alla rete del teleriscaldamento

4.4.2 *Caserma dei Carabinieri*

La Caserma dei Carabinieri si sviluppa su cinque piani, tutti riscaldati ad eccezione del piano terra. L'edificio ospita uffici (primo piano), una zona refezione con dormitori non regolarmente occupati (secondo piano) e tre appartamenti (terzo piano e sottotetto).

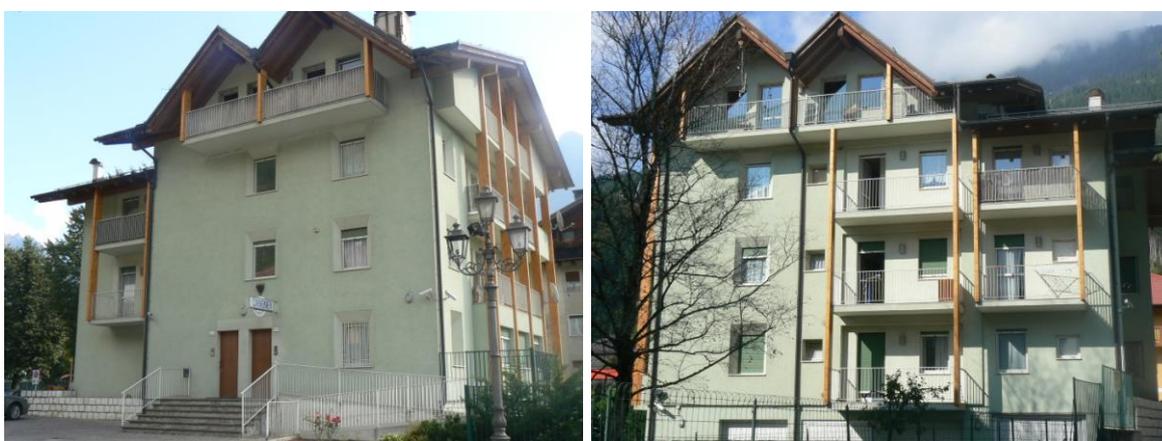


Figura 32 – Facciata a ovest (foto a sinistra) e facciata a est (foto a destra) della Caserma dei Carabinieri

Un cappotto esterno ricopre la parete a sud e, in parte, le pareti a est e a ovest, mentre la parete a nord ne è completamente priva.

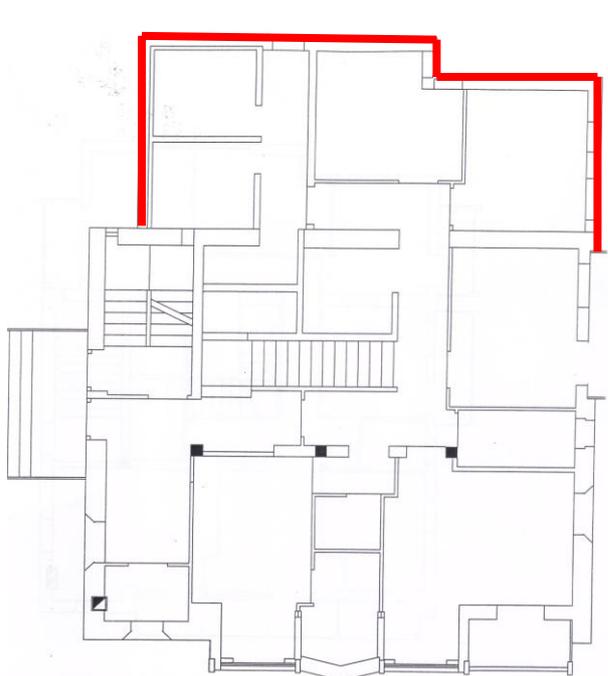


Figura 33 – Pareti prive del cappotto esterno (in rosso)

Il cappotto è stato realizzato solo sulla parte vecchia e ristrutturata dell'edificio, in modo non uniforme in quanto le porzioni di parete in corrispondenza dei poggioli non sono state coibentate, presumibilmente per non ridurre la superficie degli stessi poggioli.



Figura 34 – Facciata a nord priva del cappotto (foto a sinistra) e particolare di una porzione di parete non coibentata in corrispondenza di un poggiolo (foto a destra)

I punti deboli dell'involucro si possono così sintetizzare:

- mancanza di uniformità del cappotto esistente;
- elevato numero di poggiori, le cui solette in calcestruzzo rappresentano ponti termici lineari, causa di dispersioni di calore non trascurabili;
- consistenti spifferi dalle finestre in PVC e doppio vetro (come sottolineato con forza dagli occupanti), conseguenza evidentemente di difetti di posa.

L'impianto di riscaldamento è ripartito in sei circuiti, ciascuno dei quali è comandato da un termostato. I corpi scaldanti sono radiatori e le caldaie alimentano anche l'accumulo dell'acqua calda sanitaria.

Allo stato dei fatti, non è pensabile intervenire per eliminare i ponti termici dovuti alle solette dei poggiori e nemmeno per eliminare gli spifferi dalle finestre: sarebbero necessari lavori troppo onerosi in rapporto ai benefici, per non parlare del disagio arrecato agli occupanti.

Si possono, invece, valutare gli interventi per uniformare il più possibile il cappotto esterno. Nel presente lavoro si prende in considerazione l'isolamento delle pareti evidenziate in rosso nella Figura 33 con pannelli in polistirene espanso sinterizzato (EPS) da 8 cm.

Nelle Tabelle seguenti si illustrano i risultati dei calcoli relativi a:

- trasmittanza attuale e post-intervento delle pareti;
- costi di investimento comprensivi di fornitura e posa in opera dei diversi strati del cappotto esterno;

- risparmio energetico conseguibile, pari al 15% dell'attuale fabbisogno termico per il riscaldamento;
- risparmi economici e tempi di ritorno dell'intervento nella doppia ipotesi dell'utilizzo delle caldaie a gasolio e del futuro allaccio alla rete del teleriscaldamento in costruzione.

| Componenti delle pareti | Spessore (m) | Resistenza termica (m ² K/W) |
|--|--------------|---|
| Strato liminare interno | --- | 0,13 |
| Intonaco interno | 0,015 | 0,02 |
| Laterizio forato porizzato | 0,250 | 1,00 |
| Intonaco esterno | 0,015 | 0,02 |
| Strato liminare esterno | --- | 0,04 |
| Spessore e resistenza totali | 0,280 | 1,20 |
| Trasmittanza termica delle pareti | | 0,83 W/m²K |

Tabella 16 – Componenti attuali delle pareti e calcolo della trasmittanza

| Componenti delle pareti | Spessore (m) | Resistenza termica (m ² K/W) |
|--|--------------|---|
| Strato liminare interno | --- | 0,13 |
| Intonaco interno | 0,015 | 0,02 |
| Laterizio forato porizzato | 0,250 | 1,00 |
| Malta per il fissaggio | 0,015 | 0,02 |
| Pannelli isolanti in EPS (8 cm) | 0,080 | 2,00 |
| Rasatura con rete d'armatura | 0,005 | 0,01 |
| Strato di finitura | 0,005 | 0,01 |
| Strato liminare esterno | --- | 0,04 |
| Spessore e resistenza totali | 0,370 | 3,22 |
| Trasmittanza termica delle pareti | | 0,31 W/m²K |

Tabella 17 – Componenti delle pareti con cappotto esterno e calcolo della trasmittanza

| Componenti del cappotto esterno | Costo unitario (€/m²) | Costo (€) |
|--|---|------------------|
| Ponteggio | 11,0 | 2.338 |
| Rimozione intonaco esistente | 12,0 | 2.550 |
| Malta per il fissaggio | 6,0 | 1.275 |
| Pannelli isolanti in EPS (8 cm) | 15,0 | 3.188 |
| Rasatura con rete d'armatura | 24,0 | 5.100 |
| Strato di finitura | 9,0 | 1.913 |
| Costo totale | 77,0 | 16.363 |

Tabella 18 – Costi di investimento del cappotto esterno

| Caldie a gasolio | |
|--|-----------------------|
| Risparmio di energia termica (15%) | 7.200 kWh/anno |
| Rendimento medio stagionale dell'impianto | 80 % |
| Risparmio di gasolio | 910 litri/anno |
| Prezzo di acquisto del gasolio | 0,95 €/litro |
| Risparmio economico | 860 €/anno |
| Tempo di ritorno dell'investimento | 19,0 anni |
| Allaccio alla rete di teleriscaldamento | |
| Risparmio di energia termica (15%) | 7.200 kWh/anno |
| Prezzo di acquisto dell'energia termica | 0,106 €/kWh |
| Risparmio economico | 760 €/anno |
| Tempo di ritorno dell'investimento | 21,4 anni |

Tabella 19 – Risparmio energetico e risparmi economici nell'ipotesi dell'utilizzo delle caldaie a gasolio e nell'ipotesi dell'allaccio alla rete del teleriscaldamento

4.4.3 *Scuola media*

La scuola media si sviluppa su quattro piani: tre piani fuori terra ed un piano interrato attualmente non riscaldato.

L'edificio ospita al piano terra una mensa, una cucina ed una palestra. La mensa (circa 250 pasti/giorno) è utilizzata anche da persone esterne alla scuola (anziani e dipendenti pubblici) ed è aperta pure in estate. La palestra è usata anche da esterni al di fuori dei normali orari didattici (fino a tarda sera).



Figura 35 – Lato ovest (foto a sinistra) e lato est (foto a destra) della scuola media

Nell'Allegato A alla presente relazione sono riportate le sezioni della parete delle aule con le finestre a nastro e della copertura della palestra, così come fornite dal geom. Quirino Gobber.

In riferimento ai serramenti dell'edificio, si precisa che:

- gli infissi delle aule sono originari, in legno e doppio vetro;

- le due grandi vetrate (triangolare lato est e palestra) sono state realizzate fra il 2006 e il 2008 in sostituzione di quelle originarie;
- tutti gli infissi dell'ultimo piano sono nuovi in alluminio e vetro-camera.

Sulla base dei particolari costruttivi disponibili e di ulteriori indicazioni fornite dal geom. Gobber (tecnico della Comunità di Valle), sono state valutate le dispersioni termiche per trasmissione e per ventilazione dell'immobile: i contributi più rilevanti alle perdite di calore sono imputabili alle superfici trasparenti, alle coperture ed ai ricambi d'aria (Figura 36 a pagina seguente).

L'impianto di riscaldamento è ripartito in quattro circuiti, due a servizio delle aule, uno per la palestra ed uno per gli uffici. I corpi scaldanti nelle aule sono radiatori, mentre la palestra dispone di un impianto ad aria. Le attuali caldaie producono anche l'acqua calda sanitaria. Recentemente l'impianto di riscaldamento è stato dotato di un sistema automatico di regolazione: in ciascuna aula è installato un regolatore di temperatura COSTER RTB 140, che comanda i servomotori COSTER CDR 064 per l'azionamento delle valvole dei radiatori (Figura 37). Purtroppo si deve segnalare che l'efficacia del sistema è talvolta compromessa dalle manomissioni delle apparecchiature installate da parte di alcuni studenti (rottura dei servomotori che vengono staccati dai radiatori e staratura dei regolatori a parete).

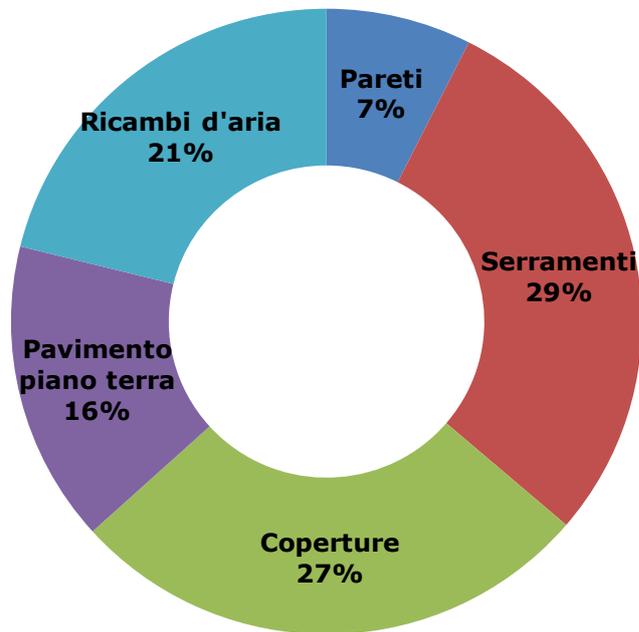


Figura 36 – Contributi alle dispersioni di calore della scuola



Figura 37 – Regolatore di temperatura sulle pareti delle aule (foto a sinistra) e servomotori sui radiatori (foto a destra)

Alla luce delle precedenti considerazioni, l'intervento prioritario di efficienza energetica riguarda i serramenti ed in particolare la sostituzione delle finestre a nastro del corpo aule. Nel 2008 gli infissi sono stati riverniciati e, pertanto, si ritiene che l'Amministrazione non vorrà impegnarsi a breve nella loro sostituzione. In futuro, comunque,

l'intervento potrà essere preso in considerazione non solo nell'ottica dell'efficienza energetica, ma anche nell'ottica della manutenzione (altri vecchi infissi sono già stati sostituiti).

La trasmittanza degli attuali serramenti si stima pari a 3,50 W/m²K. I nuovi serramenti, delle stesse dimensioni, in alluminio a taglio termico e vetrocamera 4/16/4 a bassa emissività, hanno le seguenti caratteristiche:

- trasmittanza del telaio: $U_f = 1,90 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- trasmittanza del vetrocamera: $U_g = 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- trasmittanza risultante: $U_w = 1,69 \text{ W/m}^2\text{K}$.

L'intervento comprende anche i cassonetti non isolati (trasmittanza stimata di 6,0 W/m²K), che sono sostituiti da nuovi cassonetti isolati (trasmittanza pari a 0,8 W/m²K).

La superficie dei serramenti interessata all'intervento è di 390 m² e lo sviluppo dei cassonetti è di 260 m.

Nella Tabella seguente si illustrano:

- costo di investimento;
- risparmio energetico conseguibile, pari al 12% dell'attuale fabbisogno termico per il riscaldamento;
- risparmi economici e tempi di ritorno dell'intervento nella doppia ipotesi dell'utilizzo delle caldaie a gasolio esistenti e del futuro allaccio alla rete del teleriscaldamento in costruzione.

Si precisa che il costo di investimento indicato comprende:

- la demolizione dei serramenti esistenti in legno;
- la fornitura e la posa in opera dei nuovi infissi in alluminio;
- la fornitura e la posa in opera dei nuovi cassonetti, comprese le persiane avvolgibili in PVC rigido.

La Tabella evidenzia un tempo di ritorno altissimo: l'intervento, pur valido ed auspicabile dal punto di vista dell'efficienza energetica, non si ripaga con il risparmio economico. Come già sottolineato, in futuro, l'intervento potrà essere comunque effettuato nell'ambito della manutenzione straordinaria dell'immobile e, in quest'ottica, esso potrà essere apprezzato anche per il risparmio economico sui costi del riscaldamento.

| Caldaie a gasolio | |
|--|-------------------------|
| Risparmio di energia termica (12%) | 43.300 kWh/anno |
| Rendimento medio stagionale dell'impianto | 80 % |
| Risparmio di gasolio | 5.470 litri/anno |
| Prezzo di acquisto del gasolio | 0,95 €/litro |
| Risparmio economico | 5.200 €/anno |
| Costo di investimento | 264.000 € |
| Tempo di ritorno dell'investimento | 50,8 anni |
| Allaccio alla rete di teleriscaldamento | |
| Risparmio di energia termica (12%) | 43.300 kWh/anno |
| Prezzo di acquisto dell'energia termica | 0,106 €/kWh |
| Risparmio economico | 4.600 €/anno |
| Costo di investimento | 264.000 € |
| Tempo di ritorno dell'investimento | 57,3 anni |

Tabella 20 – Risparmio energetico e risparmi economici nell'ipotesi dell'utilizzo delle caldaie esistenti a gasolio e nell'ipotesi dell'allaccio alla rete del teleriscaldamento

4.4.4 *Casa sociale*

La casa sociale si sviluppa su un piano seminterrato non riscaldato, un piano rialzato ed un piano sottotetto riscaldati.

Il piano sottotetto è adibito in parte a deposito ed è poco riscaldato (dispone di un solo radiatore), ma l'aria calda del piano rialzato tende a salire attraverso le due scale interne che collegano i piani e a disperdersi dalla copertura non isolata. Sulla base delle indicazioni tecniche fornite dal Comune, sono state valutate le dispersioni termiche per trasmissione e per ventilazione dell'edificio: il contributo più rilevante alle perdite di calore è imputabile alla copertura.



Figura 38 – Lato est (foto a sinistra) e lato sud (foto a destra) della casa sociale

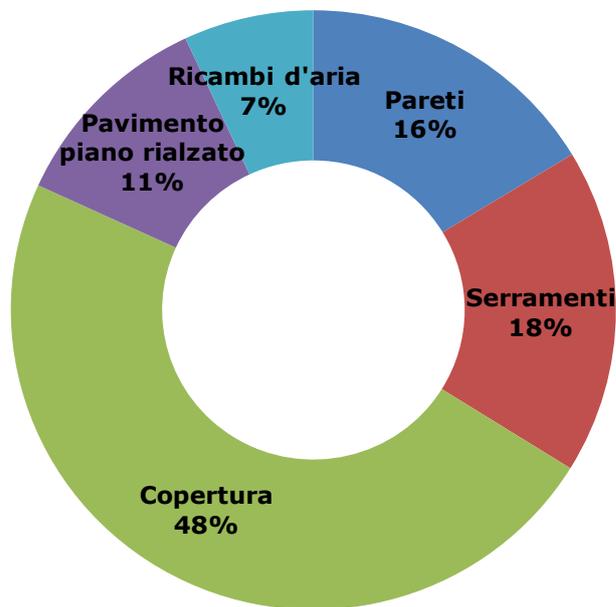


Figura 39 – Contributi alle dispersioni di calore della casa sociale

La copertura può essere isolata facilmente all'intradosso disponendo fra le travi un doppio strato di pannelli in fibra di legno da 8 cm e ricoprendo il tutto con una barriera al vapore e perline in legno. La superficie da coibentare ammonta a 110 m² e la trasmittanza termica della copertura scende dal valore attuale di 2,58 W/m²k al valore di 0,28 W/m²K.

Nelle Tabelle seguenti si illustrano:

- i costi di investimento comprensivi di fornitura e posa in opera dei diversi strati del pacchetto isolante;
- il risparmio energetico conseguibile pari al 39% del fabbisogno termico attuale per il riscaldamento;
- i risparmi economici e i tempi di ritorno dell'investimento nella doppia ipotesi dell'utilizzo della caldaia a gasolio esistente e del futuro allaccio alla rete del teleriscaldamento in costruzione.

| Componenti del pacchetto isolante | Costo unitario (€/m ²) | Costo (€) |
|-------------------------------------|------------------------------------|--------------|
| Isolante in fibra di legno (8+8 cm) | 40,0 | 4.400 |
| Barriera al vapore | 7,0 | 770 |
| Perline in legno | 21,0 | 2.310 |
| Costo totale | 68,0 | 7.480 |

Tabella 21 – Costi di investimento del pacchetto isolante

| Caldaia a gasolio | |
|---|-----------------------|
| Risparmio di energia termica (39%) | 5.500 kWh/anno |
| Rendimento medio stagionale dell'impianto | 80 % |
| Risparmio di gasolio | 700 litri/anno |
| Prezzo di acquisto del gasolio | 0,95 €/litro |
| Risparmio economico | 670 €/anno |
| Tempo di ritorno dell'investimento | 11,2 anni |
| Allaccio alla rete di teleriscaldamento | |
| Risparmio di energia termica (39%) | 5.500 kWh/anno |
| Prezzo di acquisto dell'energia termica | 0,106 €/kWh |
| Risparmio economico | 580 €/anno |
| Tempo di ritorno dell'investimento | 12,8 anni |

Tabella 22 – Risparmio energetico e risparmi economici nell'ipotesi dell'utilizzo della caldaia esistente a gasolio e nell'ipotesi dell'allaccio alla rete del teleriscaldamento

4.4.5 Impianto frigorifero della piastra del ghiaccio

Il raffreddamento della piastra del ghiaccio presso il centro sportivo è affidato ad un gruppo frigo condensato ad aria della potenza elettrica di 346 kW. Il gruppo frigo lavora da metà novembre a metà marzo e registra un consumo elettrico di circa 85.000 kWh/anno.

Un possibile intervento di efficienza energetica è rappresentato dal recupero di calore dal gruppo frigo per la produzione di acqua calda da destinare agli usi termici del centro sportivo. Il recupero del calo-

re può essere effettuato tramite l'installazione di un idoneo scambiatore (desurriscaldatore) in serie al condensatore del gruppo frigo.

L'intervento è ostacolato dai seguenti fattori:

- scarso numero di ore annue di funzionamento del gruppo frigo;
- produzione di acqua calda a non più di 45°C. L'acqua calda potrebbe essere destinata solo agli usi sanitari e non al riscaldamento ambientale, che richiede acqua a temperatura di circa 70°C. Il recupero di acqua calda a temperatura maggiore implicherebbe la modifica dei parametri di esercizio del gruppo frigo e, di conseguenza, un peggioramento del suo rendimento con aumento del consumo di energia elettrica.

Assumendo una potenza dello scambiatore di 85 kW, si potrebbero recuperare circa 21.000 kWh/anno di energia termica se il gruppo frigo lavorasse sempre in corrispondenza del carico nominale. Considerato che questa ipotesi è lontana dalla realtà e che il gruppo frigo lavora spesso a carico parziale, l'energia termica effettivamente recuperabile è stimabile nel 50% del valore indicato: ciò si traduce in un risparmio di gasolio nell'ordine dei 1.200 litri/anno.

Il recupero di calore è esiguo e non giustifica in alcun modo la complessità dell'intervento, che si dimostra insostenibile dal punto di vista tecnico ed economico.

4.5 Conclusioni

Il lavoro evidenzia il buon livello attuale di efficienza elettrica e termica degli edifici comunali di Transacqua.

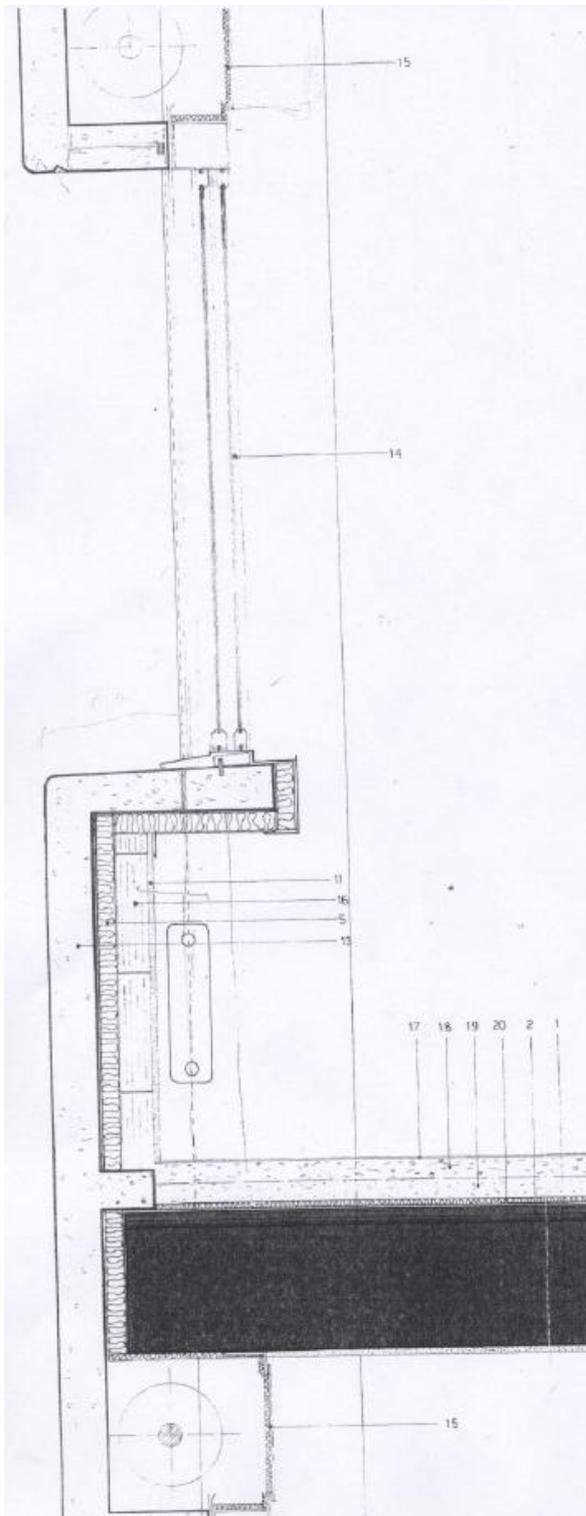
Sul lato dei consumi di energia elettrica non si individuano interventi di efficienza: i margini di risparmio possono essere legati solo alla modifica di eventuali abitudini e comportamenti scorretti da parte degli occupanti.

Sul lato dei consumi termici il lavoro individua i possibili interventi di efficienza, i cui risultati in termini energetici ed economici sono riportati nella seguente Tabella. Partendo da uno stato di fatto di buona efficienza energetica, il raggiungimento di un livello ancora superiore comporta necessariamente investimenti importanti, con rientro dei capitali nel medio e lungo periodo.

| Interventi | Risparmio gasolio (litri/anno) | Costo (€) | Risparmio economico (€/anno) | Tempo di ritorno (anni) |
|----------------------------|--------------------------------|----------------|------------------------------|-------------------------|
| Isolamento solaio materna | 1.160 | 7.100 | 1.100 | 6,4 |
| Impianto termico materna | 730 | 5.200 | 700 | 7,4 |
| Cappotto Caserma | 910 | 16.400 | 860 | 19,0 |
| Sost. serramenti sc. media | 5.470 | 264.000 | 5.200 | 50,8 |
| Isolam. cop. casa sociale | 700 | 7.500 | 670 | 11,2 |
| Totali | 8.970 | 300.200 | 8.530 | --- |

Tabella 23 – Sintesi degli interventi di efficienza energetica in ambito termico

4.6 Particolari costruttivi della scuola media



- 1—Solaio in laterocemento sp. cm 32
- 2—Cappa solaio cm 4
- 3—Massetto in cls alleggerito con formazione delle pendenze scivolo delle acque meteoriche (la liscivatura dovrà essere al getto) armato con rete elettrosaldata ϕ 4 20x20
- 4—Impermeabilizzazione in p.v.c.
- 5—Polistirolo estruso sinterizzato (Kg 25 al mc sp. cm 5)
- 6—Strato separatore (antipassaggio ghiaietto)
- 7—Ghiaietto
- 8—Torre di aerazione o di smaltimento acque meteoriche
- 9—Scossalina di testata
- 10—Zoccolo in legno
- 11—intonaco
- 12—Gozzolatoio
- 13—Pannello prefabbricato in argilla espansa
- 14—Serramento in metallo tipo scorrevole
- 15—Cassonetto con avvolgibile
- 16—Muratura in mattoni da cm 8
- 17—Pavimento in p.v.c. omogeneo mm 2 50x50 saldato
- 18—Caldana in cls. a finire
- 19—Strato in argilla espansa
- 20—Isolazione acustica
- 21—Barriera al vapore
- 22—Strato separatore in Tessuto non Tessuto 200 g/mq
- 23— " " " " " " 300 g/mq
- 24— " " " " " " 100 g/mq
- 25—intercapedme aerata h= 40cm
- 26— Terreno
- 27—Derbigum poliestere biarmato sp. 4 mm
- 28—Massetto in c.l.s. armato con rete elettrosaldata (sp. 5 cm.)
- 29—Vespajo sp. 30 cm minimo
- 30—Terra vegetale
- 31—Lucernario a doppia parete
- 32—Giunto di dilatazione ogni 6x6 ml.

Figura 40 – Sezione della parete e delle finestre delle aule

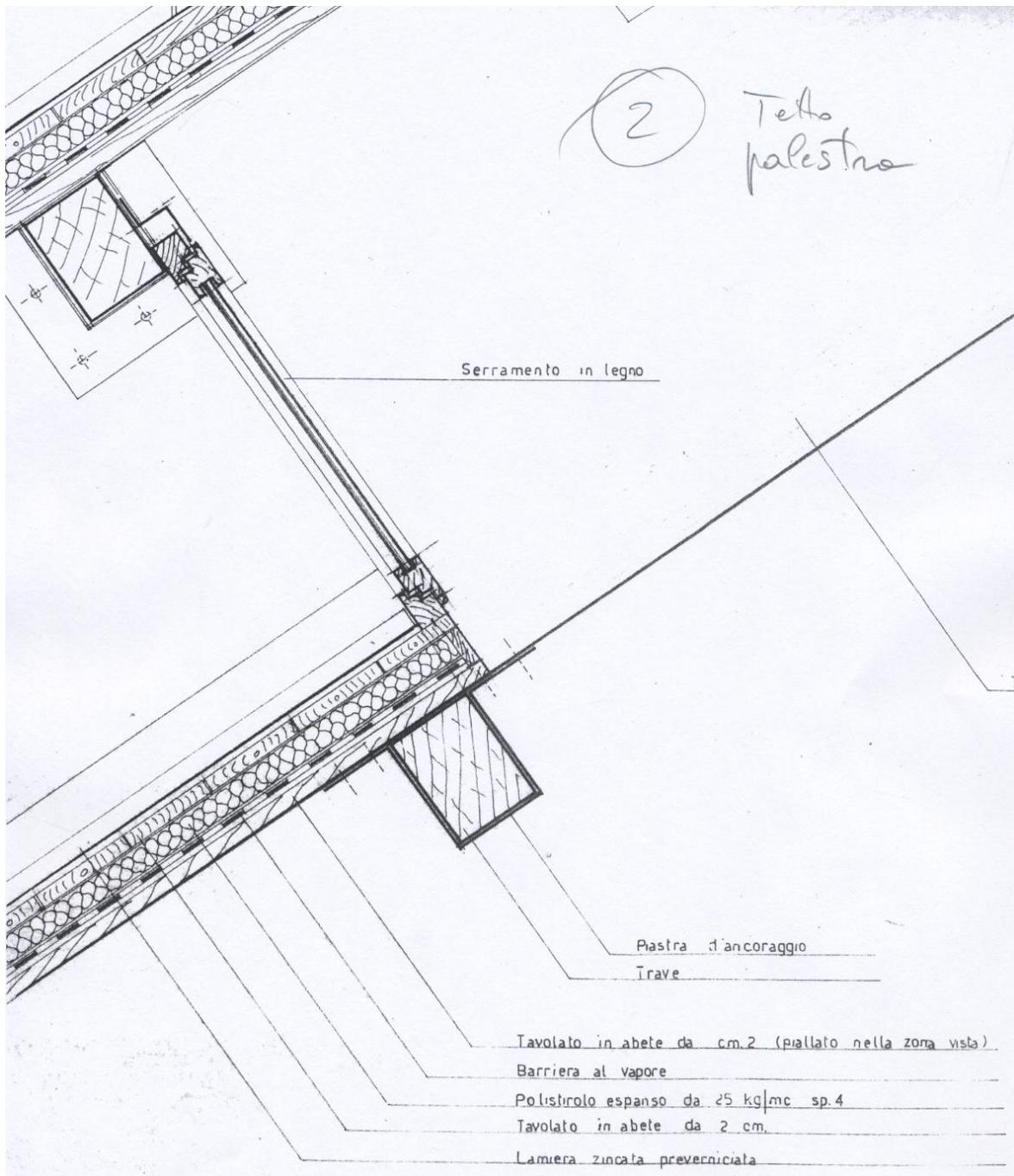


Figura 41 – Sezione della copertura della palestra

CAPITOLO 5 IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE: VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA ENERGETICA ED INTERVENTI DI RISPARMIO

5.1 Introduzione e sintesi dei risultati

In generale, il settore dell'illuminazione pubblica presenta caratteristiche tali da consentire la realizzazione di interventi di efficienza energetica, finalizzati alla riduzione dei consumi e dei costi energetici, al contenimento dell'inquinamento luminoso attraverso la limitazione del flusso disperso e al miglioramento del comfort e della sicurezza dei cittadini.

In quest'ottica la presente relazione è finalizzata alla:

- valutazione del livello attuale di efficienza energetica degli impianti di illuminazione pubblica del Comune di Transacqua tramite il calcolo di alcuni indici di prestazione (ore equivalenti di funzionamento, potenza e consumo specifico per punto luce, ecc.) ed il loro confronto con adeguati valori statistici di riferimento;
- definizione degli interventi prioritari per il risparmio energetico, con particolare riferimento alla sostituzione delle lampade ai vapori di mercurio da 80 W e 125 W con lampade a più alta efficienza (sodio alta pressione e LED) ed alla regolazione degli impianti attraverso l'uso dei riduttori di flusso;
- quantificazione dei costi di investimento, dei risparmi energetici ed economici e dei benefici ambientali derivanti dalla realizzazione delle misure di efficienza proposte.

Anticipando gli esiti dell'analisi, la Tabella 24 riepiloga i risultati più significativi in termini energetici, economici ed ambientali derivanti dagli interventi di efficienza energetica degli impianti di illuminazione pubblica nel Comune di Transacqua: i valori in Tabella fanno riferimento allo scenario che prevede la sostituzione delle attuali lampade ai vapori di mercurio con le armature a LED.

| | |
|--------------------------------------|-----------------|
| Risparmio di energia elettrica | 89.000 kWh/anno |
| Emissioni evitate di CO ₂ | 45 ton/anno |
| Costo di investimento | 189.000 € |
| Risparmio economico | 15.400 €/anno |
| Tempo di ritorno semplice | 12,2 anni |

Tabella 24 – Risultati degli interventi di efficienza energetica a Transacqua

5.2 **Legislazione provinciale**

In Trentino sono recentemente entrati in vigore il "*Piano Provinciale di intervento per la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento luminoso*" ed il "*Regolamento di attuazione della Legge Provinciale 3 ottobre 2007, n. 16 (Risparmio energetico e inquinamento luminoso)*".

Si sottolineano due aspetti importanti del Piano e del Regolamento:

- ogni Amministrazione Comunale, entro due anni dalla data di entrata in vigore del Piano Provinciale (14 aprile 2010), deve redigere, tramite il lavoro di progettisti qualificati, il PRIC (Piano Regolatore di Illuminazione Comunale), per disciplinare sia i nuovi impianti di illuminazione esterna che i tempi e le modalità di adeguamento o di sostituzione di quelli esistenti. Nella programmazione degli interventi di adeguamento e di risanamento, i PRIC devono distinguere le misure urgenti (da realizzare entro tre anni) da quelle ordinarie. Se un Comune non provvede all'adozione del PRIC entro il termine indicato, resta escluso dai contributi provinciali destinati agli interventi di riduzione dell'inquinamento luminoso mediante impianti ad elevato rendimento energetico per i successivi 24 mesi;
- seguendo un approccio innovativo, nel PRIC gli impianti di illuminazione vengono caratterizzati non solo sotto l'aspetto illuminotecnico (contenimento dell'inquinamento luminoso), ma anche sotto l'aspetto dell'efficienza energetica.

Con Delibera Provinciale n. 1190 del 2010 sono stati approvati i criteri e le modalità per la concessione di contributi di cui alla LP 14/80 ed alla LP 16/07 per l'anno in corso (la scadenza del bando è fissata al 5/11/2010). In tema di illuminazione pubblica si segnalano:

- a favore degli Enti Pubblici, un contributo dell'80% della spesa ammessa per gli studi relativi alla realizzazione dei PRIC;
- a favore dei Privati e delle Imprese, un contributo pari al 30% della spesa ammessa per gli interventi effettuati sugli impianti di illuminazione esistenti, volti alla riduzione dell'inquinamento luminoso ed al risparmio energetico (sostituzione, rifacimento, adattamento e inserimento di lampade, corpi illuminanti, ottiche, regolatori di flusso e sistemi elettronici di accensione e spegnimento). Nell'anno in corso, dunque, gli Enti Pubblici sono esclusi dai contributi, che possono essere richiesti dalle società alle quali gli Enti stessi affidano la gestione degli impianti e la realizzazione degli interventi.

5.3 **Definizione dello stato di fatto**

5.3.1 *Raccolta dati*

L'analisi degli impianti di illuminazione pubblica del Comune di Transacqua ha preso avvio dal rilievo dei punti luce attualmente presenti sul territorio.

Il rilievo è stato condotto dal sig. Marco Simoni, capo operai del Comune: dal rilievo, dai colloqui con lo stesso sig. Simoni e dal sopralluogo svolto, sono stati acquisiti i dati e le informazioni relative a:

- numero, tipologia e potenza delle lampade;
- tipologia dei corpi illuminanti;
- modalità di gestione e regolazione degli impianti.

Infine, i dati di consumo energetico della pubblica illuminazione sono stati forniti dall'Azienda elettrica locale ACSM di Fiera di Primiero.

5.3.2 *Parco lampade, regolazione impianti e consumi*

Secondo quanto emerge dal rilievo dei punti luce (riportato in dettaglio nell'Allegato A alla presente relazione), ad oggi gli impianti di illuminazione pubblica del Comune si compongono di 866 lampade.

Le sorgenti luminose installate sono principalmente del tipo al sodio alta pressione (luce gialla), con potenze comprese fra i 70 e i 250 W (più del 70% del totale). In misura inferiore sono presenti lampade ai vapori di mercurio (luce bianca) con potenze di 80 W e 125 W (13% del totale) e lampade agli ioduri metallici, alogene, fluorescenti e a LED (nel complesso il 16% del totale).

La Tabella 6 - **Elenco degli edifici di proprietà del Comune oggetto di** a pagina seguente riepiloga in quantità e tipologia la composizione attuale del parco lampade.

La Tabella 26 sintetizza ulteriormente il parco lampade, tenendo conto del fatto che le lampade a scarica nel gas non sono in grado di funzionare senza specifici ausiliari elettrici, costituiti dagli alimentatori di tipo ferromagnetico e responsabili di perdite elettriche comprese fra il 10% e il 15% della potenza della lampada servita.

La Figura 1 a pagina 7 illustra la ripartizione percentuale delle lampade attualmente installate nel Comune in funzione del loro numero.

| Tipologia di lampada | Potenza (W) | Num. lampade | Potenza totale (kW) |
|--------------------------------------|-------------|--------------|---------------------|
| Vapori di mercurio (VM) | 80 | 18 | 1,44 |
| | 125 | 95 | 11,88 |
| Sodio alta pressione (SAP) | 70 | 474 | 33,18 |
| | 100 | 12 | 1,20 |
| | 110 | 29 | 3,19 |
| | 150 | 95 | 14,25 |
| | 250 | 6 | 1,50 |
| Alogene (AL) e ioduri metallici (JM) | 100 | 4 | 0,40 |
| | 110 | 8 | 0,88 |
| | 125 | 2 | 0,25 |
| | 200 | 5 | 1,00 |
| | 250 | 2 | 0,50 |
| | 500 | 4 | 2,00 |
| Fluorescenti e faretto (FL) | 7 | 8 | 0,06 |
| | 17 | 45 | 0,77 |
| | 20 | 21 | 0,42 |
| Barre da 6 LED | 9 | 38 | 0,34 |
| Totali | --- | 866 | 73,25 |

Tabella 25 – Attuale parco lampade con potenza nominale delle sorgenti luminose

| Tipologia di lampada | Num. lampade | Potenza tot. lampade (kW) | Potenza tot. lampade e ausiliari (kW) |
|-----------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------------------|
| Vapori di mercurio (VM) | 113 | 13,32 | 14,83 |
| Sodio alta pressione (SAP) | 616 | 53,32 | 62,03 |
| Alogene (AL) e ioduri (JM) | 25 | 5,03 | 5,78 |
| Fluorescenti e faretto (FL) | 74 | 1,24 | 1,43 |
| Barre da 6 LED | 38 | 0,34 | 0,39 |
| Totali | 866 | 73,25 | 84,46 |

Tabella 26 – Attuale parco lampade con potenza nominale delle sorgenti luminose e maggiorazione dovuta alle perdite elettriche degli alimentatori

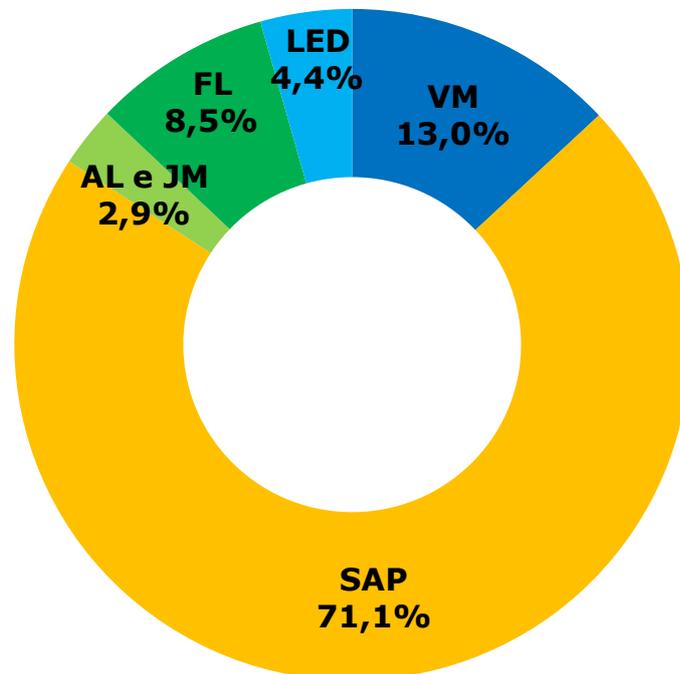


Figura 42 - Ripartizione percentuale delle lampade attualmente installate in funzione del loro numero

In riferimento alle modalità di regolazione degli impianti, solo la linea lungo la ciclabile è comandata da un timer, che impone lo spegnimento delle lampade alle ore 1:00. Tutte le altre linee non sono regolate in alcun modo, né secondo il regime di tutta notte/mezza notte (spegnimento alternato dei punti luce), né con l'uso di riduttori del flusso luminoso di tipo centralizzato o puntuale.

Il consumo di energia elettrica degli impianti è stato nel 2008 pari a 399.500 kWh e nel 2009 pari a 395.300 kWh. Assunto un consumo medio di 397.000 kWh/anno ed un prezzo di acquisto dell'energia elettrica pari a 0,13 €/kWh (IVA inclusa), l'importo pagato in bolletta risulta di 52.000 €/anno (IVA inclusa).

5.3.3 *Corpi illuminanti*

Sul territorio comunale si individuano due principali tipologie di corpi illuminanti: a campana (Figura 43) e a globo trasparente (Figura 44 e Figura 45).

Mentre i primi rappresentano apparecchi cut-off e sono idonei ad un corretto controllo del flusso luminoso emesso dalle lampade, i secondi sono inadeguati e responsabili di rilevanti dispersioni del flusso verso l'alto o, comunque, verso zone inutilmente illuminate.

Si fa notare che gli apparecchi a campana sono equipaggiati con le lampade al sodio alta pressione da 70, 100 e 150 W: all'elevata efficienza delle lampade, dunque, si abbina una buona efficienza dei corpi illuminanti. Al contrario, i globi sono equipaggiati, per la maggior parte, con le lampade ai vapori di mercurio da 125 W e con le lampade al sodio alta pressione da 110 W: in questo caso, alla scarsa efficienza delle sorgenti si abbina la scadente efficienza dei corpi.



Figura 43 – *Corpi illuminanti a campana*



Figura 44 – Globi trasparenti in via Venezia equipaggiati con lampade al sodio alta pressione da 110 W



Figura 45 – Globi trasparenti equipaggiati con lampade ai vapori di mercurio da 125 W

Si raccomanda la pulizia periodica di tutti i corpi illuminanti, che costituisce la prima misura di efficienza energetica degli impianti, peraltro a costo zero se svolta in coincidenza con l'intervento di manutenzione per il cambio lampade.

5.4 Valutazione dell'efficienza energetica

La Tabella 27 riepiloga i principali dati di consumo e costo energetico della pubblica illuminazione del Comune di Transacqua e riporta una serie di indici di efficienza energetica ed economica, utili al fine di valutare l'attuale livello di efficienza degli impianti. La valutazione avviene attraverso il confronto degli indici calcolati con valori statistici di riferimento, caratteristici di realtà simili al Comune di Transacqua in termini di dimensioni territoriali e numero di abitanti.

| Consumi e costi di esercizio | |
|--|------------------|
| Numero di punti luce | 866 |
| Potenza installata (lampade e alimentatori) | 84,5 kW |
| Consumo di energia elettrica | 397.000 kWh/anno |
| Prezzo di acquisto dell'energia (IVA incl.) | 0,13 €/kWh |
| Costo in bolletta | 52.000 €/anno |
| Costo di manutenzione | 17.000 €/anno |
| Costo totale di esercizio | 69.000 €/anno |
| Indici di efficienza energetica ed economica | |
| Ore equivalenti medie di accensione lampade | 4.700 ore/anno |
| Potenza installata media per punto luce | 98 W/p.l. |
| Consumo annuo medio per punto luce | 458 kWh/p.l. |
| Costo in bolletta annuo medio per punto luce | 60 €/p.l. |
| Costo di manutenzione annuo medio per punto luce | 20 €/p.l. |
| Costo totale di esercizio annuo medio per punto luce | 80 €/p.l. |

Tabella 27 – Sintesi dei dati di consumo e costo energetico e indici di efficienza

Le ore equivalenti medie di accensione delle lampade misurano il livello di regolazione degli impianti. Esse rappresentano il rapporto fra il consumo di energia elettrica degli impianti e la potenza totale installata: all'aumentare del grado di regolazione, le ore equivalenti si riducono, in quanto diminuisce il consumo a parità di potenza instal-

lata. Per gli impianti non soggetti ad alcuna regolazione (come nel caso specifico di Transacqua), le ore equivalenti sono elevate e coincidono con quelle effettive di accensione delle lampade. Per gli impianti con forte regolazione, le ore equivalenti ricadono nell'intorno di 4.000 e non coincidono più con quelle effettive.

Con le lampade al sodio alta pressione la regolazione degli impianti è affidata in genere ai riduttori di flusso di tipo centralizzato. Tali dispositivi, installati a monte delle linee, abbassano la tensione di alimentazione delle stesse, attenuando così il flusso luminoso emesso dalle lampade nelle ore centrali della notte: i consumi si riducono senza penalizzare la qualità del servizio offerto ai cittadini e, al contempo, aumenta la durata di vita delle lampade. L'impiego dei riduttori di flusso rappresenta una delle misure prioritarie di incremento dell'efficienza energetica del sistema della pubblica illuminazione.

La potenza installata media per punto luce è un indice dell'efficienza energetica del parco lampade: a parità di flusso emesso, maggiore è l'efficienza delle sorgenti luminose e minore è la potenza installata.

Valori nel range 110÷120 W/p.l. (incluse le perdite degli alimentatori) sono tipici di un'efficienza standard. Nel Comune di Transacqua l'uso di un numero significativo di lampade ad elevata efficienza (sodio alta pressione da 70 W) pone gli impianti di illuminazione pubblica al di sotto del range indicato. Le lampade a bassa efficienza, ancora presenti in misura contenuta sul territorio comunale, sono principalmente rappresentate da:

- vapori di mercurio da 80 W e 125 W: queste sorgenti si caratterizzano per la scarsa efficienza luminosa ($45 \div 50$ lm/W) e per la ridotta durata di vita (10.000 ore);
- sodio alta pressione da 110 W: all'interno della famiglia delle lampade al sodio, queste sorgenti sono nate per la sostituzione diretta delle lampade ai vapori di mercurio (senza la necessità di sostituzione degli alimentatori). Mentre l'efficienza luminosa standard delle lampade al sodio alta pressione si attesta nel range $90 \div 120$ lm/W, quella delle lampade da 110 W non supera i 75 lm/W.

I rimanenti indici in Tabella 27 (consumo e costo medio per punto luce) sono una diretta conseguenza di quelli già analizzati: un impianto avente un parco lampade efficiente con un buon grado di regolazione registra un basso consumo, una bolletta "leggera" e ridotti costi di manutenzione. Consumi nel range $400 \div 450$ kWh/p.l. e costi totali di esercizio nel range $75 \div 85$ €/p.l. sono tipici di un'efficienza standard. Consumi inferiori ai 400 kWh/p.l. e costi minori di 70 €/p.l. sono caratteristici di un'efficienza molto elevata. Il Comune di Transacqua rientra nell'efficienza standard grazie ad un parco lampade complessivamente efficiente: i suoi indici di consumo e costo possono essere ridotti operando soprattutto sulla regolazione degli impianti (attualmente assente) ed anche sulla sostituzione delle lampade ai vapori di mercurio ed al sodio da 110 W.

5.5 **Interventi di efficienza energetica**

5.5.1 *Descrizione degli interventi*

In questo capitolo si illustrano i possibili interventi tesi all'incremento dell'efficienza energetica degli impianti ed alla riduzione dei consumi e dei costi energetici.

Si sottolinea che il lavoro non può tener conto delle condizioni di dettaglio degli impianti, per valutare le quali sarebbe necessario un progetto specifico. Pertanto, tutte le valutazioni contenute in questo elaborato sono rivolte esclusivamente a fornire un'indicazione preliminare ed orientativa dei costi di investimento e dei risparmi energetici ed economici derivanti dai possibili interventi.

Si individuano due scenari di intervento alternativi l'uno all'altro e riguardanti la sostituzione delle lampade a bassa efficienza e la regolazione del flusso luminoso:

Lo scenario A prevede l'uso delle lampade a luce gialla sull'intero territorio comunale attraverso:

- la sostituzione di tutti i corpi illuminanti dotati di lampade ai vapori di mercurio (VM) con nuove armature cut-off dotate di lampade al sodio alta pressione (SAP). Le lampade VM da 80 W e da 125 W sono sostituite rispettivamente dalle lampade SAP da 50 W e da 70 W;
- la sostituzione di tutti i globi dotati di lampade SAP da 110 W in via Venezia con nuove armature cut-off dotate di lampade SAP da 70 W;

- l'installazione dei riduttori del flusso luminoso di tipo centralizzato per la regolazione di tutte le lampade al sodio alta pressione (nuove e già presenti).

Lo scenario B prevede l'impiego della luce bianca attraverso:

- la sostituzione di tutti i corpi illuminanti dotati di lampade ai vapori di mercurio (VM) con nuove armature cut-off a LED. Le lampade VM da 80 W e da 125 W sono sostituite rispettivamente da armature con 36 LED e 54 LED;
- la sostituzione di tutti i globi dotati di lampade SAP da 110 W in via Venezia con nuove armature cut-off a 54 LED;
- l'installazione dei riduttori del flusso luminoso di tipo centralizzato per la regolazione delle lampade al sodio alta pressione rimanenti sul territorio. La regolazione dei LED è di tipo puntuale, considerato che ciascuna armatura dispone di un apposito driver di pilotaggio della corrente di alimentazione.

In entrambi gli scenari la regolazione delle lampade prevede il loro funzionamento con flusso nominale per 2.200 ore/anno (pari in media a 6 ore/giorno) e con flusso ridotto per 2.500 ore/anno (pari in media a quasi 7 ore/giorno). Con riferimento alle modalità di regolazione, si prevede quanto segue:

- le linee con lampade al sodio alta pressione (in entrambi gli scenari) dispongono di regolatori del flusso luminoso di tipo centralizzato abbinati ad alimentatori ferromagnetici (quelli elettronici sono tecnicamente incompatibili con la riduzione centralizzata del flusso). Trattandosi di linee esistenti, che potreb-

bero presentare problemi di cadute di tensione, al fine di evitare spegnimenti o malfunzionamenti dei punti luce in coda alle linee stesse, l'attenuazione della potenza elettrica assorbita è prevista non superiore al 25%;

- le armature a LED (nello scenario B) sono equipaggiate con driver elettronici di pilotaggio, in grado di regolare l'emissione luminosa agendo direttamente sulla corrente di alimentazione dei LED. L'attenuazione della potenza elettrica assorbita è prevista non superiore al 45%.

Si sottolinea che tutti gli interventi elencati prevedono la sostituzione delle armature stradali (complete di lampade ed ausiliari) e non la sostituzione delle sole sorgenti luminose.

Le lampade al sodio alta pressione sono caratterizzate da una elevata efficienza luminosa ($90 \div 120$ lm/W), una lunga durata (intorno alle 30.000 ore) e un costo contenuto; per contro, queste sorgenti hanno un basso indice di resa cromatica ($20 \div 25$). Il loro utilizzo nel settore dell'illuminazione stradale è ormai consolidato e diffuso.

Diversamente l'impiego dei LED nella pubblica illuminazione è recente. Gli apparecchi illuminanti a LED, attualmente disponibili sul mercato, non presentano più le problematiche del passato, legate al controllo delle correnti e delle tensioni di alimentazione e delle temperature di lavoro. Ciò implica una buona affidabilità delle moderne armature a LED, il cui utilizzo, ormai consolidato nella viabilità pedonale, si sta trasferendo alla viabilità veicolare. Si evidenzia che i LED rappresentano sorgenti luminose fortemente regolabili. Un ulteriore

aspetto positivo ed estremamente importante dei LED consiste nella lunghissima durata di vita, almeno pari a 65.000 ore: dato che le lampade dell'illuminazione esterna restano accese 4.700 ore/anno, la vita dei LED è di quasi 14 anni. Ciò assicura un sensibile abbattimento degli interventi di manutenzione (comunque necessari per la periodica pulizia dei corpi illuminanti) e dei relativi costi.

Altro importante vantaggio dei LED deriva dalla norma UNI 11248 "Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche", che ha introdotto l'indice di resa cromatica tra i parametri di influenza, in grado di modificare la categoria illuminotecnica da attribuire alle strade. La norma consente il declassamento di una categoria nel caso in cui siano impiegate sorgenti luminose con indice di resa cromatica non inferiore a 60. Dal momento che le sorgenti a LED registrano indici di resa cromatica superiori a tale soglia, con esse è possibile declassare la strada e ciò implica l'installazione di potenze elettriche più basse ed il conseguimento di importanti risparmi energetici.

Un aspetto tecnico da non trascurare è rappresentato dalla temperatura di colore dei LED adottati. I LED a più alta efficienza (90 lm/W) emettono una luce bianco-fredda (temperatura di colore di 6.000 K). Per una luce bianco-neutra o bianco-calda si deve operare con temperature di colore (ed efficienze) più basse (3.000÷4.000 K).

Nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** a pagina seguente sono riportate le principali caratteristiche tecniche delle lampade per l'illuminazione pubblica messe a confronto in questo la-

voro (i valori del flusso e dell'efficienza luminosa sono relativi alle sole sorgenti e non ai corpi illuminanti nel loro complesso).

Nella Tabella compaiono anche le lampade agli ioduri metallici di ultima generazione, con bruciatore ceramico, caratterizzate da un indice di resa cromatica molto alto (80÷85), una temperatura di colore confortevolmente calda (2.800 K) ed un'efficienza elevata, in linea con quella delle lampade al sodio alta pressione (80÷90 lm/W). Queste lampade, però, hanno una durata di vita ridotta e costi elevati e necessitano di altrettanto costosi alimentatori elettronici dimmerabili per la regolazione. Tali lampade sono indicate per l'illuminazione di ambiti specifici; il loro uso diffuso e generalizzato sul territorio, pur valido dal punto di vista dell'efficienza energetica e della qualità della luce, non trova giustificazione economica.

5.5.2 Sintesi dei risultati degli interventi

Nel seguito si riepilogano i risultati degli interventi di efficienza energetica e si delinea il nuovo parco lampade degli impianti in funzione degli scenari descritti.

Nello scenario A (Figura 46) si prevede la sostituzione della lampade VM da 80 W e 125 W con lampade SAP da 50 W e 70 W e la sostituzione delle lampade SAP da 110 W con lampade SAP da 70 W (le percentuali indicate in Figura fanno riferimento al numero di lampade installate allo stato attuale e dopo gli interventi).

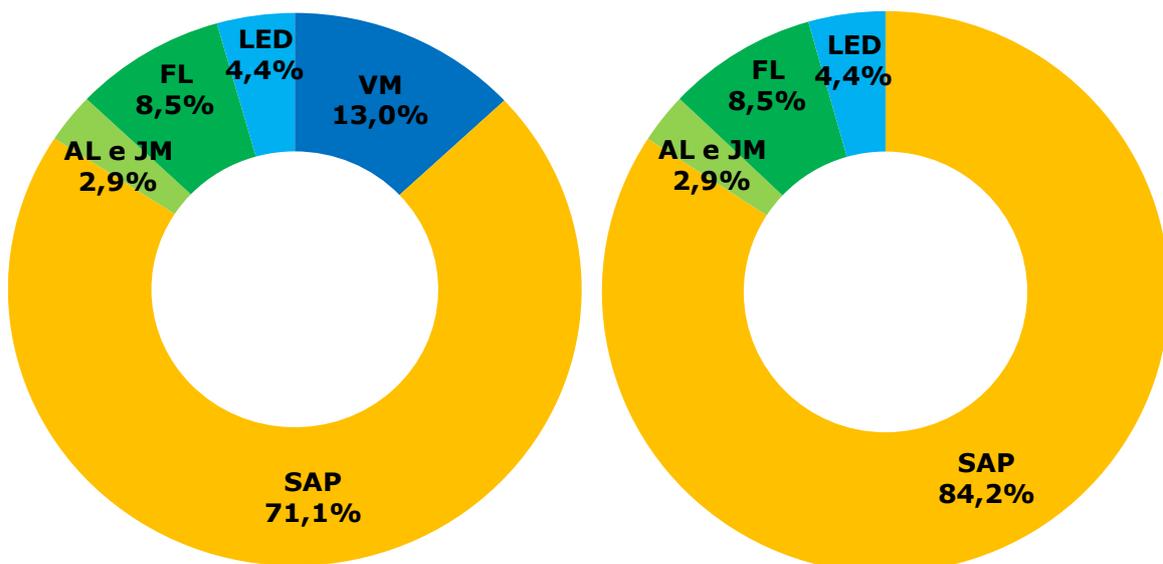


Figura 46 – Confronto fra il parco lampade attuale (a sinistra) e il nuovo parco lampade derivante dallo scenario A (a destra)

La Tabella 28 a pagina seguente mette a confronto i consumi e i costi di esercizio degli impianti allo stato attuale e nello scenario A.

L'investimento indicato comprende:

- la fornitura e la posa in opera delle nuove armature complete di lampade e di ausiliari;
- la fornitura e la posa in opera dei regolatori di flusso di tipo centralizzato;
- la rimozione e lo smaltimento delle armature sostituite.

Rispetto allo stato attuale degli impianti, il risparmio energetico derivante dallo scenario A è del 19% (75.500 kWh/anno) ed il risparmio economico sui costi di esercizio è del 18% (12.400 €/anno). Il costo di investimento ammonta a 124.000 € e il tempo di ritorno è pari a 10 anni.

| | Stato attuale | Scenario A | Risparmi |
|---|----------------|----------------|---------------|
| Numero di punti luce | 866 | 866 | --- |
| Potenza totale installata (kW) | 84,5 | 77,4 | 7,1 |
| Consumo elettrico (kWh/anno) | 397.000 | 321.500 | 75.500 |
| Costo in bolletta (€/anno) | 51.600 | 41.800 | 9.800 |
| Costo di manutenzione (€/anno) | 17.100 | 14.500 | 2.600 |
| Costo totale di esercizio (€/anno) | 68.700 | 56.300 | 12.400 |
| Costo di investimento (€) | --- | 124.000 | --- |
| Contributo PAT (€) | --- | 0 | --- |
| Costo al netto del contributo (€) | --- | 124.000 | --- |
| Tempo di ritorno (anni) | --- | 10,0 | --- |

Tabella 28 – Confronto tra lo stato attuale degli impianti e lo scenario A

Lo scenario B (Figura 47) prevede l'utilizzo delle lampade a LED in sostituzione delle lampade VM da 80 W e 125 W e delle lampade SAP da 110 W (le percentuali indicate in Figura fanno riferimento al numero di lampade installate allo stato attuale e dopo gli interventi).

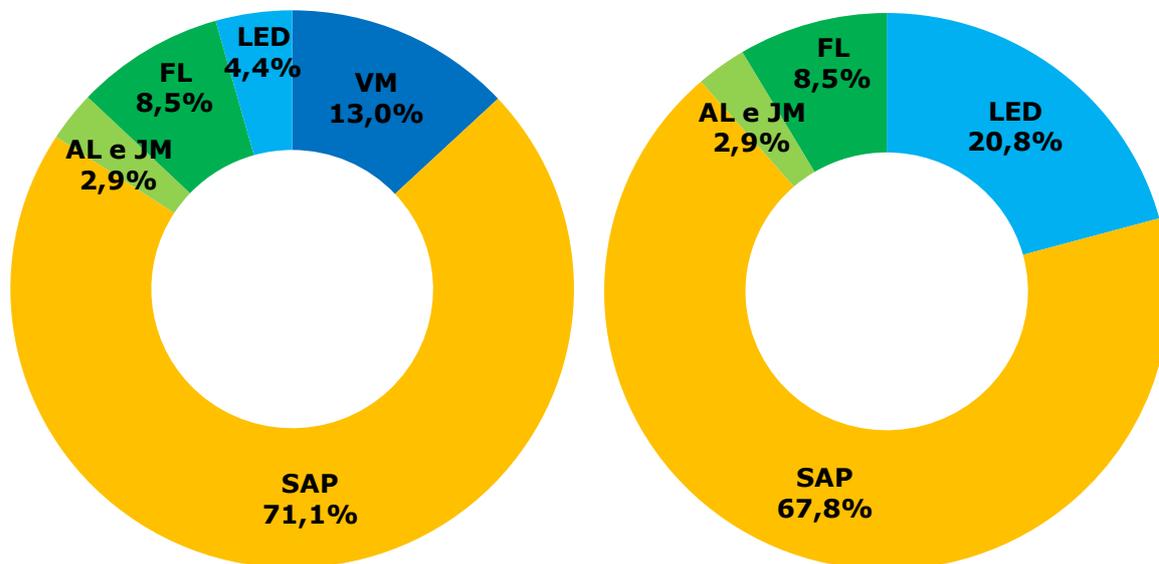


Figura 47 – Confronto fra il parco lampade attuale (a sinistra) e il nuovo parco lampade derivante dallo scenario B (a destra)

La Tabella 29 a pagina seguente mette a confronto i consumi e i costi di esercizio degli impianti allo stato attuale e nello scenario B.

L'investimento indicato comprende:

- la fornitura e la posa in opera delle nuove armature complete di lampade a LED e al sodio alta pressione e degli ausiliari;
- la fornitura e la posa in opera dei riduttori di flusso di tipo centralizzato per la regolazione delle lampade al sodio;
- la rimozione e lo smaltimento delle armature sostituite.

Rispetto allo stato attuale degli impianti, il risparmio energetico derivante dallo scenario B è del 22% (89.000 kWh/anno) e il risparmio economico sui costi di esercizio è del 23% (15.400 €/anno). Il costo di investimento ammonta a 189.000 € e il tempo di ritorno è pari a 12 anni.

| | Stato attuale | Stato futuro | Risparmi |
|---|----------------------|---------------------|-----------------|
| Numero di punti luce | 866 | 866 | --- |
| Potenza totale installata (kW) | 84,5 | 75,3 | 9,2 |
| Consumo elettrico (kWh/anno) | 397.000 | 308.000 | 89.000 |
| Costo in bolletta (€/anno) | 51.600 | 40.100 | 11.500 |
| Costo di manutenzione (€/anno) | 17.100 | 13.200 | 3.900 |
| Costo totale di esercizio (€/anno) | 68.700 | 53.300 | 15.400 |
| Costo di investimento (€) | --- | 189.000 | --- |
| Contributo PAT (€) | --- | 0 | --- |
| Costo al netto del contributo (€) | --- | 189.000 | --- |
| Tempo di ritorno (anni) | --- | 12,2 | --- |

Tabella 29 – Confronto tra lo stato attuale degli impianti e lo scenario B

La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** a pagina seguente illustra la variazione degli indici di efficienza energetica ed economica degli impianti derivante dalla realizzazione degli interventi proposti.

5.6 **Titoli di efficienza energetica**

I risparmi di energia primaria derivanti da interventi di efficienza energetica sono attestati dai Titoli di Efficienza Energetica (Certificati Bianchi), emessi dal Gestore del Mercato Elettrico (GME) sulla base delle indicazioni dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas (AEEG).

In particolare, il risparmio lordo di energia primaria derivante da un intervento di efficienza energetica è costituito dalla differenza fra il consumo di energia primaria prima della realizzazione dell'intervento stesso e il consumo dopo la realizzazione ed è espresso in Tonnellate Equivalenti di Petrolio (TEP). L'Autorità definisce i risparmi specifici lordi di energia primaria per diverse tipologie di interventi mediante apposite schede tecniche.

La scheda tecnica n. 17 riguarda l'utilizzo dei regolatori di flusso luminoso per le lampade ai vapori di mercurio e le lampade ai vapori di sodio ad alta pressione negli impianti adibiti ad illuminazione esterna: la scheda fissa il risparmio specifico lordo di energia per unità di potenza regolata in $0,1169 \cdot 10^{-3}$ TEP/anno/W (funzionamento del regolatore per 2.500 ore/anno e rapporto fra potenza ridotta e potenza nominale pari al 75%).

La scheda tecnica n. 18 riguarda la sostituzione delle lampade ai vapori di mercurio con le lampade al sodio ad alta pressione negli impianti di illuminazione pubblica. La scheda fissa il risparmio specifico lordo di energia primaria in funzione della potenza della lampada al sodio ad alta pressione: nel caso di una lampada installata da 70 W il

risparmio specifico lordo è di $38,1 \cdot 10^{-3}$ TEP/anno (la scheda non considera l'uso delle lampade al sodio alta pressione da 50 W e nemmeno quello dei LED).

Ad oggi il valore dei Titoli si può assumere pari a 90,0 €/TEP risparmiato e il periodo di concessione dei Titoli stessi è di 5 anni. Per ottenere i Titoli, gli interventi di efficienza energetica devono essere tali da garantire un risparmio minimo di 25 TEP/anno. Il valore dei Titoli è indicativo poiché soggetto a fluttuazioni di mercato: per questo motivo le analisi economiche degli investimenti nel presente lavoro non considerano questi profitti.

Gli interventi ipotizzati nello scenario A permettono il conseguimento dei seguenti risparmi di energia primaria valutati con i criteri esposti nelle schede:

- 5 TEP/anno per l'installazione delle lampade al sodio da 70 W;
- 8 TEP/anno per la regolazione delle lampade al sodio.

Il risparmio complessivo di energia primaria ammonta a 13 TEP/anno ed il ricavo derivante dai Titoli di Efficienza Energetica è pari a circa 1.200 €/anno (per 5 anni).

Non essendo ancora stata predisposta dall'Autorità una scheda dedicata ai LED nella pubblica illuminazione, lo scenario B non è preso in considerazione ai fini dei Titoli di Efficienza Energetica.

Si fa notare quanto segue:

- il risparmio energetico conseguibile nello scenario A dal Comune di Transacqua è inferiore alla soglia minima di 25 TEP/anno.

Considerato che il meccanismo dei Titoli prevede la cumulabilità di più interventi della stessa tipologia, i risparmi ottenuti da più Comuni del Primiero nella pubblica illuminazione potrebbero essere sommati per il superamento del limite, ai fini della richiesta dei Certificati Bianchi da parte della ESCo operante sul territorio;

- i Titoli, pur rappresentando un valido sistema di incentivazione delle misure di efficienza energetica, generano ricavi contenuti, tali da non modificare la sostenibilità economica degli interventi.

5.7 **Conclusioni**

Il lavoro evidenzia i margini di risparmio nel settore della pubblica illuminazione, conseguibili attraverso la sostituzione delle lampade e dei corpi illuminanti a bassa efficienza con sorgenti luminose ed armature ad alte prestazioni energetiche ed illuminotecniche e la regolazione del flusso.

Gli investimenti ed i risparmi variano in base alla tecnologia considerata.

Lo scenario A implementa l'uso delle lampade al sodio alta pressione e la loro regolazione di tipo centralizzato. Questa soluzione rappresenta uno standard dell'illuminazione pubblica e le lampade al sodio sono ormai una tecnologia consolidata e diffusa. I principali vantaggi di tali lampade sono costituiti dal basso costo, dall'elevata efficienza

e dalla lunga durata di vita; per contro, esse hanno un basso indice di resa cromatica (luce gialla).

Nello scenario A, a fronte di un investimento di 124.000 €, si conseguono risparmi energetici ed economici del 18-19%, tali da garantire il rientro del capitale in 10 anni (i risultati non tengono conto né di eventuali contributi da parte della Provincia né dei ricavi derivanti dai Certificati Bianchi).

Lo scenario B prevede l'impiego delle armature a LED, che costituiscono nel settore dell'illuminazione stradale una tecnologia recente, la cui diffusione è in costante crescita. I punti di forza dei LED sono rappresentati dalla durata di vita lunghissima, dalla facilità della regolazione punto-punto e dall'elevato indice di resa cromatica (luce bianca). Da non dimenticare che, proprio grazie all'alta resa cromatica, con i LED è possibile ridurre la classe illuminotecnica delle strade (secondo quanto disposto dalla norma UNI 11248), con conseguenti vantaggi in termini di risparmio energetico. Per contro, l'efficienza dei LED è alta solo nel caso di elevate temperature di colore (luce bianco-fredda); inoltre, i costi di investimento sono alti, anche se la regolazione puntuale "compresa nel prezzo" consente di risparmiare sull'acquisto dei regolatori di tipo centralizzato.

Nello scenario B, a fronte di un investimento di 189.000 €, si conseguono risparmi energetici ed economici del 22-23%: il rientro del capitale avviene in 12 anni (i risultati non tengono conto né di eventuali contributi da parte della Provincia né dei ricavi legati ai Certificati Bianchi).

5.8 Rilievo dei punti luce del comune
(aggiornamento: ottobre 2010)

| Via o posizione | Tipologia di corpo illuminante | Colore | Numero | Potenza (W) |
|--|--------------------------------|--------|--------|-------------|
| Centro storico Pieve | Lampione | Giallo | 62 | 70 |
| Salita L. Negrelli | Lampione | Giallo | 8 | 70 |
| Viale Piave (da Ingros a Cadorin) | Lampione | Giallo | 39 | 70 |
| Strada dietro B&B Villa Sole | A campana nuovo | Giallo | 3 | 70 |
| Via Sas Maor | A campana nuovo | Giallo | 4 | 70 |
| Via Lungo Canali | Lampione | Giallo | 24 | 70 |
| Via Foll (da Belvedere a Caminetto) | Boccia | Giallo | 28 | 70 |
| Via Foll | A campana | Giallo | 7 | 70 |
| Pedonale (da Belvedere a Lungocanali) | Boccia | Giallo | 5 | 70 |
| Via Forno | Boccia | Giallo | 3 | 70 |
| Via Forno | A campana | Giallo | 14 | 70 |
| Strada Castel Pietra (fino a casa Aurelio) | A campana | Giallo | 6 | 70 |
| Via Miramonti | A campana | Giallo | 25 | 70 |
| Via Sanguarna | A campana | Giallo | 25 | 70 |
| Via della Cava | A campana | Giallo | 14 | 70 |
| Centro storico Ormanico | A campana | Giallo | 12 | 70 |
| Via Scalette | A campana | Giallo | 9 | 70 |
| Via A. Tissot | A campana | Giallo | 5 | 70 |
| Via Giude Alpine | A campana | Giallo | 11 | 70 |
| Piazza Municipio e via Risorgimento | A campana | Giallo | 29 | 70 |
| Via Don Nicoletti | A campana | Giallo | 14 | 70 |
| Via S. Marco | A campana | Giallo | 19 | 70 |
| Piazza Chiesa | A campana | Giallo | 8 | 70 |

| Via o posizione | Tipologia di corpo illuminante | Colore | Numero | Potenza (W) |
|---|--------------------------------|--------|--------|-------------|
| Giardino Pieve (Iisiera) | Lampioncino risp. energetico | Bianco | 8 | 7 |
| Parcaggio Chiesa | LED | Bianco | 38 | 9,27 |
| Passerella legno (scuola superiore) | Lampioncino risp. energetico | Bianco | 10 | 17 |
| Strada Campetti | Lampioncino risp. energetico | Bianco | 17 | 17 |
| Strada Campagna | Lampioncino risp. energetico | Bianco | 18 | 17 |
| Illuminazione Chiesa | Faretto rasoterra | Bianco | 21 | 20 |
| Via Molaren (fino al confine con Mezzano) | Lampione vecchio | Bianco | 18 | 80 |
| Illuminazione Chiesa (campanile) | Faro su campanile | Bianco | 4 | 100 |
| Case ITEA | Boccia | Bianco | 8 | 110 |
| Via S. Rocco (posteggio ospedale) | Boccia | Bianco | 10 | 125 |
| Via Orti | Boccia | Bianco | 6 | 125 |
| Strada sotto ricovero | Lampione vecchio | Bianco | 2 | 125 |
| Giardino delle rose | Lampione vecchio | Bianco | 13 | 125 |
| Via Scamorzi | Corpo vecchio | Bianco | 5 | 125 |
| Via Caltene | Corpo vecchio | Bianco | 11 | 125 |
| Via Caltene | Boccia | Bianco | 10 | 125 |
| Via Miniere | Boccia | Bianco | 17 | 125 |
| Via Bellavista | Boccia | Bianco | 10 | 125 |
| Via Bersaglieri | Boccia | Bianco | 11 | 125 |
| Casa Comune Isolabella | Faro | Bianco | 2 | 250 |
| Ciclabile | Lampione | Giallo | 22 | 70 |
| Stradina Cadarin | Lampione | Giallo | 4 | 70 |
| Viale Marconi | Lampione | Giallo | 10 | 70 |

| Via o posizione | Tipologia di corpo illuminante | Colore | Numero | Potenza (W) |
|--------------------------------------|--------------------------------|--------|--------|-------------|
| Via S. Antonio | A campana | Giallo | 15 | 70 |
| Via G. Zecchini | A campana | Giallo | 10 | 70 |
| Via Scamorzi | A campana | Giallo | 4 | 70 |
| Via Navoi | A campana | Giallo | 35 | 70 |
| Via Clarofonte | A campana nuovo | Giallo | 4 | 100 |
| Passo Cereda | A campana | Giallo | 8 | 100 |
| Via Venezia | Boccia | Giallo | 29 | 110 |
| Via Boiola | Boccia | Giallo | 2 | 125 |
| Centro storico Pieve | Faro | Giallo | 2 | 150 |
| Viale Pieve (da Ingros a Caseificio) | A campana nuovo grande | Giallo | 14 | 150 |
| Bretella | A campana nuovo grande | Giallo | 15 | 150 |
| Via delle Fonti | A campana nuovo grande | Giallo | 34 | 150 |
| Da p.zza S. Marco a ponte Transacqua | A campana nuovo grande | Giallo | 30 | 150 |
| Viale Pieve (strisce pedonali) | Faro | Giallo | 4 | 200 |
| Macello | Faro | Giallo | 1 | 200 |
| Cappella cimitero Pieve | Faro | Giallo | 1 | 250 |
| Municipio | Faro | Giallo | 3 | 250 |
| Asilo Transacqua | Faro | Giallo | 1 | 250 |
| Piazza Don Nicoletti | Faro | Giallo | 1 | 250 |
| Oratorio Pieve e asilo | Faro | Giallo | 4 | 500 |

CAPITOLO 6 IL PIANO COMUNALE DI EFFICIENZA ENERGETICA GESTITO CON SISTEMA WEB-GIS

6.1 Introduzione

Il servizio implementato per l'Amministrazione Comunale di Transacqua è uno strumento innovativo per la gestione energetica ed ambientale degli edifici pubblici, che consente di effettuare una mappatura dei consumi energetici degli edifici pubblici esistenti e di predisporre, attraverso la diagnosi energetica effettuata, un piano di riqualificazione energetica degli stessi; è supportato da uno strumento informatico di eccellenza, basato su tecnologia web-gis che armonizza e valorizza tutte le prestazioni previste. Le informazioni ricavate vengono utilizzate per:

- avere un quadro conoscitivo completo della situazione energetica del patrimonio immobiliare comunale;
- programmare interventi di riqualificazione energetica degli edifici;
- ottenere in maniera immediata una stima dei costi e dei benefici relativa a tali interventi;
- gestire i dati, anche al fine del rilascio della certificazione energetica e della targa energetica dell'edificio, attraverso procedure informatizzate di eccellenza.

6.2 **Il progetto**

Lo scopo è stato quello di realizzare una catalogazione energetica degli edifici pubblici tramite uno strumento informatico armonizzato con la cartografia di P.R.G. Per questo motivo il servizio si occupa di recuperare i dati presenti sul territorio e riordinarli in un sistema informativo territoriale completo. Risulta innovativo il sistema di creazione di un servizio di webGIS liberamente accessibile, veloce e che garantisce nel breve periodo la creazione indipendente di un Catasto Energetico Integrato ad uso della pubblica Amministrazione.

Il prodotto prevede un sistema innovativo nella creazione del database: non vi è bisogno d'intervenire con le sole rilevazioni dirette, ma si costituisce anche attraverso le procedure connesse alle Concessioni Edilizie. In questo modo si assiste alla formazione di un vero Catasto Energetico Integrato destinato specificatamente al patrimonio edilizio ed impiantistico pubblico del comune di Transacqua.

6.3 **Caratteristiche tecniche**

Il Catasto Energetico Integrato è uno strumento webGIS, un sistema informativo computerizzato che permette l'acquisizione, la registrazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione di informazioni derivanti da dati geografici caratterizzati da singolarità specifiche. Nel nostro caso le caratteristiche energetiche degli edifici mappati, interrogabili poi anche attraverso schede di database. SIT è l'acronimo italiano di Sistema Informativo Territoriale; la traduzione inglese Geographical Information System, GIS. Il GIS è differente dal

DBMS (o Database Management System), in quanto si occupa essenzialmente dell'elaborazione e manipolazione dei dati georeferenziati, che a loro volta possono essere memorizzati in un DBMS o in singoli file.

Per la rappresentazione dei dati in un sistema informatico occorre formalizzare un modello rappresentativo flessibile che si adatti ai fenomeni reali. Nel GIS abbiamo tre tipologie di informazioni:

- Geometriche: relative alla rappresentazione cartografica degli oggetti rappresentati; quali la forma (punto, linea, poligono), la dimensione e la posizione geografica;
- Topologiche: riferite alle relazioni reciproche tra gli oggetti (connessione, adiacenza, inclusione ecc...);
- Informative: riguardanti i dati (numerici, testuali ecc...) associati ad ogni oggetto.

Il GIS prevede la gestione di queste informazioni in un database relazionale. L'aspetto che caratterizza il GIS è quello geometrico: esso memorizza la posizione del dato impiegando un sistema di proiezione reale che definisce la posizione geografica dell'oggetto. Il GIS gestisce contemporaneamente i dati provenienti da diversi sistemi di proiezione e riferimento.

Sono detti WebGIS i sistemi informativi geografici (GIS) pubblicati su web. Un WebGIS è quindi l'estensione al web degli applicativi nati e sviluppati per gestire la cartografia numerica. Un progetto WebGIS si

distingue da un progetto GIS per le specifiche finalità di comunicazione e di condivisione delle informazioni con altri utenti.

Con i WebGIS le applicazioni GIS tradizionalmente sviluppate per utenze stand-alone o in ambienti LAN possono essere implementate su web server (anche detto map-server) consentendo l'interazione attraverso internet con la cartografia e con i dati ad essa associati. Gli esempi più noti di WebGIS sono gli applicativi web per la localizzazione cartografica, gli stradari oppure gli atlanti on-line. Le applicazioni WebGIS sono utilizzabili attraverso i browser internet, talvolta con l'impiego di specifici plugin, oppure per mezzo di software distinti come nel caso del popolare Google earth.

Le informazioni, che siano esse territoriali, geografiche o socio-economiche, hanno avuto in passato come principale supporto quello cartaceo: la mole dei dati e l'impossibilità di una loro sovrapposizione a fine di analisi, ha reso questo supporto obsoleto per una serie di operazioni come il monitoraggio o l'amministrazione territoriale.

Le componenti principali di un WebGIS possono essere riassunte in:

- hardware
- software
- procedure applicative
- banche dati
- persone

In linea generale, non considerando le eccezioni dei singoli casi, l'hardware del lato server è composto dal server Web, cioè la mac-

china che permette la connessione dei vari terminali, dai firewall di rete, dai Server DataBase, per contenimento delle informazioni, dal Server Map, macchina che permette la produzione delle mappe, dai cablaggi di rete ad alta velocità; nel lato client può essere presente invece il Web Browser, terminale per la visualizzazione del servizio o palmari per utenti mobili.

6.4 **Gli elementi di innovatività**

Il webGis proposto in termini di Catasto Energetico vuole perfezionarsi con una procedura integrata di strutturazione del database, per questo motivo viene nominato come Catasto Energetico Integrato (C.E.I.). Innovativo non risulta solamente lo strumento proposto, webGIS, ma anche la procedura con la quale si perverrà al risultato di creazione del database. Alla tradizionale gestione e pubblicazione del dato cartografico, sarà infatti garantita la "mappatura" di tutto il patrimonio edilizio pubblico. Il livello d'intervento proposto andrà ad interagire direttamente con le procedure di Concessione Edilizia, che in questo caso riguarderanno il patrimonio immobiliare ed impiantistico pubblico, analizzato tramite il Piano di efficienza energetica. In questo modo, già nel breve periodo, si avrà la formazione di un ampio flusso di dati energetici. Si vuole evidenziare come queste procedure non comportino un aumento significativo di attività delle Amministrazioni Comunali o dei progettisti e di come il servizio potrà offrire e supportare nuovi metodi di comunicazione. Questi dati, oltre a servire le Amministrazioni, potranno essere riutilizzati dai vari sog-

getti operanti nel mercato edilizio. Il dato cartografico potrà essere legato alle reti di certificatori, e agli interventi dei singoli progettisti. La struttura dell'applicativo potrà presentare livelli multipli di accesso al dato e garantire la formazione di nuovi servizi simili a dei Social Network.