

**POLITECNICO DI MILANO**

**Facoltà di Ingegneria Industriale e dell'informazione**

**Corso di Laurea in Ingegneria Energetica**



**Interventi di ristrutturazione e analisi delle soluzioni  
per il risparmio energetico in ambito residenziale**

Relatore: Prof. Roberto Sebastiano FARANDA

Tesi di Laurea di:  
Jonathan LEONI  
Matricola 789243

Anno Accademico 2015 / 2016

# Indice

	<b>Introduzione</b>	<i>pag.3</i>
<b>1.</b>	<b>Capitolo 1: Climate change</b>	<i>pag.6</i>
1.1	Trattati internazionali ed europei per la salvaguardia del cambiamento climatico	<i>pag.6</i>
1.2	La strategia italiana sul miglioramento dell'efficienza energetica	<i>pag.13</i>
1.3	Focus sul panorama degli edifici italiani in ambito residenziale	<i>pag.18</i>
<b>2.</b>	<b>Capitolo 2: Case-study</b>	<i>pag.21</i>
2.1	Caratterizzazione dell'abitazione oggetto dell'intervento	<i>pag.21</i>
2.2	Riferimenti dei calcoli	<i>pag.25</i>
2.3	Calcolo delle dispersioni	<i>pag.29</i>
2.3.1	<i>Componenti opache (pareti)</i>	<i>pag.30</i>
2.3.2	<i>Elementi opachi (porte)</i>	<i>pag.32</i>
2.3.3	<i>Elementi trasparenti (finestre)</i>	<i>pag.33</i>
2.3.4	<i>Copertura orizzontale sottotetto</i>	<i>pag.35</i>
2.3.5	<i>Copertura orizzontale tetto</i>	<i>pag.36</i>
2.3.6	<i>Pavimentazione su terra</i>	<i>pag.39</i>
2.4	Calcolo della potenza termica totale dispersa dall'involucro	<i>pag.41</i>
<b>3.</b>	<b>Capitolo 3: Proposta delle soluzioni</b>	<i>pag.47</i>
3.1	Intervento riguardante l'inserimento di un cappotto esterno	<i>pag.47</i>
3.2	Intervento riguardante la sostituzione degli infissi	<i>pag.51</i>
3.3	Intervento riguardante l'adeguamento della copertura orizzontale con confronto soluzione isolamento tetto o sottotetto.	<i>pag.53</i>
3.4	Considerazioni finali sugli interventi effettuati	<i>pag.55</i>
3.5	Calcolo del fabbisogno energetico annuale	<i>pag.59</i>

3.6	Tempi di break-even degli investimenti	<i>pag.61</i>
3.7	Analisi comparata del fabbisogno per zona climatica	<i>pag.65</i>
<b>4.</b>	<b>Capitolo 4: Proposta di soluzioni per il soddisfacimento del fabbisogno termico.</b>	<i>pag.68</i>
4.1	Situazione dell'impianto di riscaldamento esistente	<i>pag.68</i>
4.2	Soluzione 1: caldaia a condensazione	<i>pag.69</i>
4.3	Soluzione 2: pompa di calore ibrida	<i>pag.74</i>
4.4	Soluzione 3: pompa di calore con impianto fotovoltaico	<i>pag.78</i>
4.5	Considerazioni finali sulle soluzioni ipotizzate	<i>pag. 81</i>
<b>5.</b>	<b>Capitolo 5: Conclusioni</b>	<i>pag.83</i>
	<b>Riassunto delle figure e delle tabelle</b>	<i>pag.85</i>
	<b>Bibliografia</b>	<i>pag.88</i>

## Introduzione

Il risparmio energetico svolge, al giorno d'oggi, un ruolo chiave all'interno dei processi destinati alla riduzione degli inquinanti e alla diminuzione del fabbisogno termico di un immobile. L'elaborato tratterà ampiamente questo tema molto complesso che abbraccia svariati campi che passano da quello ambientale a quello puramente economico fino a toccare anche quello politico. Nel mondo contemporaneo il risparmio energetico sta assumendo sempre maggiore rilevanza in quanto il continuo moltiplicarsi di utenze energivore sta portando ad un utilizzo sfrenato e irrazionale delle risorse fossili, principali antagonisti del mantenimento di condizioni ambientali sostenibili.

Purtroppo nemmeno lo sviluppo delle energie rinnovabili e del nucleare sta riuscendo a sopperire l'ingente richiesta di energia. Per porre un freno ai consumi si stanno perseguendo molte strade. L'Unione Europea sta rivolgendo il proprio interesse ad una riqualificazione delle risorse già presenti sul territorio, in particolar modo il tema del risparmio energetico residenziale sembra essere uno dei più interessanti.

Come sottolinea Norbert Lantschner<sup>1</sup> nel corso di un seminario edilizio tenutosi a Milano dal titolo "Innovare l'Involucro", oggi l'edilizia è responsabile di circa il 40% del consumo di energia e di un terzo delle emissioni di anidride carbonica. Questo dato induce a pensare che oramai essa rappresenti uno dei settori chiave per lo sviluppo sostenibile e per una crescita intelligente nei prossimi decenni.

La sfida energetica di questi ultimi anni si pone infatti due principali obiettivi: efficientare maggiormente le tecnologie a fonte rinnovabile attualmente disponibili e riuscire a dotare le strutture già presenti sul territorio di materiali innovativi che garantiscano prestazioni migliori rispetto a quelli usati. Citando le parole del presidente della fondazione ClimAbita, c'è bisogno del "coinvolgimento e della partecipazione dell'intera società civile. Senza questa presa di coscienza collettiva, siamo condannati a operare sempre e solo in nicchie, che da sole non possono risollevare il settore dell'edilizia".

---

<sup>1</sup> Norbert Lantschner, riconosciuto esperto nel campo delle tematiche ambientali, nasce nel 1956 a Sarentino (BZ). Ha diretto l'ufficio Aria e Rumore occupandosi di problematiche d'inquinamento dell'aria da rumore e di protezione del clima. Creatore e promotore del progetto CasaClima viene invitato a Montreal nel 2005, alla Conferenza Internazionale del Clima delle Nazioni Unite e a Stoccolma, nel gennaio 2007 durante il workshop di Natural Step. In aggiunta al progetto CasaClima crea la fondazione ClimAbita col fine di sviluppare e promuovere una nuova cultura del vivere e del costruire sostenibile.

Lo scopo del presente lavoro consiste nel descrivere un caso reale di ristrutturazione di un immobile dove, partendo dal calcolo della potenza dispersa e del fabbisogno, vengono presentate delle proposte mirate alla diminuzione del consumo.

La struttura del lavoro si articola nel seguente modo:

- Nel primo capitolo viene brevemente trattato il tema del risparmio energetico, riepilogando le tappe percorse e focalizzandosi sugli obiettivi e sulle soluzioni che saranno adottate nei prossimi anni a livello mondiale, europeo e italiano. Infine si pone particolare attenzione all'aspetto residenziale italiano, presentando l'attuale situazione dal punto di vista dei consumi energetici.
- Nel secondo capitolo viene analizzato un case-study. Partendo da una caratterizzazione dal punto di vista geografico e termico dell'edificio, verranno dedotte alcune informazioni essenziali su cui si baserà lo studio. Nel corpo centrale del secondo capitolo viene inoltre riportata un'analisi dei calcoli svolti sulla struttura valutando le dispersioni per elemento e presentando un report finale sulle percentuali di consumo.
- Nel capitolo successivo vengono confrontate delle possibili soluzioni per il miglioramento dell'involucro; in particolare dopo, aver presentato brevemente i materiali teorizzati, viene svolto un confronto sulle trasmittanze e sulle dispersioni pre e post-intervento. Infine viene svolta un'analisi comparativa di affidabilità e di rapporto costi-benefici delle diverse soluzioni, con particolare attenzione all'aspetto finanziario e al tempo di pay-back stimato dell'investimento.
- Nel quarto capitolo viene eseguita un'analisi del ventaglio delle tecnologie odierne disponibili con relativa spiegazione del loro funzionamento e una valutazione del loro grado di efficienza. Questa presentazione comprende un'analisi del costo di ciascuna tecnologia, della stima dei consumi che vengono a modificarsi nel caso di sostituzione del generatore di calore e con riferimento ai tempi di rientro nell'investimento (tenendo conto della detrazione fiscale vigente).
- Nel quinto capitolo si riassumono brevemente le proposte e si conclude con nota personale sulla necessità di intervento comune a tutti i casi simili presenti sul territorio.

# 1 Climate change

## 1.1 *Trattati internazionali ed europei per la salvaguardia del cambiamento climatico*

Verso la fine del primo millennio, dopo che l'IPCC<sup>2</sup> ha stilato un bilancio sulla situazione di produzione e di consumo delle risorse a livello mondiale, si è concordato che lo sfruttamento delle fonti fossili, in modo totalmente privo di controllo, non rappresentava una situazione a lungo sostenibile.

Il quadro presentato nel 1990, in occasione della seconda Conferenza Mondiale sul Clima, ha proposto una panoramica sul cambiamento climatico, sul suo impatto ambientale, sociale ed economico e sulle possibili strategie di risposta.

Il rapporto ha confermato il legame del fenomeno con le attività umane, identificando due cause principali responsabili del cambiamento: le emissioni di gas serra, dovute all'utilizzo di combustibili fossili e la riduzione sempre crescente di foreste, principali serbatoi di carbonio del pianeta.

Nel 1997 viene quindi firmato un trattato che regola i consumi delle risorse in maniera razionale. Tale trattato è conosciuto sotto il nome di Protocollo di Kyoto, in quanto è stato sottoscritto per la prima volta durante la Conferenza sulle parti di Kyoto (COP3), ma è entrato effettivamente in vigore solo nel 2005 dopo la sottoscrizione da parte della Russia. Affinché entrasse in vigore, si era infatti stabilito che almeno 55 Nazioni lo ratificassero, e che le sottoscriventi rappresentassero non meno del 55% dei produttori di emissioni serra globali di origine antropica. Questo obiettivo è stato raggiunto proprio grazie alla firma russa.

Come si può notare dall'immagine (figura 1), gli Stati Uniti, nonostante rappresentino uno tra i maggiori stati responsabili del cambiamento climatico attuale, non sono entrati a far parte della rosa degli stati favorevoli. L'economia americana, basata sull'incessante produzione industriale, subirebbe infatti un rallentamento a seguito della diminuzione dei ritmi di produzione responsabili delle emissioni di gas serra.

---

2 L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) è nato nel 1988 per volontà dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale e dell'UNEP (United Nations Environment Programme) come gruppo intergovernativo indipendente che si propone lo scopo di informare l'opinione pubblica e i politici sui progressi in atto nella ricerca sul fenomeno del cambiamento climatico e valutarne la pericolosità e le conseguenze a cui può portare.

Appare chiaro come il disinteresse statunitense renda meno attuabile un piano internazionale di tale livello e ciò comporti un ridimensionamento negativo degli sforzi intrapresi dalle altre nazioni.

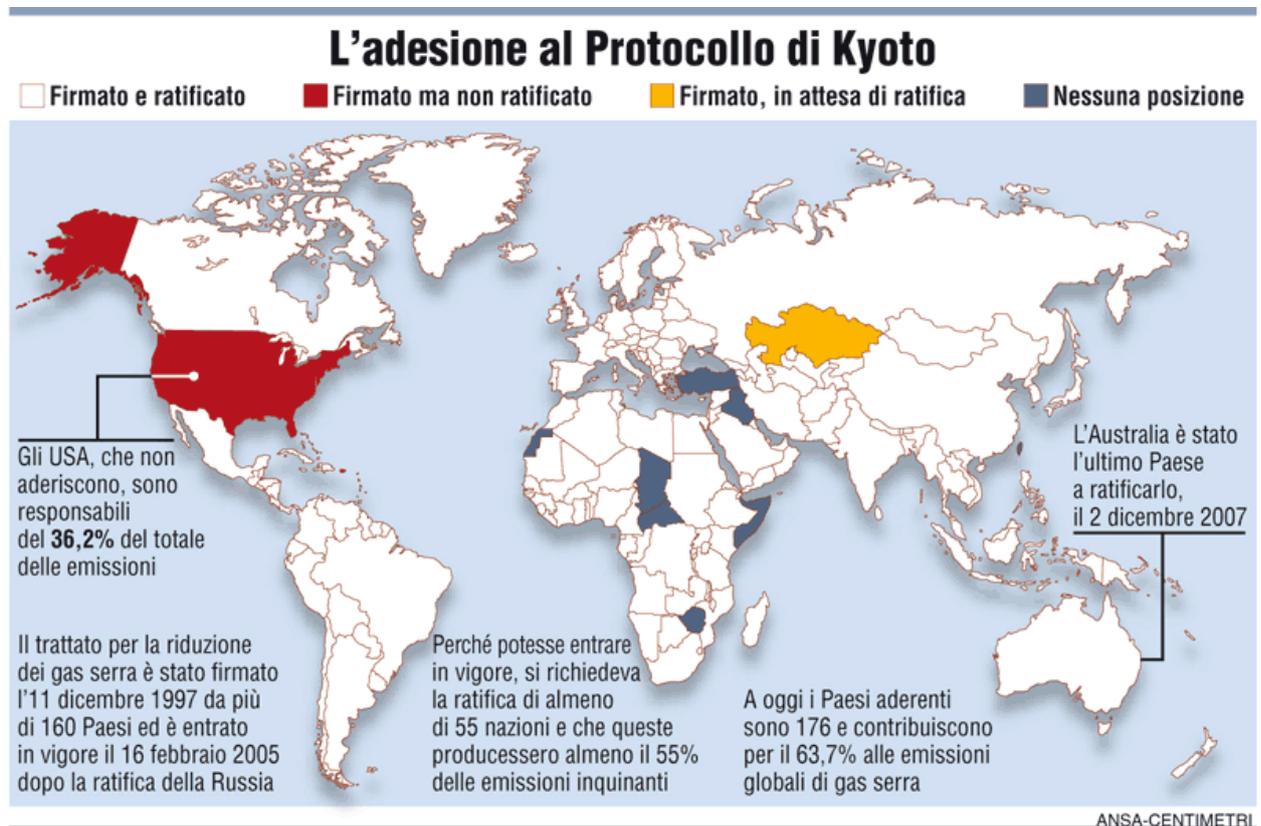


Figura 1: Adesioni al trattato di Kyoto

Il trattato di Kyoto fissa le linee guida generali per la riduzione delle emissioni inquinanti i cui maggiori responsabili vengono identificati nei paesi già economicamente sviluppati. Esso prevedeva, nel periodo compreso tra il 2008 e il 2012, una riduzione delle sostanze inquinanti in una misura non inferiore al 5,2% rispetto alle emissioni registrate nel 1990. Gli obblighi erano riferiti solamente ai paesi industrializzati ai quali veniva chiesto un “meccanismo di sviluppo pulito”, ovvero un sistema che di fatto permettesse di trattare le emissioni come un bene che può essere scambiato. Per meglio chiarire questo concetto ad esempio, un’azienda attiva in un paese industrializzato con vincoli sui gas serra, poteva farsi carico della realizzazione di progetti per la riduzione delle emissioni in paesi in via di sviluppo, dove non sono applicate le limitazioni. In questo modo i paesi più poveri potevano avere accesso da subito a tecnologie più moderne e meno inquinanti, mentre le aziende dei paesi sviluppati potevano ottenere crediti sulle emissioni per bilanciare le loro produzioni inquinanti<sup>3</sup>. Ai paesi in via di sviluppo non erano imposte delle

<sup>3</sup> Riferimento: Articolo del “Il Post”, 10 anni di protocollo di Kyoto, 16 febbraio 2015.

limitazioni così stringenti in primo luogo, per non rischiare di limitarne lo sviluppo economico e secondariamente poiché non possedevano ancora né le conoscenze né le risorse per l'installazione di tecnologie ecosostenibili ai livelli delle nazioni già affermate. L'impegno richiesto riguardava più che la riduzione delle emissioni, la necessità di destinare risorse finanziarie allo sviluppo di tecnologie ad energia pulita e di impegnarsi nel futuro in tale direzione rispetto alle fonti fossili.

Per perseverare negli impegni assunti con il protocollo di Kyoto, nel 2012 si decise di avviare una seconda fase che portasse ad una nuova serie di impegni per i paesi partecipanti con scadenza nel 2020. Il documento redatto venne chiamato "Emendamento Doha<sup>4</sup>", dal nome della capitale del Qatar, dove è stato discusso. Tuttavia questo impegno fu un completo fallimento, in quanto i maggiori responsabili delle emissioni globali tra i quali Stati Uniti, Canada, Cina, Giappone, Russia e Nuova Zelanda decisero di non aderire.

Un passo importante per l'Europa fu costituito dal "pacchetto clima-energia 20-20-20" nato per dare continuità agli impegni presi con il Protocollo di Kyoto e proposto durante la Conferenza di Copenaghen (COP15). Esso venne però bocciato da USA e Cina per le stesse motivazioni che avevano spinto il colosso statunitense a non aderire precedentemente al protocollo di Kyoto. Anche senza supporto degli stati extraeuropei, l'UE decise unilateralmente di acconsentire a tre principali obiettivi, fissati con scadenza 2020:

- Ridurre del 20% la quota delle emissioni dei gas serra.
- Portare al 20% il risparmio energetico.
- Aumentare al 20% almeno il consumo delle risorse rinnovabili.

Il pacchetto, nel suo insieme, fa riferimento a sei proposte legislative riguardanti i seguenti temi:

1. Il sistema di scambio delle emissioni di gas a effetto serra (ETS).
2. La ripartizione degli sforzi per ridurre le emissioni.
3. La cattura e stoccaggio geologico del biossido di carbonio.
4. L'accordo sulle energie rinnovabili.
5. La riduzione della CO2 da parte delle auto.
6. La riduzione dei gas a effetto serra nel ciclo di vita dei combustibili.

---

<sup>4</sup> Istituisce un secondo periodo di impegni vincolanti dal 1° gennaio 2013 al 31 dicembre 2020 che impegna le parti a limitare le emissioni medie annue di gas serra all'80% della somma delle emissioni totali dell'anno di riferimento.

L'ultimo passo è stato compiuto a Parigi, durante la XXI Climate Change Conference, apertasi il 30 Novembre 2015 e conclusasi due settimane dopo. L'importanza dell'accordo è data dal fatto che è stato sottoscritto da tutti i paesi partecipanti (in totale 195), anche da quelli emergenti, che spesso sfruttano pesantemente fonti di energia non rinnovabile. L'accordo consta sostanzialmente di quattro impegni:

1. Mantenere l'aumento di temperatura inferiore ai 2 gradi, e compiere sforzi per mantenerlo entro 1,5 gradi.
2. Fermare l'incremento delle emissioni di gas serra nel minore tempo possibile e raggiungere nella seconda parte del secolo il momento in cui la produzione di nuovi gas serra sarà sufficientemente bassa da essere assorbita naturalmente.
3. Controllare i progressi compiuti ogni cinque anni, tramite nuove Conferenze.
4. Versare, ogni anno, 100 miliardi di dollari ai paesi più poveri per aiutarli a sviluppare fonti di energia meno inquinanti.

Di queste disposizioni alcune sono legalmente vincolanti, ad esempio l'obbligo di fornire l'obiettivo di riduzione delle emissioni fissato e la partecipazione al processo di revisione quinquennale. La maggiore critica avanzata al documento riguarda il fatto che non sono previste sanzioni nel caso in cui gli obiettivi non vengano raggiunti, dunque diversi paesi avranno margine per ignorare le raccomandazioni contenute nel documento.

Dopo aver analizzato gli accordi sul clima che sono stati presi a livello internazionale nel corso degli ultimi decenni, si è posta l'attenzione sugli scenari futuri che potranno realizzarsi. Nella figura sottostante (figura 2) sono presentati quattro possibili situazioni che si differenziano per le diverse concentrazioni di CO<sub>2</sub> nell'aria espresse in ppm. L'andamento di ciascuno scenario è direttamente influenzato dall'impegno preso da ciascuno Stato nel rispettare i limiti di emissioni espressi dai trattati internazionali.

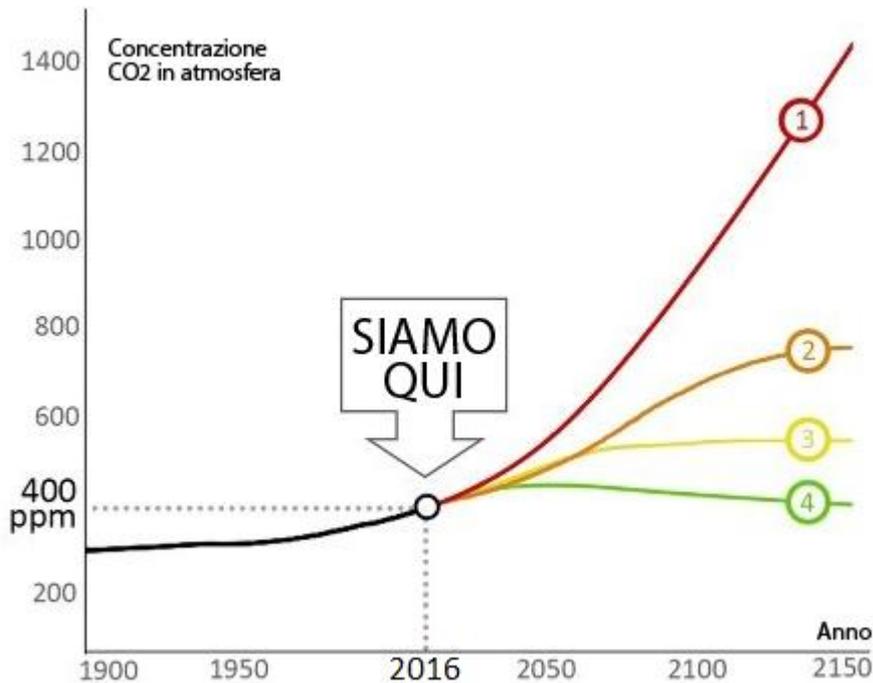


Figura 2: Scenari possibili legati all'aumento di CO2 nella nostra atmosfera pubblicato da Climate Nexus

### SCENARIO 1 – NESSUNA AZIONE

Rappresenta il conseguimento della situazione attuale, ovvero la mancanza di misure adeguate al problema che si ha di fronte. L'impatto di tale scelta non è pienamente prevedibile ma potrebbe avere, nell'arco di un secolo, effetti catastrofici. In questo scenario la crescita economica e industriale di tutti i paesi avviene in modo rapido ma incontrollato, e la produzione dei gas serra raggiunge i valori maggiori tra quelli ipotizzati dalle varie alternative. L'innalzamento della temperatura media che ne deriva (oltre i 6°C) provoca uno scioglimento quasi completo dei ghiacciai innescando un innalzamento del livello del mare di 20-30 cm. Gli effetti sulla flora divengono irreversibili così come il completo sbilanciamento della catena alimentare marina.

### SCENARIO 2 – AZIONE RITARDATA

La concentrazione di CO<sub>2</sub> in atmosfera supera 700 ppm con un aumento della temperatura media di 4,5 °C. Alcune specie di flora e fauna, che non sopportano un aumento di temperatura così elevato, si estinguono. Molte aree diventano non abitabili in quanto verranno ridotte in aree desertificate non coltivabili, mentre altre saranno soggette a piogge incessanti.

### SCENARIO 3 – AZIONE PARZIALE

Nello scenario tre si prospetta un'azione parziale a livello mondiale che arresta la concentrazione di CO<sub>2</sub> a 550 ppm e la temperatura media a + 3,6°C con frequenti ondate di calore e temperature estive molto elevate. Le emissioni raggiungono il picco nel 2040 per poi diminuire stabilizzandosi. L'acidificazione oceanica danneggia la barriera corallina, i molluschi e la flora marina. Si rendono più frequenti i fenomeni meteorologici estremi (come piogge acide) con danni collaterali che costano molto più delle azioni di mitigazione.

### SCENARIO 4 – AZIONE DECISA

Nell'ultimo scenario l'aumento del livello marino minaccia alcune delle città costiere. La concentrazione di CO<sub>2</sub> nel tempo potrà stabilizzarsi su 450 ppm e la temperatura media sui + 2° C. Le emissioni globali raggiungono il loro picco nel 2020. Per il conseguimento di questo scenario, si rendono necessari dei nuovi investimenti nelle energie rinnovabili e l'abbandono quasi totale delle fonti fossili. Gli interventi che portano al conseguimento di questo scenario devono essere repentini e soprattutto devono essere partecipati dall'interno pianeta.

Viene proposto un secondo grafico che riporta le emissioni globali espresse in Gigatonnellate di diossido di carbonio per i quattro scenari analizzati e presenta i range di ppm della sostanza nelle sue possibili evoluzioni.

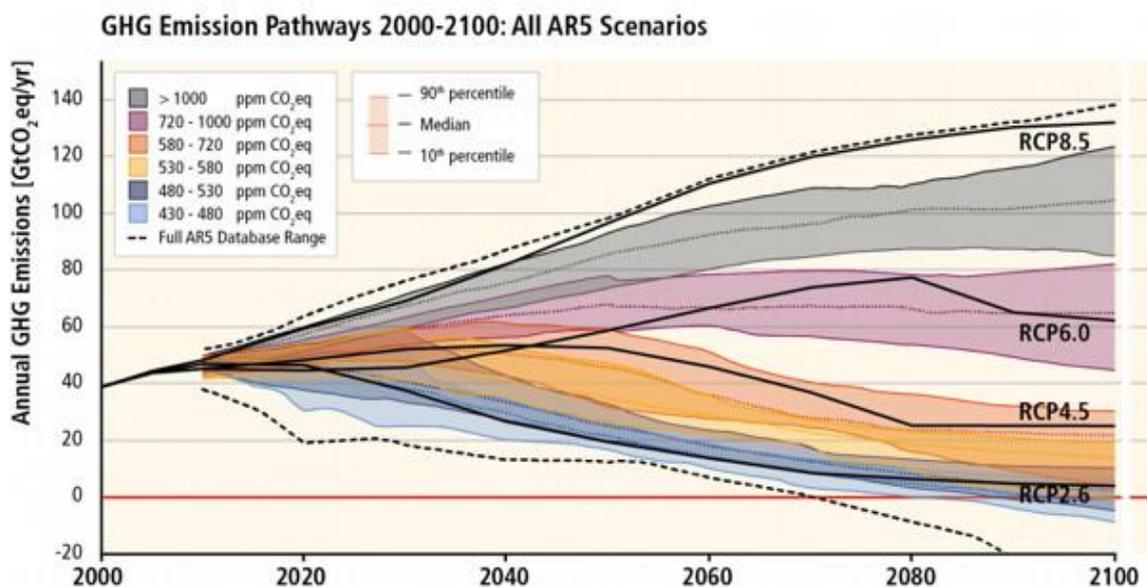


Figura 3: Emissioni annuali in Gigatonnellate di anidride carbonica riportate per ciascuno scenario

Come si evince dai due grafici proposti<sup>5</sup>, non è presente uno scenario relativo alla situazione preesistente all'era industriale, ovvero non è realistica una situazione che presuppone un ritorno alle temperature climatiche precedenti. Questa considerazione deve farci riflettere sul fatto che ormai gli effetti a cui si può ambire sono solamente di contenimento e non di risoluzione del problema. Le cause che portano a questa conclusione sono da ricercarsi nella continua crescita demografica, a cui sono soggetti soprattutto i paesi dell'est, e allo standard di vita globale che tende sempre più a quello occidentale. Per poter garantire un'evoluzione sostenibile è necessario l'impegno di tutti i governi, ma, in particolar modo, l'impegno comune volto a trovare una soluzione che possa considerarsi definitiva a questo tema di vitale importanza.

---

<sup>5</sup> Grafici presi da Transitionitalia.it con riferimento a Climate Nexus che compone questo quadro traendo i dati sulle emissioni dal Potsdam Institute for Climate Change, le proiezioni dell'IPCC, Skeptical Science e dagli studi della World Bank.

## 1.2 *La strategia italiana sul miglioramento dell'efficienza energetica*

Entriamo ora nello specifico delle soluzioni, adottate dal nostro paese, mirate al raggiungimento degli obiettivi stabiliti dai trattati internazionali ed europei. Viene presentato prima il quadro generale delle modalità di risparmio energetico e successivamente si pone l'attenzione sulle stesse modalità riferite all'aspetto residenziale degli edifici. Durante la riunione del G20 nel 2014 è stato lanciato il piano d'azione per l'efficienza energetica. L'obiettivo per il 2050, secondo uno studio della IEA, riguarda il raggiungimento di una quota pari al 40% di energia prodotta attraverso il risparmio energetico. Tale quota di energia ha ormai una valenza tutt'altro che secondaria rispetto a quella prodotta da una qualsiasi altra fonte fossile, tanto da meritarsi l'appellativo di "carburante nascosto"<sup>6</sup>. L'International Energy Agency la identifica come un tassello fondamentale alla partecipazione delle sfide mondiali sulla sicurezza energetica, sostenibilità e sviluppo economico. Sempre ricerche della IEA dimostrano che gli investimenti connessi alle tecnologie per l'estrazione, la distribuzione e l'utilizzo di gas naturale e petrolio sono circa tre volte maggiori di quelli destinati al miglioramento dell'efficienza energetica. Questo divario mostra come una tecnologia già pienamente affermata, come l'estrazione del petrolio, sia considerata sempre più remunerativa rispetto ad una in fase di sviluppo e ancora fortemente differenziata per destinazione d'uso finale nei diversi settori.

Il campo dell'efficienza energetica occupa ancora una posizione di nicchia nel raggiungimento degli obiettivi imposti dalla comunità europea di risparmio del 20% d'energia entro il 2020. Necessita dunque di strumenti d'incentivazione che spingano gli investitori a puntare anche sullo sviluppo di questa tecnologia.

Nella tabella 1 sono riassunte le misure italiane intraprese per la riduzione, entro il 2020, di 20 Mtep di energia primaria per la spesa energetica annuale. Si analizza, in seguito, ciascuna delle alternative proposte riportandone il risparmio generato e la quota parte sulla riduzione della spesa energetica totale.

---

<sup>6</sup> Tratto da Italian Energy Efficiency annual, executive summary, report 2015, ENEA

settore	Misure da implementare dal 2011 al 2020					stima dei risparmi nel 2020	
	Direttive di efficienza energetica-Articolo 7			altre misure			
	schema degli obblighi	misure alternative					
	certificati bianchi	detrazione fiscale	supporti per riscaldamento e raffrescamento	standard	trasporti	energia finale	energia primaria
residenziale	0,15	1,38	0,54	1,6		3,76	5,14
servizi	0,1		0,93	0,2		1,23	1,72
pubblico	0,04		0,43	0,1		0,57	0,8
privato	0,06		0,5	0,1		0,66	0,92
industriale	5,1					3,1	7,14
trasporti	0,1			3,43	1,97	5,5	6,05
<b>totale</b>	<b>5,45</b>	<b>1,38</b>	<b>1,47</b>	<b>5,23</b>	<b>1,97</b>	<b>15,5</b>	<b>20,05</b>

Tabella 1: Obiettivi di efficienza energetica per 2020 espressi in Mtoe/anno

## I CERTIFICATI BIANCHI

I certificati bianchi, noti anche come “Titoli di Efficienza Energetica” (TEE), sono titoli negoziabili che certificano il conseguimento di risparmi energetici negli usi finali di energia attraverso interventi e progetti di incremento dell’efficienza energetica. Sono stati introdotti attraverso i decreti ministeriali del 2004 e prevedono che i distributori di energia elettrica e di gas naturale raggiungano annualmente determinati obiettivi quantitativi di risparmio di energia primaria, espressi in Tonnellate Equivalenti di Petrolio (TEP). Il valore di un certificato equivale al risparmio di una tonnellata equivalente di petrolio. Nell’anno 2015 sono state riviste le linee guida dei decreti con la finalità di migliorare l’efficacia complessiva del meccanismo e valorizzare opportunamente i risparmi energetici generati dai progetti. Inoltre, si è cercato di ridurre al minimo le speculazioni e sono stati premiati gli operatori che hanno investito maggiormente per l’ottimizzazione finale. Dall’avvio del meccanismo dei Certificati Bianchi, nel periodo 2006-2015, complessivamente sono stati certificati risparmi addizionali di energia primaria pari a circa 21,8 Mtep e riconosciuti oltre 36,2 milioni di titoli di efficienza energetica. I TEE rilasciati nell’anno solare 2015 riguardano:

- Per il 31% risparmi di energia primaria conseguiti attraverso progetti di efficienza energetica per la riduzione dei consumi di energia elettrica.
- Per il 58% i risparmi di energia primaria conseguiti attraverso progetti di efficienza energetica per la riduzione dei consumi di gas naturale.

- Per circa l'11% i risparmi di forme di energia primaria diverse dall'elettricità e dal gas naturale, realizzati nel settore dei trasporti.

In termini di risparmi energetici annuali, considerando soltanto i nuovi progetti, rendicontati per la prima volta nel 2015, il risparmio complessivo dei progetti approvati è di oltre 0,5 Mtep/anno di energia primaria. Di questi, un risparmio di poco più di 0,07 Mtep/anno è da attribuire a progetti relativi alle fonti energetiche rinnovabili.

## DETRAZIONI FISCALI

Con la Legge di Stabilità del 2016 il Governo e il Parlamento hanno prolungato la misura di risparmio energetico per tutto il 2016 mantenendo l'aliquota al 65%. Inoltre, sono state introdotte diverse novità circa gli interventi ammessi e le modalità di accesso all'incentivo. In particolare, con tale legge, si è estesa l'agevolazione anche alle spese sostenute per l'acquisto, l'installazione e la messa in opera di "dispositivi multimediali per il controllo da remoto degli impianti di riscaldamento, produzione di acqua calda e climatizzazione nelle unità abitative<sup>7</sup>". Un'altra importante novità riguarda la possibilità, per gli interventi realizzati su parti comuni dei condomini, di cedere la detrazione alle aziende che eseguono i lavori, in cambio di uno sconto. La tabella 2 riporta in dettaglio i circa 300.000 interventi realizzati nel 2014 suddivisi per tipologia. Gli investimenti sono di 3,2 miliardi di euro, a fronte dei quali è stato conseguito un risparmio complessivo di circa 0,117 Mtep/anno di energia primaria<sup>8</sup>.

Tipologia di intervento	Numero di interventi	Spesa [€]	Risparmio energetico conseguito [Mtep/anno energia finale]
Strutture opache verticali	3.239	160.691.293	0,0054
Strutture opache orizzontali	3.700	187.444.188	0,0080
Infissi	209.924	1.806.553.442	0,0487
Solare termico	17.420	120.697.898	0,0036
Caldaie a condensazione	54.320	743.882.061	0,0388
Pompe di calore	9.081	153.311.438	0,0065
Impianti geotermici	148	5.048.997	0,0002
Caldaie a biomasse	473	12.576.689	0,0007
Scaldacqua a pompa di calore	1.490	20.312.166	0,0006
<b>Totale</b>	<b>299.795</b>	<b>3.210.518.172</b>	<b>0,1125</b>

Tabella 2: Interventi realizzati, spese sostenute e risparmio conseguito a seguito delle detrazioni fiscali

Negli interventi riguardanti la coibentazione dell'involucro esterno dell'edificio, e predominante quello di sostituzione degli infissi che genera più del 40% dei risparmi energetici totali (vedi figura

<sup>7</sup> Relazione annuale sull'efficienza energetica, Risultati conseguiti e obiettivi al 2020, aprile 2016.

La relazione è stata elaborata dall'ENEA ed approvata dal Ministero dello sviluppo economico secondo le direttive europee.

<sup>8</sup> Fonte ENEA.

4). Mentre per la componente impiantistica, i maggiori interventi sono stati realizzati sulle caldaie a condensazione (33,2%) e in misura minore su quella a biomassa.

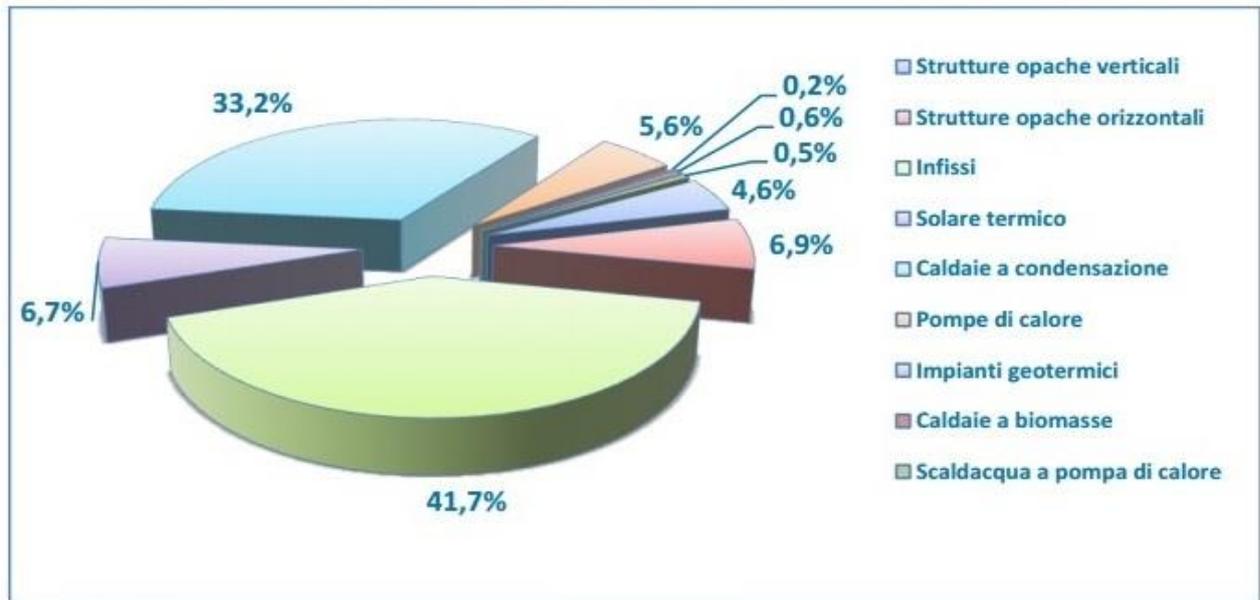


Figura 4: Risparmi energetici per interventi con detrazioni fiscali

## CONTO TERMICO

Il Conto Termico, superata la fase di start-up del primo anno di funzionamento, sta registrando un maggiore interesse da parte dei soggetti privati e delle Pubbliche Amministrazioni. Nel 2016 è stato varato il Conto Termico 2.0, entrato in vigore dal 31 maggio 2016. Nella seconda release viene potenziato e semplificato il meccanismo di sostegno già introdotto dal decreto del 2012, il quale incentiva interventi per l'incremento dell'efficienza energetica e la produzione di energia termica da fonti rinnovabili. I beneficiari rimangono le Pubbliche Amministrazioni a cui sono destinati 200 milioni, mentre le imprese e i privati potranno accedere ai fondi per 700 milioni di euro annui. Vengono introdotti nuovi interventi di efficienza energetica, inclusi quelli che prevedono la trasformazione di edifici esistenti in edifici a energia quasi zero (Near Zero Emissive Building). Inoltre è stata alzata la soglia, per gli incentivi erogabili in un'unica rata, da 600 a 5000 euro retribuita con una tempistica ridotta a due mesi massimi rispetto ai sei precedenti.

Come per il caso precedente viene riportata una tabella con i valori di richieste con contratto attivato (tabella 3) e le percentuali dei campi di applicazione degli incentivi realizzati nell'anno 2015 (figura 5).

Tipologia Soggetto Ammesso	Richieste con contratto attivato	Incentivi Totali [M€]
Soggetti private	7.598	24,73
Pubblica Amministrazione	244	6,85
<b>Totale</b>	<b>7.842</b>	<b>31,58</b>

Tabella 3: Richieste con contratto attivato ed incentivi erogati attraverso il Conto Termico 2.0 (anno 2015)<sup>9</sup>

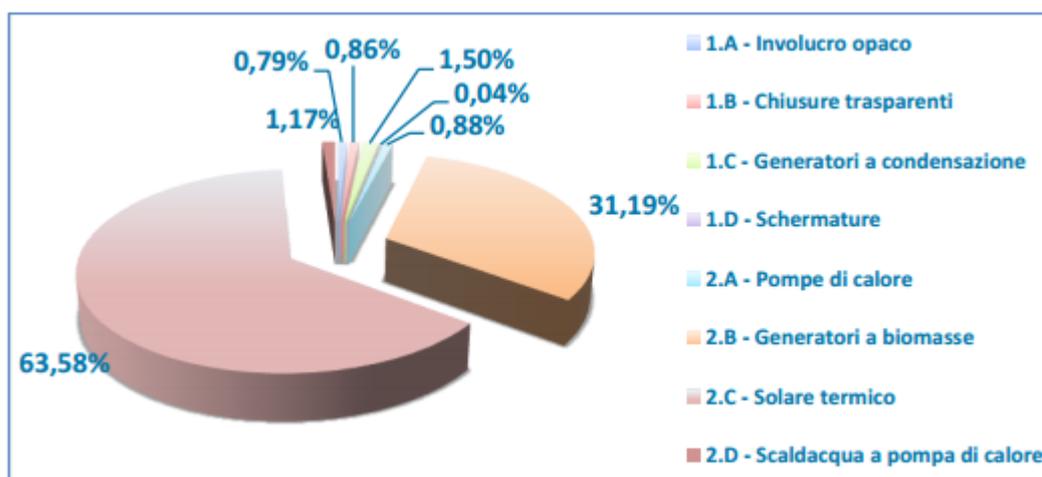


Figura 5: Percentuali dei campi di attivazione del Conto Termico 2.0<sup>10</sup>

Gli incentivi totali riconosciuti, relativi alle richieste con contratto attivato, ammontano ad un totale di circa 31,58 milioni di Euro, di cui circa 6,85 milioni di Euro per le Amministrazioni pubbliche. Dal grafico emerge chiaramente che gli interventi più frequentemente realizzati riguardano il solare termico e i generatori a biomasse che insieme costituiscono più del 94% degli interventi realizzati. Mentre per quanto riguarda i generatori a condensazione gli incentivi del conto termico non generano un ritorno paragonabile a quello della detrazione fiscale del 65%.

<sup>9</sup> Tabella tratta dal Gestore dei Servizi Energetici s.p.a

<sup>10</sup> Tabella tratta dal Gestore dei Servizi Energetici s.p.a

### 1.3 Focus sul panorama degli edifici italiani in ambito residenziale

Prima di focalizzarsi sull'aspetto residenziale degli edifici italiani, viene presentata una breve panoramica sull'andamento dei consumi dei vari settori del nostro paese (figura 6). Dal 1990 ad oggi, i consumi del settore civile sono incrementati di ben 8 punti percentuali, andandosi a stabilizzare su 37 contro i 29 di più di 25 anni fa. Ad oggi, quindi, tra tutti i settori di consumo presenti nel panorama italiano, essi costituiscono quelli del settore maggiormente energivoro<sup>11</sup>.

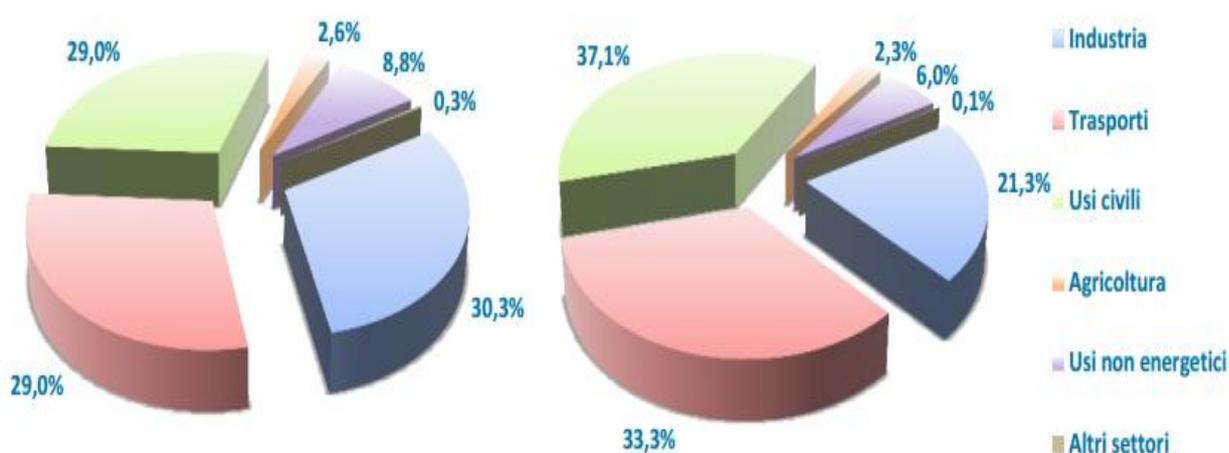


Figura 6: Impieghi finali di energia per settore

Il settore domestico, con un consumo elettrico pari al 37,1% del totale, si avvia a diventare una destinazione d'uso finale tra le più importanti per quanto riguarda i costi di mantenimento. Per questo motivo rappresenta anche il settore dove poter puntare maggiormente per diminuire il fabbisogno italiano di energia primaria. Negli ultimi anni il consumo energetico per il condizionamento (riscaldamento e raffrescamento) ha assorbito circa il 75% dei consumi complessivi (vedi figura 8), mentre Illuminazione e apparecchi elettrici, al pari dell'acqua calda sanitaria, hanno registrato una riduzione dei consumi dopo un andamento costante negli anni. Riportiamo in seguito un grafico che presenta l'andamento di utilizzo di combustibile nell'ultimo decennio. Come si può notare, la presenza di gasolio sta lentamente diminuendo a causa degli elevati valori di emissioni inquinanti, mentre si nota un ritorno massiccio all'uso di legname, grazie al consolidamento delle nuove tecnologie a pellet e a biomassa. Resta tuttavia indiscusso

<sup>11</sup> Fonte di rimando Eurostat

il predominio del gas naturale per le sue ottime proprietà energetiche pur mantenendo ridotta la produzione di biossido di carbonio<sup>12</sup> (vedi figura 7).

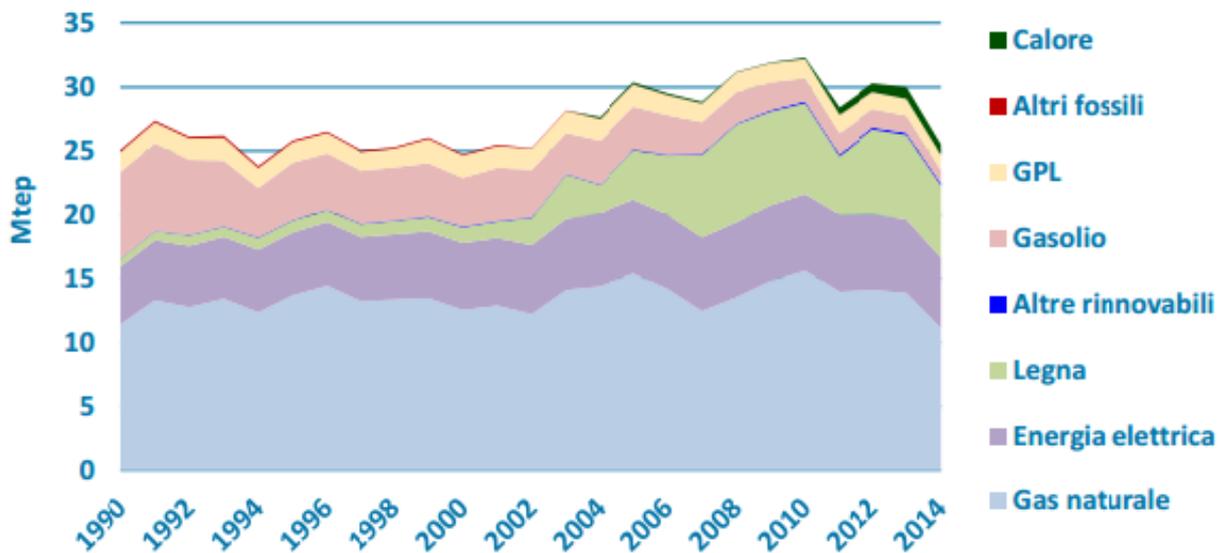


Figura 7: Consumo energetico residenziale per fonte (Mtep)

Infine presentiamo la ripartizione dei consumi di energia elettrica in tep/appartamento<sup>13</sup> (figura 8). Oltre a dedurre un drastico calo negli ultimi anni, notiamo come la quota relativa al condizionamento rimanga preponderante rispetto alle altre due, risultando in continuo aumento.

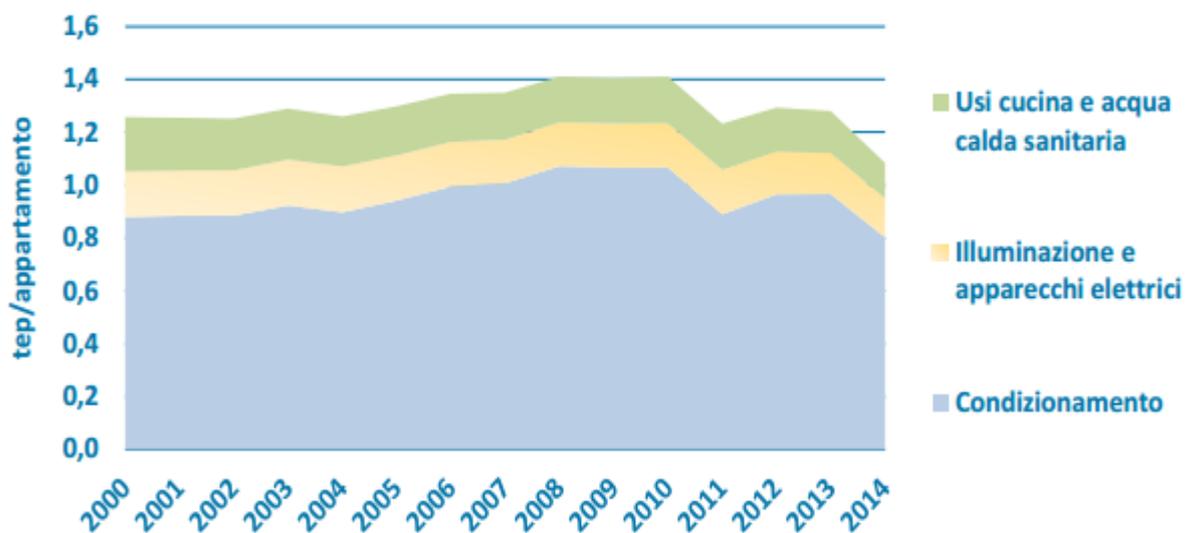


Figura 8: Consumo energetico nel residenziale per tipologia (tep/appartamento)

<sup>12</sup> Dati ricavati dall'Eurostat con elaborazione dell'ENEA

<sup>13</sup> Fonte Odyssee

Sebbene in meno di 10 anni, le famiglie italiane abbiano investito quasi 28 miliardi di euro per ridurre gli sprechi e rendere più efficienti le proprie abitazioni, l'Italia non ha ancora raggiunto l'obiettivo di risparmio fissato dal Piano Nazionale di Efficienza al 2020, completando la sola quota di 32% del totale. Infine si riporta un ultimo grafico (figura 9) a sostegno dell'intera analisi che verrà svolta e delle considerazioni sulla necessità di intervento orientata ad una totale riqualificazione degli edifici residenziali.

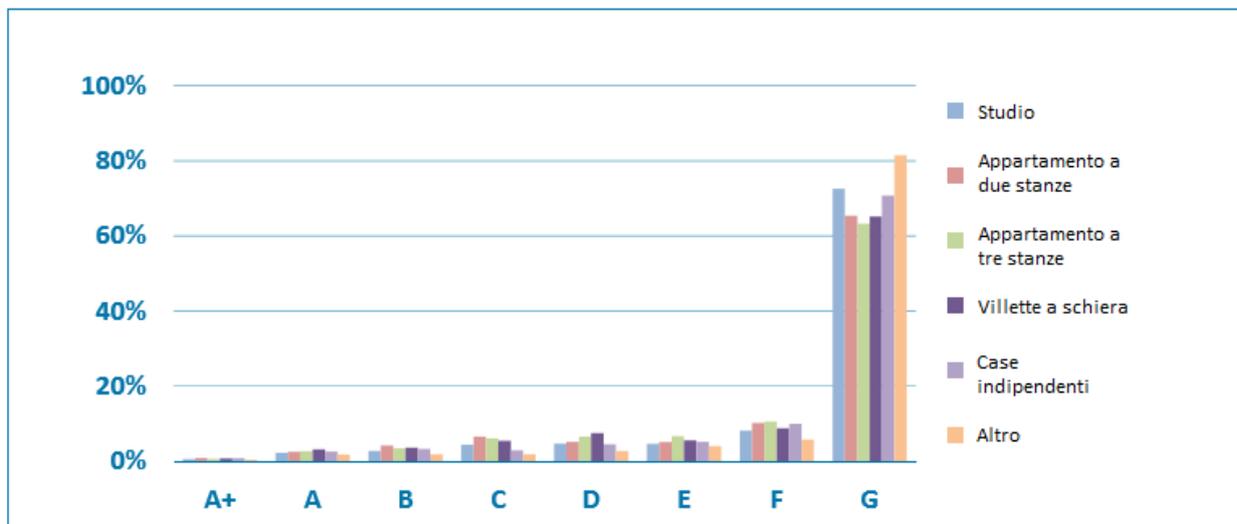


Figura 9: Suddivisione delle proprietà per destinazione d'uso e classe energetica anno 2014

Pur riguardando il 2014 e in particolare pur presentando ancora l'ormai superata suddivisione in classi, è lampante il fatto che più del 60% degli edifici rientrino nella classe energetica minima. La necessità di rimodernare buona parte degli edifici già esistente è un punto inderogabile e ci mostra quanto impegno sia dunque necessario al fine di raggiungere gli obiettivi di efficienza energetica entro il 2020.

## 2 Case-study

### 2.1 Caratterizzazione dell'abitazione oggetto dell'intervento

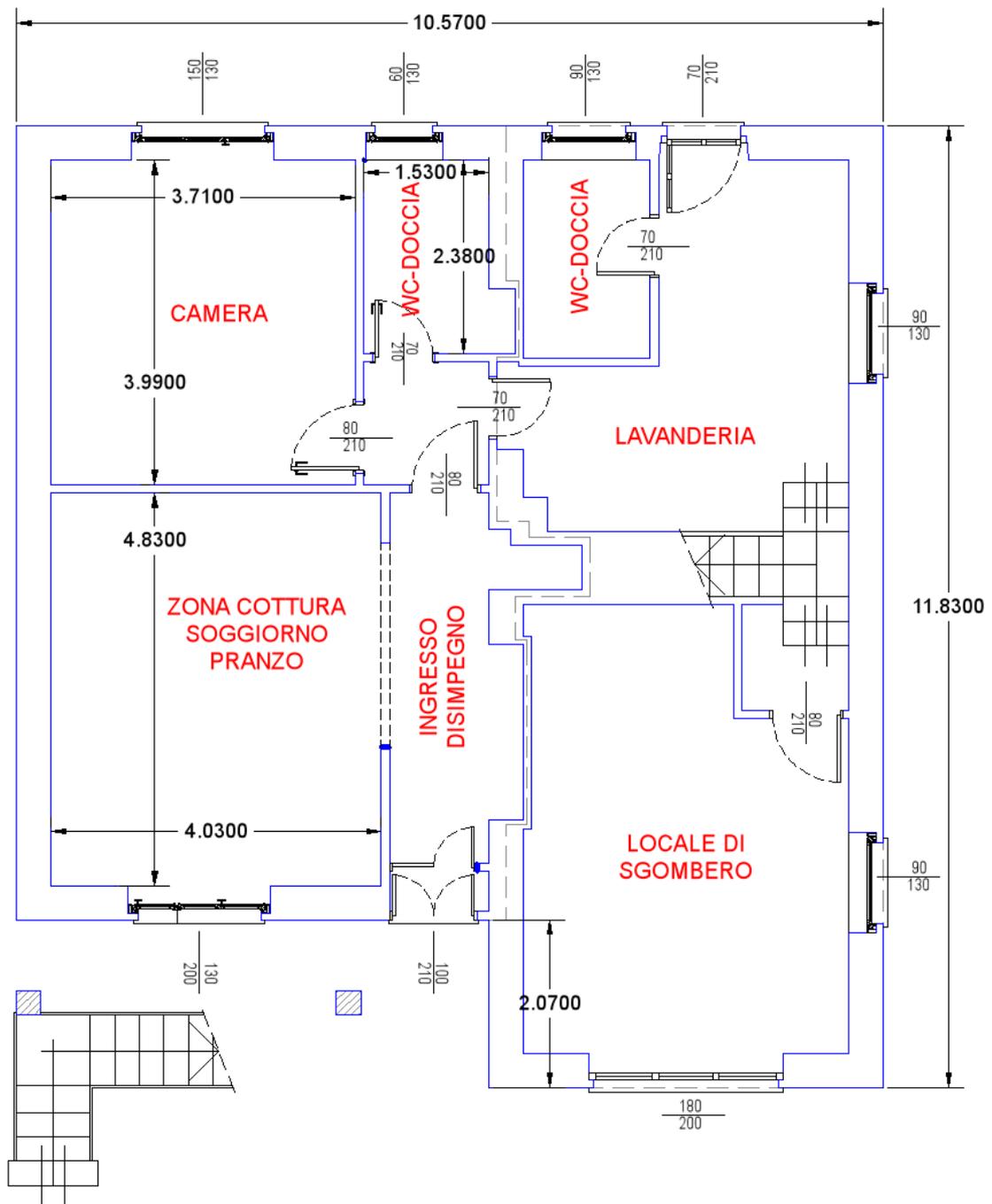
#### **CARATTERIZZAZIONE GEOGRAFICA E DESCRIZIONE DELL'ABITAZIONE**

Scelto l'ambito residenziale come oggetto dello studio, sono state valutate le diverse tipologie di edifici presenti per uno studio approfondito sui consumi e sulle modalità di intervento. Tra le possibili opzioni si è scelto il caso di una villetta a schiera sita nel comune di Lipomo. I motivi che hanno portato a questa decisione sono diversi. Primo fra tutti la semplicità di fruizione dei dati e la possibilità di effettuare un'analisi completa che prendesse in considerazione ogni elemento dell'immobile. Secondariamente uno studio di questo tipo può rappresentare un ottimo esempio di ristrutturazione di un immobile, a cui possono fare riferimento abitazioni simili che necessitino degli stessi interventi.

La casa si sviluppa su due piani distinti, ognuno facente parte di un appartamento indipendente. La planimetria è sostanzialmente un quadrato regolare in cui tre lati su quattro sono esposti all'esterno, mentre il lato Nord-Ovest confina con un immobile di terze parti. La superficie di ciascun appartamento si estende per poco più di 100 m<sup>2</sup> e se includiamo anche il sottotetto, non riscaldato, si raggiunge un valore pari a 300 m<sup>2</sup>. Tuttavia il sottotetto, accessibile solamente tramite una botola posta nel soffitto, non è abitabile, dunque lo considereremo nell'analisi solamente come ulteriore elemento d'isolamento tra volume riscaldato e copertura del tetto. Il volume di controllo utilizzato per la valutazione delle dispersioni è delimitato dalle quattro pareti esterne perimetrali e dal sottotetto. Di seguito riportiamo la planimetria generale, i prospetti e le piantine dei due appartamenti dell'edificio e alcuni dati generali sulla sua posizione.

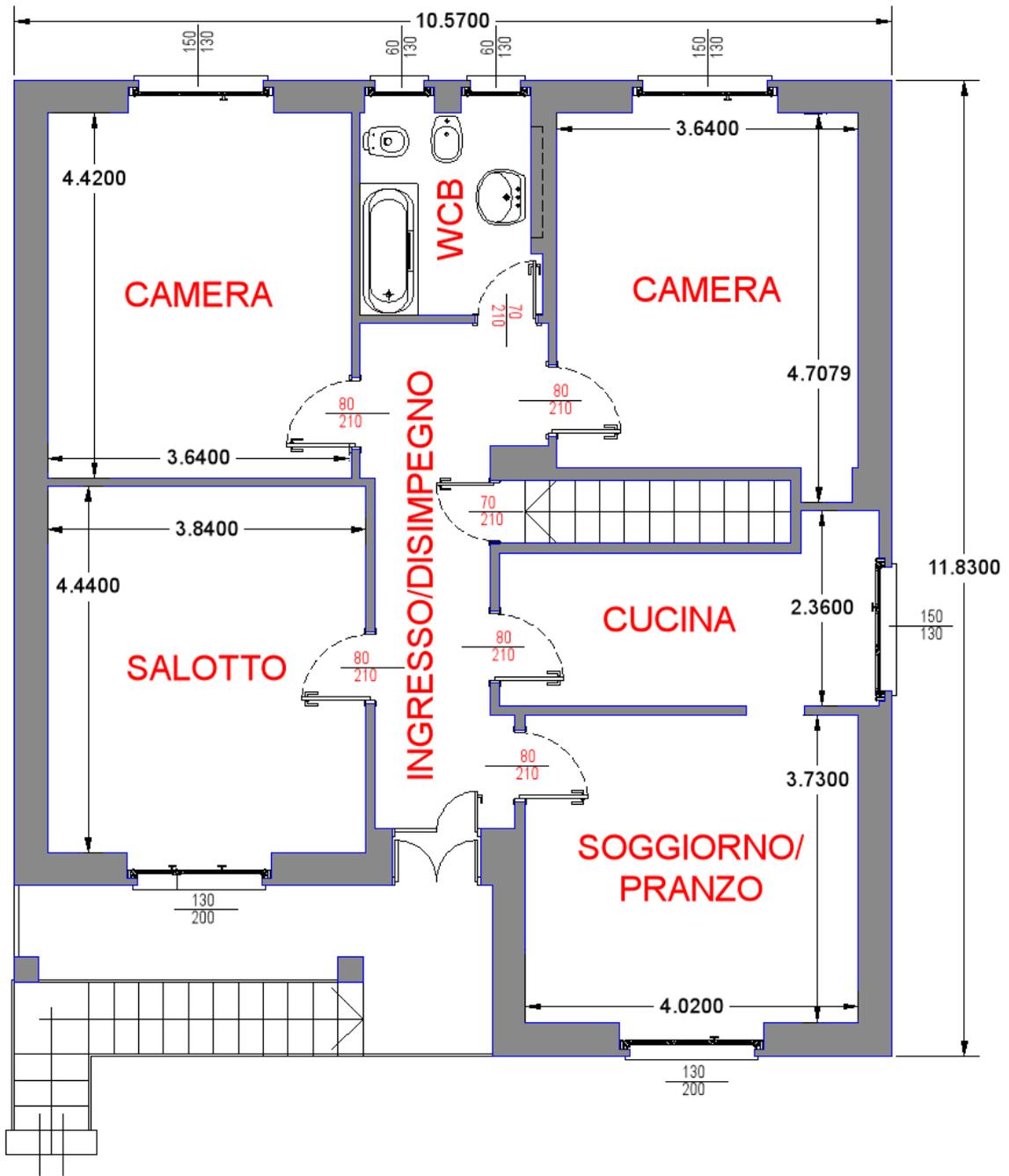
#### **CARATTERIZZAZIONE SPAZIALE**

INDIRIZZO:	Via provinciale per Lecco, 75
COMUNE:	Lipomo
PROVINCIA:	Como
LATITUDINE NORD:	45° 47' 49.406"
LONGITUDINE EST:	9° 7' 19.565"
ALTITUDINE S.L.M.:	367 metri



## PIANO TERRENO

Figura 10: Planimetria dell'appartamento al piano terreno



## PIANO PRIMO

Figura 11: Planimetria appartamento al primo piano

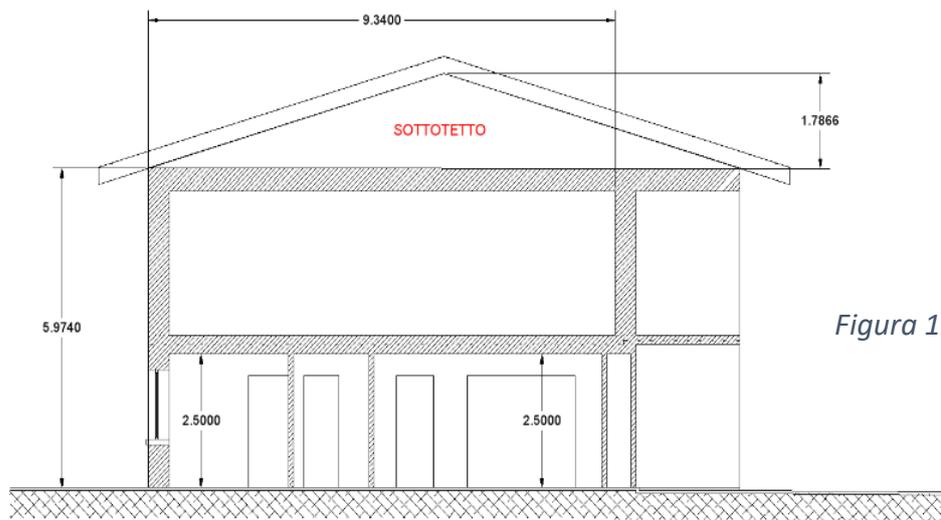


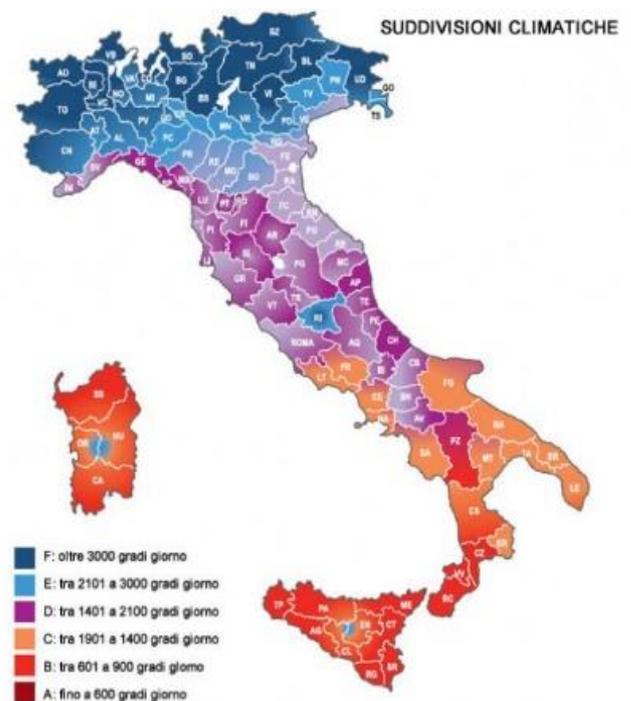
Figura 12: Sezione laterale

### SEZIONE X - X

Figura 13: Suddivisione delle zone climatiche in Italia

#### CARATTERIZZAZIONE CLIMATICA

FASCIA CLIMATICA:	E
GRADI GIORNO <sup>14</sup> :	2615 gg
TEMP DI PROGETTO ESTIVA:	+32°
TEMP DI PPROGETTO INVERNALE <sup>15</sup> :	-7°
TEMPERATURA INTERNA	+20°



La località di riferimento per la temperatura è la provincia di Como.

<sup>14</sup> Valori tabulati resi disponibili dall'ENEA (per gradi giorno si intende la somma delle differenze di temperatura che intercorrono tra la temperatura ambiente e quella di progetto esterna in un periodo esteso a quello convenzionale di riscaldamento annuale).

<sup>15</sup> Dati presi dall'appendice A sulle temperature esterne invernali di progetto secondo la UNI 5364

## 2.2. Riferimenti dei calcoli

Calcolo della resistenza di uno strato di un elemento opaco (1):

$$R_{el\ opaco} = \frac{s}{K_{cond}}$$

Dove:

$R_{el\ opaco}$  è la resistenza dello strato di materiale costituente la parete [(m<sup>2</sup>K)/W]

$s$  è lo spessore della parete espresso in [m]

$K_{cond}$  è il coefficiente conduttivo del mezzo espresso in [W/(mK)]

I valori dei coefficienti di conduzione sono presi da valori tabulati standard.

Calcolo della resistenza totale della parete (2):

$$R_{totale\ parete} = \sum R_{el\ opaco,i}$$

Dove:

$R_{totale\ parete}$  è la resistenza totale della parete perimetrale espressa in [(m<sup>2</sup>K)/W]

Calcolo della trasmittanza della parete con coefficienti convettivi interni ed esterni (3):

$$\tau_{totale\ parete} = \frac{1}{\frac{1}{h_{est}} + R_{totale\ parete} + \frac{1}{h_{int}}}$$

Dove:

$\tau_{totale\ parete}$  è la trasmittanza totale della parete espressa in [W/(m<sup>2</sup>K)]

$h_{est}$  è il coefficiente convettivo esterno espresso in [W/(m<sup>2</sup>K)]

$h_{int}$  è il coefficiente convettivo interno espresso in [W/(m<sup>2</sup>K)]

Calcolo della potenza termica dispersa per la pareti opache (4):

$$Q_{par\ esterne} = \vartheta_{esp} * \left[ \sum_i S_{par,i} * \tau_{par,i} \right] * (T_{amb} - T_{est\ progetto})$$

Dove:

$Q_{par\ esterna}$  è la potenza termica dispersa espressa in [W]

$\vartheta_{esp}$  fattore di esposizione [-]

$S_{par,i}$  è la superficie della parete espressa in [m]

$T_{amb}$  è la temperatura ambiente espressa in [°C]

$T_{est,progetto}$  è la temperatura esterna di progetto espressa in [°C]

I ponti termici saranno calcolati in separata sede.

Per trovare le dispersioni verso ambienti non riscaldati si utilizzeranno le stesse formule dove al posto della temperatura esterna di progetto avremo la temperatura dell'ambiente non riscaldato e dove il coefficiente di esposizione ha valore unitario.

Anche per il calcolo delle dispersioni delle porte, della copertura orizzontale del tetto e per quella del pavimento le formule sono le medesime. Tuttavia non presenteranno come pendice la dicitura parete ma quella di porta, tetto o pavimento; inoltre, per quanto riguarda copertura orizzontale e pavimentazione, non sarà presente il coefficiente di esposizione solare.

Per il calcolo della trasmittanza degli infissi si utilizza la seguente formula (5):

$$U_{finestra} = \frac{U_{vetro} * A_{vetro} + U_{telaio} * A_{telaio} + \varphi_{pt} * l_{pt}}{A_{vetro} + A_{telaio}}$$

Dove:

$U_{finestra}$  è la trasmittanza della finestra completa di vetro e telaio espresso in [W/(m<sup>2</sup>K)]

$U_{vetro}$  è la trasmittanza solo del vetro senza prendere in considerazione il telaio calcolata nel punto centrale della parte vetrata espresso in [W/(m<sup>2</sup>K)]

$A_{\text{vetro}}$  e  $A_{\text{telaio}}$  sono i termini riferiti all'area della sola parte in vetro o telaio espressi in [m<sup>2</sup>]

$U_{\text{telaio}}$  è la trasmittanza del solo telaio espresso in [W/(m<sup>2</sup>K)]

$\varphi_{pt}$  è il valore riferito al ponte termico che si verifica in presenza dell'attacco tra vetro e telaio ed è espresso in [W/(mK)]

$l_{pt}$  è la lunghezza del ponte termico della finestra e in questo caso corrisponde al perimetro del vetro e il suo valore viene espresso in [m]

Calcolo della potenza termica dispersa per le superfici trasparenti (6):

$$Q_{el\ trasp} = \vartheta_{esp,i} * \left[ \sum_i S_{finestra,i} * U_{finestra,i} \right] * (T_{amb} - T_{est\ progetto})$$

Noi utilizzeremo, per il calcolo della trasmittanza totale delle finestre, una tabella fornita dall'ENEA che incrocia i valori del telaio e dei soli vetri per ricavare un valore mediato che tenga conto di entrambi.

Calcolo della potenza termica ceduta per ventilazione dall'involucro verso l'esterno (7):

$$Q_{ventilazione} = \frac{V_{stanza} * n}{3600} * \rho_{aria} * c_{p\ aria} * (T_{ambiente} - T_{est\ progetto})$$

Dove:

$Q_{ventilazione}$  indica il calore disperso a causa della ventilazione nell'involucro espresso in [W]

$n$  rappresenta il numero di ricambi orari ovvero il numero di volte, all'interno dell'arco temporale di un'ora, in cui l'aria all'intero del volume della stanza viene completamente sostituita ed è espresso in [m<sup>3</sup>/h]

$V_{stanza}$  è il volume della stanza/casa che si prende in considerazione per il calcolo espresso in [m<sup>3</sup>]

$\rho_{aria}$  indica la densità dell'aria espressa in [kg/m<sup>3</sup>] con valore di circa 1,2 in condizioni standard (a temperatura 20°C e pressione atmosferica)

$c_{p\text{ aria}}$  indica il calore specifico dell'aria come gas ideale e vale 1005 [J/(kgK)]

Per il calcolo dei ponti termici delle pareti, non avendo avuto la possibilità di misurarli con degli strumenti accurati come le termocamere, si utilizza una formula semplificata che tiene conto della lunghezza del ponte termico espressa in [m] e di un coefficiente tabulato scelto in base alla natura del punto di dispersione (8):

$$Q_{PT} = \Psi_{PT} * L_{PT} * (T_{amb} - T_{est\ progetto})$$

Dove:

$Q_{PT}$  indica il calore disperso per il ponte termico calcolato sull'involucro espresso in [W]

$\Psi_{pt}$ : indica il coefficiente lineare di dispersione espresso in [W/(mK)]

$L_{PT}$  indica la lunghezza del ponte termico considerato espressa in [m]

Per il calcolo del fabbisogno energetico per la climatizzazione per l'ACS e per il consumo elettrico si fa riferimento al capitolo 3 sotto paragrafo 6 di questo scritto.

## 2.3 *Calcolo delle dispersioni*

Si riassumono ora i principali elementi di perdita di potenza termica considerando brevemente le potenzialità di ciascuno di essi nella dispersione di calore verso l'esterno:

- Pareti perimetrali opache
- Elementi finestrati trasparenti
- Porte
- Pavimentazione orizzontale a terra
- Copertura del tetto
- Copertura del sottotetto
- Ponti termici
- Dispersione per ventilazione

La casa pur sviluppandosi in due piani distinti, presenta le stesse coperture opache perimetrali, risalenti al periodo di costruzione del fabbricato nel 1960 circa. Considerata la mancanza di un cappotto isolante e tenuto conto della composizione piena dei mattoni, ci aspettiamo che essi siano responsabili della maggior parte delle dispersioni di calore. Per quanto concerne gli elementi trasparenti invece, si devono distinguere quelli situati al piano terreno da quelli del primo piano: difatti il piano terreno, avendo subito un recente intervento di ristrutturazione, presenta delle migliorie rispetto al piano sovrastante ad esempio la sostituzione dei vecchi infissi con serramenti a doppio vetro (valori maggiori di potenza termica dispersa saranno associati al piano superiore rispetto a quello inferiore). Infine considerato il volume totale dell'appartamento, ci aspetteremo consistenti perdite di calore per ventilazione e infiltrazioni d'aria.

### 2.3.1 Componenti opache (pareti)

#### CONSIDERAZIONI

Le pareti perimetrali sono in comunicazione con l'esterno su tre dei quattro lati. Considerando dunque una temperatura ambiente costante anche per l'abitazione di terzi, situata a Nord-Ovest, si calcola la potenza dispersa solamente lungo i lati Nord-Est, Sud-Est e Sud-Ovest.

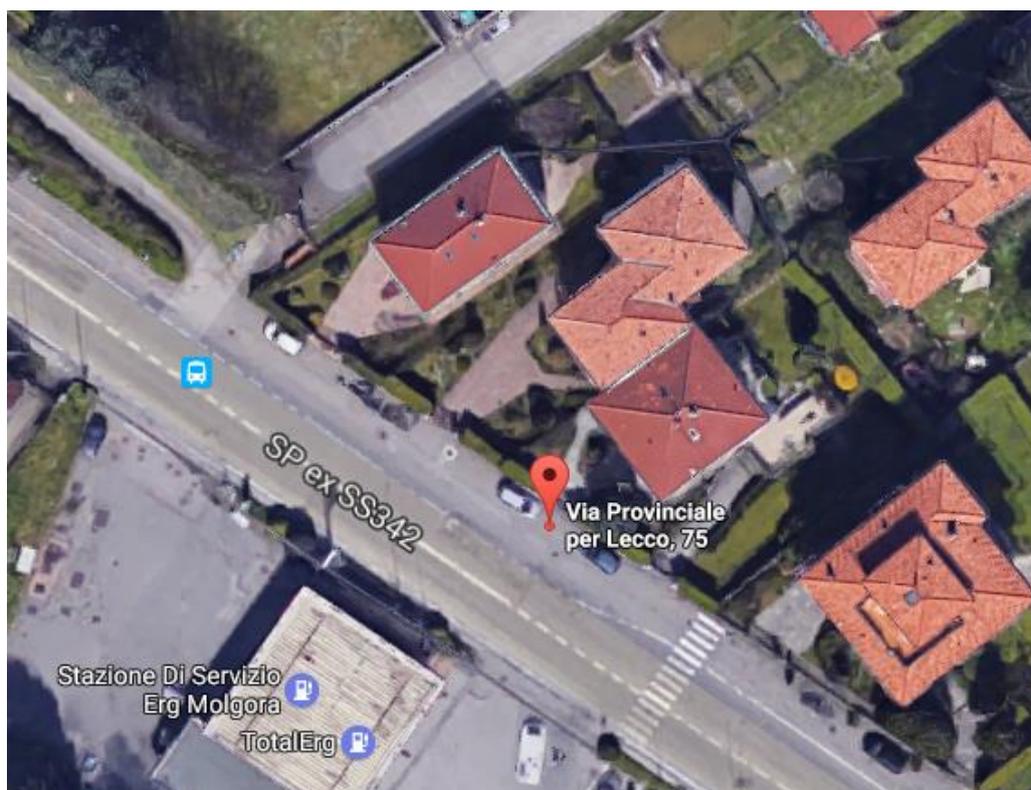


Figura 14: Estratto da google maps per la visione in pianta della casa

#### DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA (PARETI PERIMETRALI ESTERNE E CONFINANTI)

Trasmittanza totale della parete	0,660	(m <sup>2</sup> k)/W
Spessore totale della parete	616	mm

#### CONDIZIONI AL CONTORNO

Temperatura interna	20	°C
Temperatura esterna di progetto	-7	°C
Coefficiente convettivo interno	8	W/(m <sup>2</sup> K)
Coefficiente convettivo esterno	25	W/(m <sup>2</sup> K)
Fattore di esposizione	1,20; 1,10; 1,05	-

## STRATIGRAFIA

PARETI PERIMETRALI ESTERNE				
STRATIGRAFIA PARETE PERIMETRALE ESTERNA SITUAZIONE ESISTENTE				
MATERIALE	SPESSORE [mm]	SPESSORE [m]	K COND [W/mK]	R STRATO [(m <sup>2</sup> K)/W]
intonaco interno e gesso	8	0,008	0,9	0,009
laterizio pieno	600	0,6	0,45	1,333
intonaco esterno e gesso	8	0,008	0,9	0,009
RESISTENZA PARETE	1,351	[(m <sup>2</sup> K)/W]		
TRASMITTANZA PARETE	0,740	[W/(m <sup>2</sup> K)]		
TRASMITTANZA PARETE CON COEFF CONVETTIVI	0,660	[W/(m <sup>2</sup> K)]		

Tabella 4: Spessori e trasmittanze delle pareti perimetrali

## CONCLUSIONI

Le pareti esterne pur essendo composte solamente di mattoni pieni non presentano un'elevata trasmittanza grazie al loro massiccio spessore. Tuttavia sarebbe possibile abbassare ulteriormente tale valore inserendo uno strato di materiale isolante e una barriera al vapore (costituita da un sottile strato di alluminio) per scongiurare possibili formazioni di condensa interstiziale. Per il lato comunicante lo spessore della parete non è rilevante in quanto consideriamo nulle le dispersioni in quella direzione.

## 2.3.2 Elementi opachi (porte)

### CONSIDERAZIONI

Sono presenti due porte distinte, posizionate in facciata, che danno accesso alla casa: una al piano terra permette l'accesso al locale al pian terreno, mentre una seconda porta posta al termine di una scalinata in metallo conduce al piano superiore. Infine sul retro è presente una terza porta che consente l'accesso al giardino. Tutte le porte sono identiche per composizione e dimensione, dunque presentando gli stessi valori di area e trasmittanza, ne riportiamo una singola scheda.

### DESCRIZIONI DELLA STRUTTURA

Trasmittanza termica della singola porta	2,058	W/(m <sup>2</sup> K)
Spessore	30	mm
Permeanza	15,54*10 <sup>(-12)</sup>	W/(sm <sup>2</sup> Pa)
Massa superficiale	9,00	kg/m <sup>2</sup>

### STRATIGRAFIA

ELEMENTI OPACHI				
STRATIGRAFIA PORTA SULL'ESTERNO				
MATERIALE	SPESSORE [mm]	SPESSORE [m]	K COND [W/(mK)]	R STRATO [(m <sup>2</sup> K)/W]
resistenza superficiale interna	-	-	-	0,130
legno di abete con flusso perpendicolare alle fibre	10	0,010	0,120	0,083
intercapedine non ventilata	10	0,010	0,067	0,149
legno di abete con flusso perpendicolare alle fibre	10	0,010	0,120	0,083
resistenza superficiale esterna	-	-	-	0,040
RESISTENZA PORTA	0,486	[(m <sup>2</sup> K)/W]		
TRASMITTANZA PORTA	2,058	[W/(m <sup>2</sup> K)]		

Tabella 5: Spessori e trasmittanze delle porte di accesso

### 2.3.3 Elementi trasparenti (finestre)

#### **CONSIDERAZIONI**

Come descritto precedentemente, i due piani della casa hanno subito interventi differenti, nello specifico, il piano terreno è stato migliorato da un intervento di manutenzione abbastanza recente. Gli infissi quindi si presenteranno sotto due distinte sembianze: al primo piano troveremo ancora i vecchi serramenti in legno a vetro singolo originari della prima costruzione della palazzina, mentre al piano non rialzato sono stati installati, su tutti i tre lati dell'appartamento, (il quarto lato non presenta finestre) serramenti in pvc con vetrocamera. Nel complesso possiamo contare sette finestre di cui una in soggiorno, una nella zona camera, due nei locali wc-doccia, una sesta nel locale adibito a lavanderia, mentre l'ultima è posizionata nel locale di sgombero. Al piano sovrastante le finestre sono posizionate nella stessa locazione di quelle appena descritte ad eccezione di quella del locale cucina situata a monte del vano scale. Vengono utilizzati per il calcolo delle trasmittanze dei valori tabulati che sono resi disponibili dall'ENEA, pertanto non sono state calcolate né la percentuale di superficie del telaio, né quella della finestra né si è dovuto calcolare la lunghezza e le dispersioni date dai ponti termici. Si riassumono i valori delle dimensioni, trasmittanze, e tipologie di finestre nella tabella 6.

#### **STRATIGRAFIA SERRAMENTO IN LEGNO A VETRO SINGOLO (PRIMO PIANO)**

Tutti i vecchi serramenti sono costituiti da una singola lastra di vetro inserita in un telaio in legno di abete. Il coefficiente di conduzione del telaio risulta pari a 1,00 [W/(mK)], valore particolarmente elevato se paragonato a quello dei telai in pvc. Tutti i valori di trasmittanza degli infissi divisi per dimensione e percentuale di vetro/telaio, non riportati in tabella.

#### **STRATIGRAFIA SERRAMENTO IN PVC CON VETROCAMERA DA 24 cm (PIANO TERRENO)**

Le finestre site al piano terreno presentano una stratigrafia composta da doppio vetro basso emissivo con un'intercapedine riempita d'aria. Il valore di conducibilità dell'aria senza considerare lo scambio convettivo, è pari a 0,054 W/(mK). Il basso valore di conducibilità termica dell'elemento posto tra le due lastre di vetro, abbatte la trasmittanza della finestra a 1,7 W/(m<sup>2</sup>K).

ELEMENTI TRASPARENTI PIANO TERRA E PRIMO PIANO						
piano	dimensioni della finestra [cm]	materiale	numero di elementi	superficie [mq]	rapporto telaio/vetro	trasmissione totale [W/(m <sup>2</sup> K)]
1P	150x130	legno	3	1,95	30%	4,60
1P	60x130	legno	2	0,78	30%	4,60
1P	130x200	legno	2	2,60	20%	5,00
PT	130X200	pvc	1	2,60	20%	1,70
PT	150X130	pvc	1	1,95	20%	1,70
PT	60X130	pvc	1	0,78	30%	1,70
PT	90X130	pvc	3	1,17	30%	1,70
PT	180x200	pvc	1	3,60	20%	1,70

*Tabella 6: Descrizione dimensioni, superfici e trasmissioni degli infissi*

## CONCLUSIONI

La presenza di serramenti con un alto valore di trasmissione al primo piano non garantisce un adeguato grado d'isolamento termico e di comfort dell'appartamento. Mentre per gli elementi finestrati del piano inferiore si ha un valore di trasmissione che vale circa un terzo di quello precedente con un grado d'isolamento maggiore.

Gli interventi che andrebbero considerati vertono verso una sostituzione degli infissi al primo piano, passando da una situazione di fatto con imposte a vetro singolo, ad una soluzione con doppi vetri e intercapedine di gas basso emissivo (ad esempio Argon o Krypton). Altresì è possibile garantire un ulteriore comfort scegliendo una soluzione con tripla vetrocamera a valori di trasmissione anche inferiori all'unità. Inoltre, come valore aggiunto, le finestre di nuova tecnologia sono testate per garantire un isolamento acustico fino a 40dB permettendo un notevole incremento della qualità della vita soprattutto nelle zone ad alta densità di traffico stradale.

### 2.3.4 Copertura orizzontale (sottotetto)

#### CONSIDERAZIONI E DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

La struttura del sottotetto non presenta sostanziali caratteristiche da sottolineare. Troviamo una struttura portante in legno di abete coperta da uno strato di pochi centimetri di massetto alleggerito composto da una miscela, a granulometria controllata, di perle sferiche di polistirene espanso che svolgono una funzione di isolante acustico e leggermente ignifugo.

#### STRATIGRAFIA

COPERTURA ORIZZONTALE SOTTOTETTO				
STRATIGRAFIA COPERTURA ORIZZONTALE SOTTOTETTO ESISTENTE				
MATERIALE	SPESSORE [mm]	SPESSORE [m]	K COND [W/mK]	R STRATO [(m <sup>2</sup> K)/W]
resistenza superficiale interna	-	-	-	0,130
intonaco interno e gesso	8	0,008	0,9	0,009
travetto portante	190	0,19	0,132	1,439
massetto alleggerito con perle di polistirene	50	0,05	0,052	0,962
sottofondo in calcestruzzo magro	40	0,04	1,023	0,039
pavimentazione	2	0,002	0,8	0,003
resistenza superficiale interna	-	-	-	0,130
RESISTENZA COPERTURA ORIZZONTALE	2,711	[(m <sup>2</sup> K)/W]		
TRASMITTANZA COPERTURA ORIZZONTALE	0,369	[W/(m <sup>2</sup> K)]		

Tabella 7: Stratigrafia e trasmittanza copertura orizzontale del sottotetto

#### CONCLUSIONI

Nel complesso il sottotetto non presenta un'eccezionale resistenza alla trasmissione del calore. Tuttavia, non essendo riscaldato, limita la dispersione che si avrebbe se l'immobile presentasse al primo piano un diretto contatto con il tetto.

Si suggerisce di seguito l'installazione di pannelli isolanti da posare a terra contornati da una schiumatura ai bordi per limitare la presenza di ponti termici all'esterno.

### 2.3.5 Copertura orizzontale (tetto)

#### CONSIDERAZIONI

La copertura orizzontale del tetto consiste in una copertura discontinua a falde inclinate con elemento portante in legno. I listelli fungono da elemento di supporto della copertura in tegole e appoggiano direttamente sulla copertura isolante. Essi devono essere ancorati alla struttura portante in legno al fine di evitare la loro delocalizzazione. L'elemento isolante è stato posato durante la costruzione della casa, quindi necessiterebbe di un controllo al fine di valutarne le prestazioni isolanti. Il tetto non presenta una barriera contro le infiltrazioni d'acqua, tuttavia non si sono mai verificati problemi di tenuta della copertura.

#### DESCRIZIONI DELLA STRUTTURA

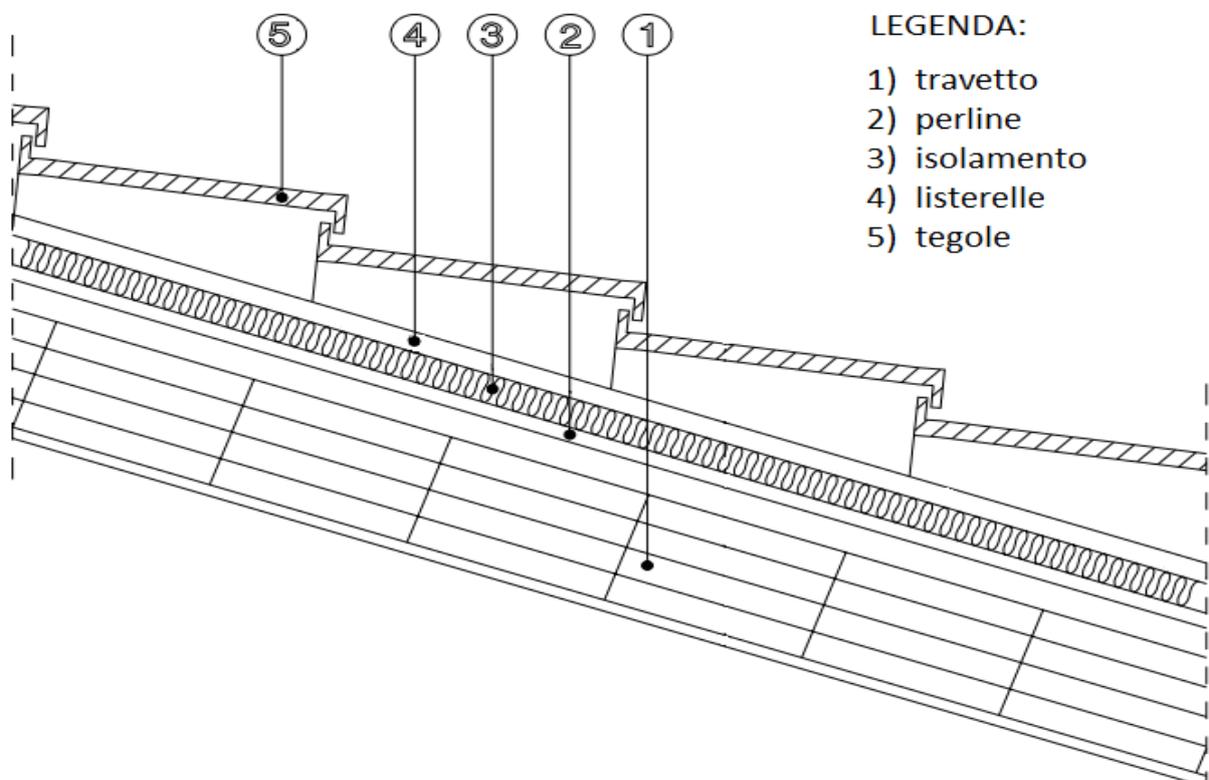
Trasmittanza totale copertura	0,453	W/(m <sup>2</sup> K)
Spessore copertura	35	cm
Inclinazione del tetto	17°	
Orientamento	45°	NE

#### CONDIZIONI AL CONTORNO

Temperatura interna	20	°C
Temperatura esterna di progetto	-7	°C
Coefficiente convettivo interno	8	W/(m <sup>2</sup> K)
Coefficiente convettivo esterno	25	W/(m <sup>2</sup> K)
Fattore di esposizione	-	

## STRATIGRAFIA

### SCHEMA DELLA STRUTTURA



#### LEGENDA:

- 1) travetto
- 2) perline
- 3) isolamento
- 4) listerelle
- 5) tegole

Figura 15: Composizione della struttura orizzontale del tetto

COPERTURA ORIZZONTALE				
STRATIGRAFIA COPERTURA ORIZZONTALE ESISTENTE				
MATERIALE	SPESSORE [mm]	SPESSORE [m]	K COND [W/(mK)]	R STRATO [(m <sup>2</sup> K)/W]
copertura in tegole	15	0,015	0,99	0,015
listerelle	20	0,02	0,192	0,104
isolante	30	0,03	0,046	0,652
strato di perline	20	0,02	0,15	0,133
travetto	150	0,15	0,132	1,136
<hr/>				
RESISTENZA COPERTURA ORIZZONTALE	2,041189065	[(m <sup>2</sup> K)/W]		
TRASMITTANZA COPERTURA ORIZZONTALE	0,489910522	[W/(m <sup>2</sup> K)]		
TRASMITTANZA COPERTURA CON COEFF CONVETTIVI	0,453270309	[W/(m <sup>2</sup> K)]		

Tabella 8: Stratigrafia e trasmittanza copertura orizzontale del tetto

## **CONCLUSIONI**

Le dispersioni sulla copertura orizzontale sono piuttosto elevate considerando che i valori limiti di legge per le case di nuova fabbricazione sono circa le metà. Anche in questo caso si propongono interventi di sostituzione del vecchio materiale isolante con uno strato più spesso (tra i 6 e gli 8 cm) di lana di roccia, in grado di garantire prestazioni notevolmente migliori. Inoltre anche l'inserimento di una barriera al vapore, consentirebbe un migliore controllo delle condizioni igrometriche dell'ambiente sottostante.

### 2.3.6 Pavimentazione su terra

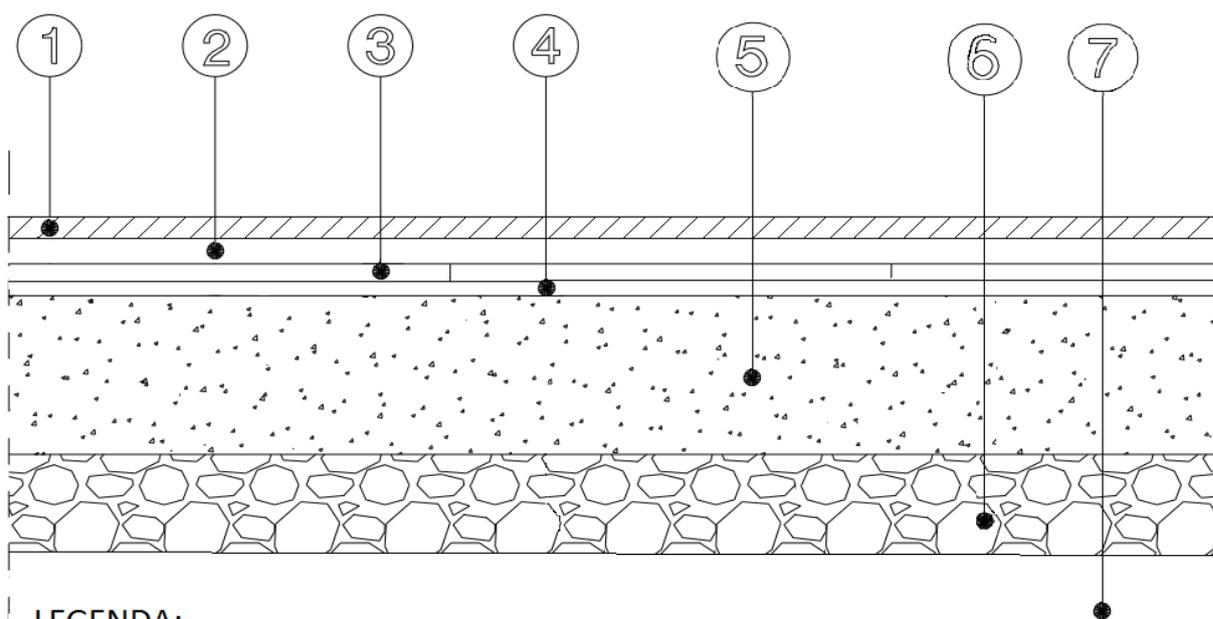
#### CONSIDERAZIONI

Come ultimo elemento strutturale viene analizzata la pavimentazione. Essa presenta una stratigrafia completa con elemento isolante di pochi centimetri di polistirene espanso; tuttavia non presenta un vespaio nella parte sottostante che garantisca un isolamento completo dal terreno.

#### DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

Trasmittanza totale	0,585	W/(m <sup>2</sup> K)
Spessore	74	cm

#### STRATIGRAFIA



#### LEGENDA:

- |                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1) piastrelle                       | 5) calcestruzzo ordinario       |
| 2) sottofondo in calcestruzzo magro | 6) ciottoli e pietre frantumate |
| 3) polistirene espanso              | 7) terreno umido                |
| 4) c.i.s. di argilla espanso        |                                 |

Figura 16: Stratigrafia della pavimentazione a terra

PAVIMENTAZIONE				
PAVIMENTAZIONE SU TERRA				
MATERIALE	SPESSORE [mm]	SPESSORE [m]	K COND [W/(mK)]	R STRATO [(m <sup>2</sup> K)/W]
strato laminare esterno	-	-	-	0,040
terreno umido	200	0,2	2,4	0,083
ciottoli e pietre frantumate	100	0,1	0,7	0,143
calcestruzzo ordinario	300	0,3	1,4	0,214
C.I.s di argilla espanso-densità 160	40	0,04	0,648	0,062
polistirene espanso	45	0,045	0,045	1,000
sottofondo in calcestruzzo magro	40	0,04	1,023	0,039
piastrelle	15	0,015	0,79	0,019
strato laminare interno	-	-	-	0,110
RESISTENZA PAVIMENTAZIONE SU TERRA	1,710	[(m <sup>2</sup> K)/W]		
TRASMITTANZA PAVIMENTAZIONE SU TERRA	0,58469527	[W/(m <sup>2</sup> K)]		

Tabella 9: Stratigrafia e trasmittanza della pavimentazione a terra

## CONCLUSIONI

I valori di trasmittanza del pavimento sono buoni e nel complesso le dispersioni sono ridotte, dunque non conviene agire sulla pavimentazione esistente (se non necessario) per una diminuzione del fabbisogno termico totale della casa, considerati anche i disagi che questo intervento comporterebbe.

## 2.4 Calcolo della potenza termica totale dispersa dall'involucro

Il prossimo passo consiste nel calcolare la potenza totale dispersa dall'involucro. Per procedere si calcolano le estensioni degli elementi opachi, degli elementi finestrati e delle coperture moltiplicandole per i valori di trasmittanza calcolati al paragrafo precedente e per il delta tra le temperature di progetto secondo la formula (4). Il processo viene iterato per ciascuna facciata in quanto a seconda dei punti cardinali variano i coefficienti di esposizione solare introdotti nella figura sottostante.

Considerato che l'abitazione forma un angolo di circa 45° Nord-Est, utilizzeremo come fattori i coefficienti relativi alle direzioni NE, SE e SO.

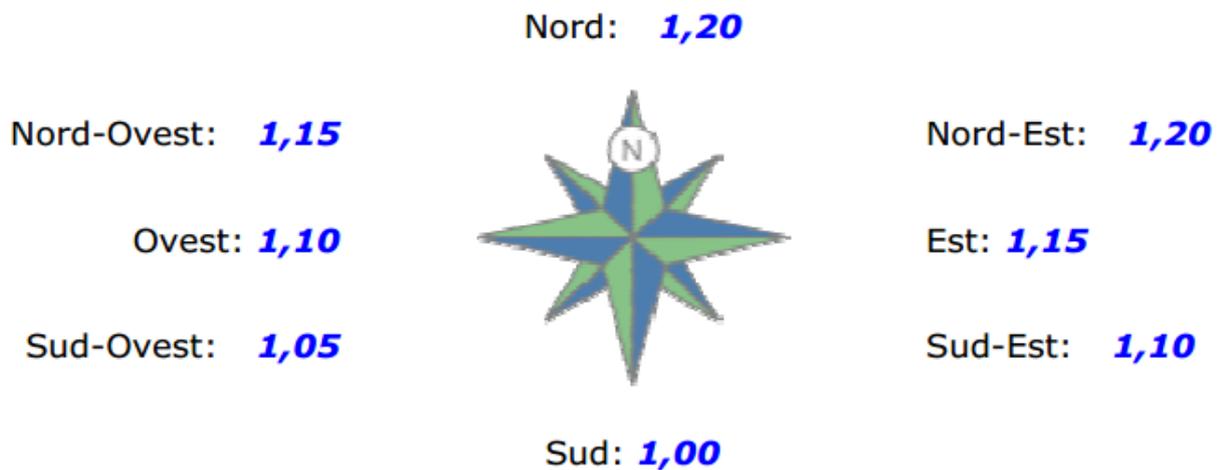


Figura 17: Fattori di esposizione solare

Le formule utilizzate per il calcolo del fabbisogno sono uguali elencate all'inizio di questo capitolo. Come volume di controllo viene considerato l'edificio comprendente piano terra, primo piano, sottotetto; esternamente delimitato dalle superfici opache su tre dei quattro lati, per il lato Nord-Ovest da un edificio di terzi, nella parte superiore dalla copertura del tetto e per quella inferiore il pavimento poggiante su terreno.

CALCOLO DISPERSIONI PER PROSPETTO NORD-EST							
PIANO	DESCR. ELEMENTO	$\theta$ esp [ - ]	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	S [m <sup>2</sup> ]	$\Delta T$	Q tot [W]	% Q tot
PT	finestre	1,2	1,70	3,81	27	209,85	9,27
PT	porta	1,2	2,058	1,47	27	98,02	4,33
1P	finestre 150X130	1,2	4,60	3,90	27	581,26	25,68
1P	finestre 60X130	1,2	5,00	1,56	27	252,72	11,16
1P	porta	1,2	-	-	-	0,00	0,00
PT e 1P	sup opache	1,2	0,66	52,47	27	1122,02	49,56
totale dispersioni prospetto NE						2263,87 W	

*Tabella 10: Dispersioni riferite al prospetto Nord-Est*

CALCOLO DISPERSIONI PER PROSPETTO SUD-EST							
PIANO	DESCR. ELEMENTO	$\theta$ esp [ - ]	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	S [m <sup>2</sup> ]	$\Delta T$	Q tot [W]	% Q tot
PT	finestre 90X130	1,1	1,70	2,34	27	118,15	7,01
PT	porta	1,1	-	-	-	0,00	0,00
1P	finestre 150X130	1,1	4,60	1,95	27	266,41	15,81
1P	porta	1,1	-	-	-	0,00	0,00
PT e 1P	sup opache	1,1	0,66	66,34	27	1300,40	77,18
totale dispersioni prospetto SE						1684,95 W	

*Tabella 11: Dispersioni relative al prospetto Sud-Est*

CALCOLO DISPERSIONI PER PROSPETTO SUD-OVEST							
PIANO	DESCR. ELEMENTO	$\theta$ esp [ - ]	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	S [m <sup>2</sup> ]	$\Delta T$	Q tot [W]	% Q tot
PT	finestre	1,05	1,70	6,20	27	298,81	12,45
PT	porta 100X210	1,05	2,058	2,10	27	122,52	5,10
1P	finestre 130X200	1,05	5,00	5,20	27	737,10	30,70
1P	porta 100X210	1,05	2,058	2,10	27	122,52	5,10
PT e 1P	sup opache	1,05	0,66	59,86	27	1120,04	46,65
totale dispersioni prospetto SO						2401,00 W	

*Tabella 12: Dispersioni relative al prospetto Sud-Ovest*

Il lato Nord-Ovest non è stato analizzato in quanto abbiamo assunto che non ci fossero dispersioni significative in quella direzione in quanto l'ambiente confinante viene ipotizzato a 20°C. Le dispersioni dei tre prospetti ammontano a 6349,82 W a cui vanno aggiunte quelle relative alla copertura orizzontale, ai pavimenti, ai ponti termici e alle perdite per ventilazione. Si osserva che i tre prospetti presentano valori di dispersione paragonabili tra loro. Nessuno dei valori ricavati emerge in modo predominante rispetto agli altri, ciò sottintende che un possibile

intervento d’inserimento di un cappotto esterno deve essere eseguito sull’intero perimetro esterno. Il prospetto Sud-Est presenta dei valori inferiori di cessione del calore poiché sono presenti minori superfici finestrate disperdenti in confronto ai restanti lati dell’edificio.

Anche le perdite per ventilazione rappresentano un importante fetta della potenza dispersa (vedi tabella 13). L’elevata volumetria dell’immobile è infatti direttamente proporzionale al valore della perdita. I rimanenti valori non sono riportati ma vengono riassunti nella tabella riepilogativa a fine pagina.

CALCOLO DISPERSIONI PER VENTILAZIONE							
PIANO	DESCR. ELEMENTO	V [m <sup>3</sup> ]	n [m <sup>3</sup> /h]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	cp aria [J/(kgK)]	ΔT	Q tot [W]
PT e 1P	ventilazione	600	0,5	1,2	1005	27	2713,50

Tabella 13: Dispersioni per ventilazione

Viene presentata una tabella riassuntiva di tutte le dispersioni dell’immobile suddivise per ciascun elemento dell’involucro.

TABELLA RIASSUNTIVA DELLE DISPERSIONI SITUAZIONE DI FATTO		
ELEMENTO	Q disp. elemento [W]	% Q tot
sup. opache	3542,46	27,75
porte	343,06	2,69
elem. Finestrati PT	626,81	4,91
elem. Finestrati 1P	1837,49	14,39
pavimento	1802,21	14,12
copertura sottotetto	768,81	6,02
copertura tetto	537,19	4,21
ponti termici	595,62	4,67
infiltrazioni	2713,50	21,25
Q totale disperso	12767,14 W	

Tabella 14: Tabella riassuntiva delle dispersioni della situazione di fatto

## CONCLUSIONI

Dalla tabella 14 si evincono numerose considerazioni sulla situazione attuale e sulle possibilità d'intervento future. In primo luogo si nota che le dispersioni lungo le superfici opache, ovvero le pareti perimetrali esterne, occupano circa un quarto di quelle totali. Qualora si volesse attuare una strategia di risparmio energetico, si rende necessario un intervento mirato su tutto il perimetro esterno senza prediligere nessuna facciata.

Un'altra considerazione riguarda il grafico a torta (figura 19) che riporta uno specchio sulle percentuali di dispersione degli elementi finestrati. Appare piuttosto chiara la differenza tra il piano terra e il primo piano dell'edificio dove sono state apportate le sostituzioni dei serramenti. I valori che ne risultano si riferiscono ad una diminuzione dal 14% a quasi il 5%, ovvero nove punti percentuali in meno. In termini di potenza termica si ha una differenza tra 600 e circa 1800 Watt.

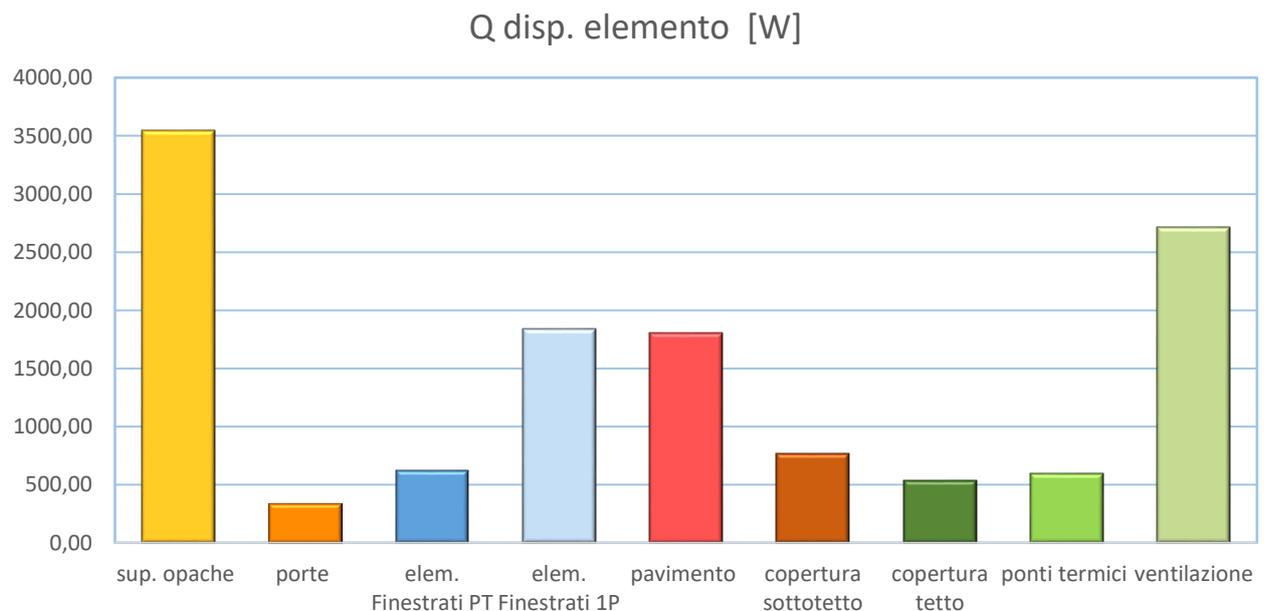


Figura 18: Potenze disperse dall'involucro (situazione di fatto)

Questo primo grafico riporta i valori di dispersione degli elementi della struttura, mentre quello sottostante (figura 19) riporta le percentuali di tali dispersioni.

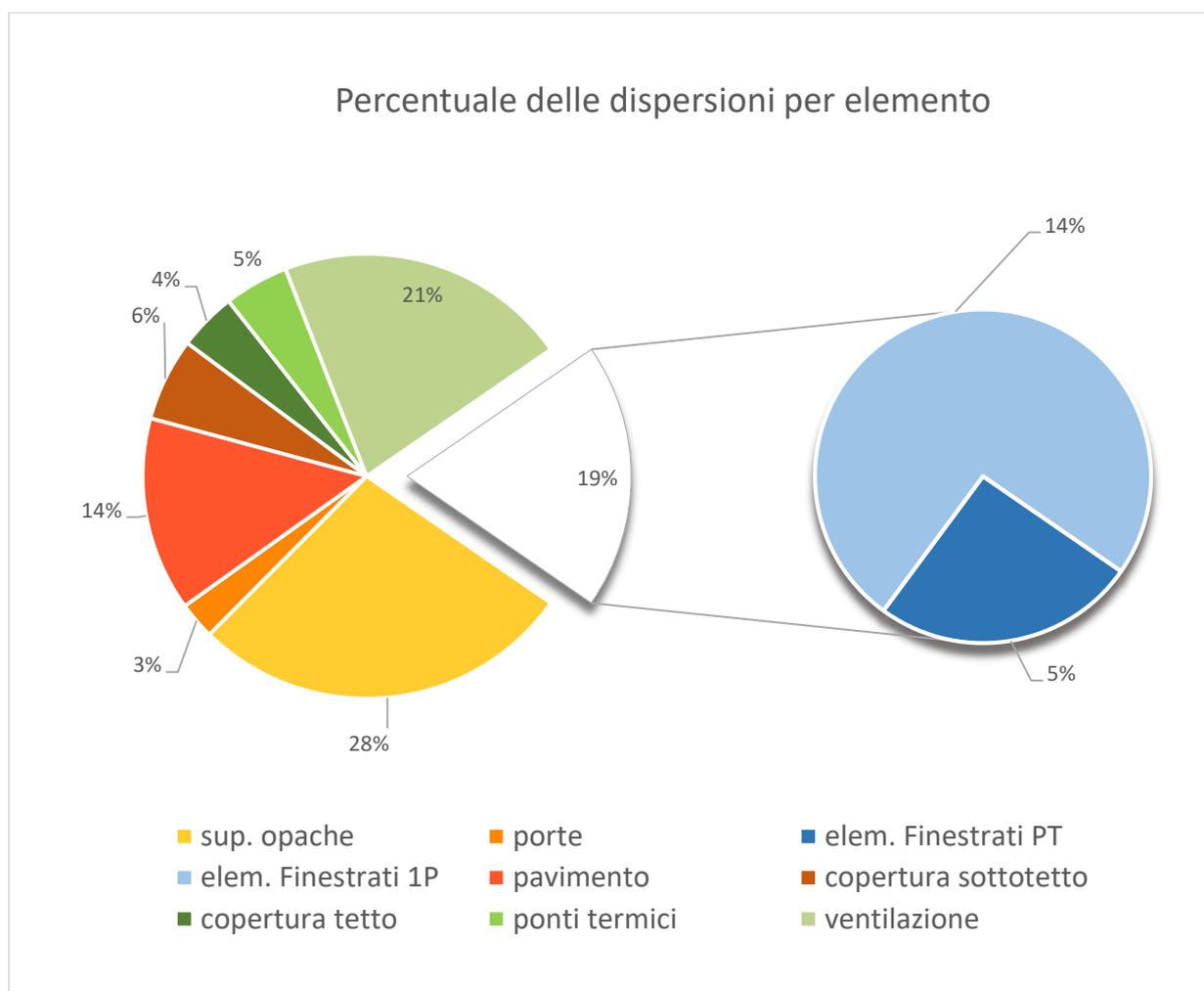


Figura 19: Percentuale delle dispersioni per elemento (situazione di fatto)

La ventilazione d'aria, come accennato precedentemente, si classifica al secondo posto come elemento maggiormente disperdente. Non potendo essere ridotta la cubatura dell'edificio, e non potendo variare i parametri di densità dell'aria, tale calore può essere ridotto solamente attraverso l'installazione di sistemi a ventilazione meccanica. Questi sistemi permettono un ricircolo controllato e temporizzato del fluido e i valori di efficienza raggiunti possono abbattere i consumi legati alla ventilazione naturale.

Nel capitolo successivo si analizzano gli interventi che portano a migliorare le caratteristiche dell'involucro. Si sono scelte tre distinte proposte:

1. Il miglioramento del cappotto esterno in quanto tra tutti gli elementi disperdenti corrisponde a quello con la più alta potenza, pari a 3542,46 W. Inoltre verranno spiegate le motivazioni che escludono la possibilità d'inserimento di un cappotto interno rispetto a quello perimetrale esterno.

2. La sostituzione degli infissi al primo piano. Dando uno sguardo alla figura 19 risulta evidente come la differenza tra vetro singolo (primo piano) e doppi vetri (piano terreno) influenzi notevolmente il comfort abitativo. Inoltre, riferendoci alla figura 4, che presenta i risparmi energetici per interventi con detrazione fiscale, si vuole verificare se la percentuale così elevata di interventi di sostituzione degli elementi trasparenti (41%) sia giustificata dai benefici ottenuti rispetto alla realizzazione di altre soluzioni.
3. Il rifacimento della copertura del sottotetto. Pur non presentando perdite paragonabili alle altre due considerate, questo intervento presenta un basso costo di intervento, quindi si vuole verificare se il rapporto benefici/costi risulta conveniente rispetto alle altre soluzioni.

### **3 Proposta delle soluzioni**

#### *3.1 Intervento riguardante l'inserimento di un cappotto esterno*

##### **CONSIDERAZIONI**

Il primo caso analizzato riguarda un intervento sulla superficie perimetrale esterna, con l'inserimento di un cappotto per limitare la dispersione di calore dall'interno verso l'esterno e di una barriera al vapore per scongiurare possibili infiltrazioni d'acqua dall'esterno.

Gli interventi necessari all'inserimento del cappotto si traducono nella rimozione dello strato esterno di muratura fino a riportare a vista il mattone vivo, si procede poi al fissaggio dello strato isolante mediante appositi montanti costituiti da profilati di acciaio inox o zincato. Nella fase successiva abbiamo il fissaggio meccanico dei pannelli mediante tasselli a disco in plastica o in acciaio. Infine si posiziona una lastra in fibrocemento a basso assorbimento d'acqua con la funzione di preservare lo strato isolante altresì esposto alle intemperie; l'ancoraggio alla parete avviene in questo caso tramite viti autofilettanti in acciaio inox a testa piatta. Ovviamente ad ogni intervento competono una serie di opere necessarie alla corretta messa in sicurezza dell'allestimento del cantiere e di tutte quelle attività temporanee a servizio dell'intervento.

Specificando che l'isolamento di un edificio può rientrare nelle seguenti categorie (isolamento interno, isolamento esterno e isolamento interstiziale), nel proseguo vengono espone quali siano le ragioni che hanno portato alla scelta di un intervento del secondo tipo. In primo luogo un'opera che interessi la superficie perimetrale esterna è la soluzione più efficace per garantire una corretta copertura ad un edificio. Infatti tale intervento è consigliato per ambienti riscaldati in continuo con interruzione notturna; così facendo durante il funzionamento dell'impianto si ha un notevole accumulo di calore nelle pareti e il suo rilascio avviene nelle ore notturne, col riscaldamento spento, migliorando notevolmente il comfort termico. Altra caratteristica positiva di questa soluzione è la totale eliminazione di ponti termici causati dalle travi e dai solai. In conclusione l'installazione di questo tipo d'isolamento durante la ristrutturazione di un edificio rende massimo il rapporto costi-benefici, in comparazione rispetto alla soluzione di cappotto interno considerato molto meno costoso ma poco efficace in ambito residenziale.

## DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

La nuova parete si configurerà come la precedente con l'aggiunta degli strati sopra citati che ne permetteranno una minore trasmittanza termica. Il materiale isolante scelto è lana di roccia vulcanica ROCKWOOL 211.652. Essa visivamente ha l'aspetto di un pannello semirigido costituito da lana di roccia, legato assieme con resine termoindurenti ed infine rivestito su un lato con velo minerale. E' stato scelto questo prodotto in primo luogo per le sue caratteristiche tecniche di bassa conduttività e d'isolamento termo-acustico mediante il suo sistema a facciata ventilata. In secondo luogo il pannello non è igroscopico né idrofilo pertanto l'umidità non ha alcun effetto sulla stabilità del prodotto, il quale mantiene le sue caratteristiche inalterate nel tempo, non subendo variazioni dimensionali o prestazionali al mutare delle condizioni termiche e igrometriche dell'ambiente. Infine soddisfa i criteri di biosolubilità e rientra nell'Euroclasse A2 in conformità alla normativa Europea EN 13501-1 fondendo a temperature maggiori di 1000 °C.

## STRATIGRAFIA DELLA NUOVA PARETE

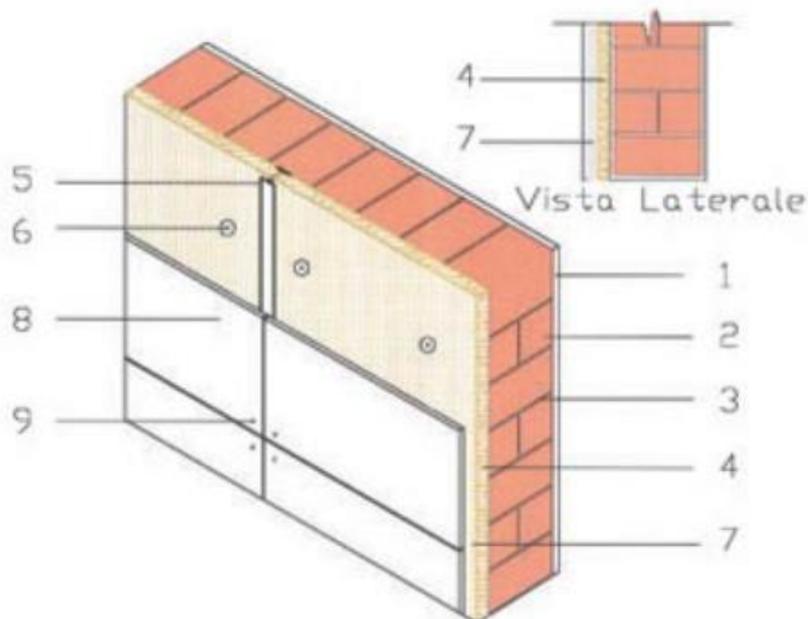


Figura 20: Stratigrafia delle pareti con cappotto

LEGENDA:

- 1) Rivestimento interno: Intonaco a gesso.
- 2) Strato di supporto: Elementi di laterizio pieno per murature portanti.
- 3) Legante: Malta bastarda per muratura composta da cemento, calce idraulica, sabbia e acqua. La sabbia dovrà essere esente da sostanze organiche e argillose.
- 4) Strato isolante: Pannello resinato rigido in lana di roccia vulcanica ROCKWOOL 211.652 rivestito su un lato con un velo minerale nero.
- 5) Montanti: Dispositivi di supporto dei pannelli isolanti costituiti da profilati di acciaio inox o zincato.
- 6) Fissaggi meccanici: Tasselli a disco in plastica o acciaio, almeno 4 per ogni pannello.
- 7) Intercapedine di ventilazione: Strato d'aria.
- 8) Strato esterno: Lastra in fibrocemento con massa volumica non inferiore a 500 kg/m<sup>3</sup> ed assorbimento d'acqua non superiore al 20%, composta da: impasto di cemento, acqua, vari tipi di materiali fibrosi minerali o vegetali. In alternativa si usano ceramiche o marmi.
- 9) Ancoraggio parete ventilata: Viti autofilettanti in acciaio inox a testa piatta.

Di seguito viene presentata la stratigrafia della nuova parete esterna.

PARETI PERIMETRALI ESTERNE				
STRATIGRAFIA PARETE PERIMETRALE ESTERNA CON INSERIMENTO CAPPOTTO DA 8 cm				
MATERIALE	SPESSORE [mm]	SPESSORE [m]	K COND [W/(mK)]	R STRATO [(m <sup>2</sup> K)/W]
intonaco interno e gesso	8	0,008	0,9	0,009
laterizio pieno	600	0,6	0,45	1,333
pannello in lana di roccia ROCKWOOL 211.652	80	0,08	0,036	2,222
intercapedine di ventilazione	40	0,04	0,25	0,160
lastra in fibrocemento	4	0,004	0,39	0,010
RESISTENZA PARETE	3,735	[(m <sup>2</sup> K)/W]		
TRASMITTANZA PARETE	0,268	[W/(m <sup>2</sup> K)]		
TRASMITTANZA PARETE CON COEFF CONVETTIVI	0,256	[W/(m <sup>2</sup> K)]		

Tabella 15: Spessori e trasmittanze delle pareti con cappotto

Questa tabella analizza invece i valori che vengono a modificarsi prima e dopo l'intervento sulle pareti perimetrali esterne.

PARETI PERIMETRALI PRE E POST-INTERVENTO		
ELEMENTO	PRE-INTERVENTO	POST-INTERVENTO
spessore [mm]	616	732
trasmissione [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,66	0,256
dispersioni parete [W]	3542,46	1374,04
Q dispersa totale [W]	12767,14	10598,73

*Tabella 16: Inserimento cappotto: variazioni delle dispersioni e della potenza termica*

La potenza dispersa totale presenta una diminuzione di 2168,41 W.

### 3.2 Intervento riguardante la sostituzione degli infissi

#### CONSIDERAZIONI

Allo stato di fatto anche le superfici trasparenti inserite al primo piano dell'edificio rappresentano una falla nell'involucro dell'edificio. Basti considerare (vedi figura 19) che i valori di potenza termica persa al piano terreno valgono circa un terzo rispetto a quelli al primo piano.

#### DESCRIZIONI DELLA STRUTTURA E STRATIGRAFIA

Si presenta quindi una soluzione anche per il piano sopraelevato sostituendo gli infissi a vetro singolo, caratterizzati da valori di trasmittanza maggiori di  $4,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , con serramenti a doppio vetro che hanno un'intercapedine riempita di gas a bassa emissività.

Anche per questo intervento presentiamo brevemente le caratteristiche dei nuovi materiali installati e la nuova stratigrafia: si è scelta una vetrocamera bassa-emissiva a 2 lastre, pellicolata sul lato interno con dei distanzianti in alluminio che dividono l'intercapedine tra le due lastre riempita di gas argon, il cui valore totale di trasmittanza vale  $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

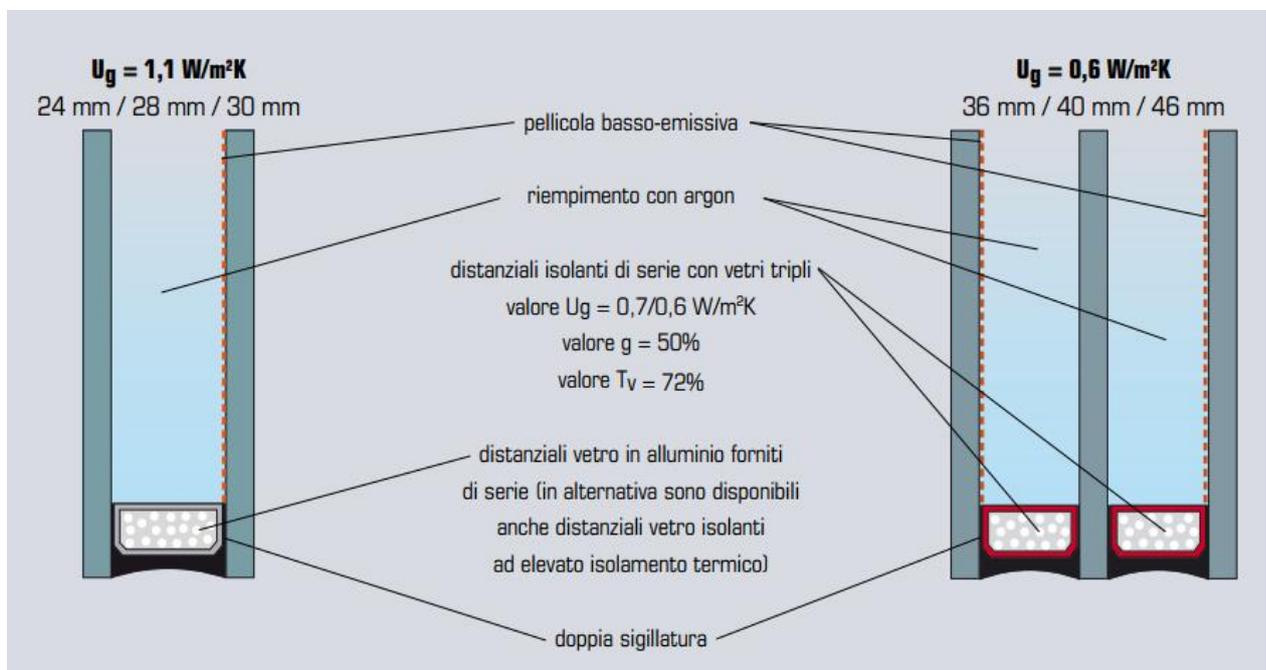


Figura 21: Descrizione elementi dei serramenti con doppio e triplo vetro

Anche in questo secondo caso i benefici dell'intervento sono innegabili, come lo dimostra la riduzione di oltre 1300W sul totale.

Nella tabella sottostante vengono presentate le dispersioni suddivise per prospetto e per piano terra e primo piano.

CALCOLO DISPERSIONI FINESTRE PER PROSPETTO POST-SOSTITUZIONE							
piano	descrizione elemento	$\theta$ esp [ - ]	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	S [m <sup>2</sup> ]	$\Delta T$	Q tot [W] pre-interveto	Q tot [W] post-interveto
PT	finestre NE	1,2	1,70	3,81	27	209,85	209,85
PT	finestre SE	1,1	1,70	2,34	27	118,15	118,15
PT	finestre SO	1,05	1,70	6,20	27	298,81	298,809
1P	finestre NE	1,2	1,10	5,46	27	833,98	194,59
1P	finestre SE	1,1	1,10	1,95	27	266,41	63,71
1P	finestre SO	1,05	1,10	7,30	27	737,10	227,65
PT	dispersioni PT [W]					626,81	626,81
1P	dispersioni 1P [W]					1837,49	485,95

Tabella 17: Calcolo delle dispersioni per prospetto con infissi a doppio vetro

### *3.3 Intervento riguardante l'adeguamento della copertura orizzontale con confronto soluzione isolamento tetto o sottotetto*

#### **CONSIDERAZIONI**

L'ultimo elemento strutturale da migliorare è la copertura orizzontale. Per quanto riguarda il tetto, dato che la struttura portante in legno non risulta modificabile, si andrebbe ad intervenire in una prima fase sulla rimozione dello strato isolante posto sopra la copertura in perline e, in una seconda fase, sulla sostituzione dello stesso con un nuovo materiale tecnologicamente più avanzato che permetta una minore conducibilità del calore. Purtroppo tale intervento risulta particolarmente oneroso nella sua realizzazione, infatti esso comporta l'asporto di tutta la copertura in tegole e delle listarelle in legno e inoltre è notevole il costo legato al montaggio e allo smontaggio del trabattello necessario al fine di poter lavorare in sicurezza sulla copertura. Il fissaggio dell'isolante e il riposizionamento degli elementi rimossi risulta di minore dispendio in termini di tempo e monetari.

Una soluzione, più comunemente utilizzata, riguarda la coibentazione del sottotetto, il quale limita direttamente le fughe di calore dall'ambiente riscaldato verso quello non riscaldato. Una soluzione di questo tipo non necessita del noleggio di strutture di sostegno esterne per la sua realizzazione, e inoltre permette, a fronte di spese sicuramente inferiori a quelle di rifacimento della copertura del tetto, un buon compromesso tra spese e guadagno finale in termini di efficienza dell'intervento. Di seguito viene analizzata solamente la soluzione di coibentazione del sottotetto.

#### **DESCRIZIONE DELLA NUOVA STRUTTURA**

La coibentazione del sottotetto avviene tramite la posa di pannelli in polistirene espanso estruso a celle chiuse la cui conducibilità termica si aggira attorno ai  $0,038 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

I vantaggi che ne derivano sono notevoli: prima di tutto il basso costo lo fa preferire a molti altri materiali che, per conseguire gli stessi risultati, verrebbero a costare molto di più; in secondo luogo il potere idrorepellente e traspirante ne permette l'utilizzo anche in situazione di estrema umidità, senza pericolo di accumulo.

## STRATIGRAFIA

Nella tabella sottostante viene presentata la nuova stratigrafia del sottotetto con i relativi valori di trasmittanza post-intervento.

COPERTURA ORIZZONTALE SOTTOTETTO POST-INTERVENTO				
STRATIGRAFIA COPERTURA ORIZZONTALE SOTTOTETTO POST-INTERVENTO				
MATERIALE	SPESSORE [mm]	SPESSORE [m]	K COND [W/(mK)]	R STRATO [(m <sup>2</sup> K)/W]
resistenza superficiale interna	-	-	-	0,130
intonaco interno e gesso	8	0,008	0,9	0,009
travetto portante	190	0,19	0,132	1,439
massetto alleggerito con perle di polistirene	50	0,05	0,052	0,962
sottofondo in calcestruzzo magro	40	0,04	1,023	0,039
pavimentazione	2	0,002	0,8	0,003
resina adesiva	2	0,002	0,9	0,002
pannelli di polistirene espanso	120	0,12	0,038	3,158
resistenza superficiale interna	-	-	-	0,130
RESISTENZA COPERTURA ORIZZONTALE	5,872	[(m <sup>2</sup> K)/W]		
TRASMITTANZA COPERTURA ORIZZONTALE	0,170	[W/(m <sup>2</sup> K)]		

Figura 22: Stratigrafia dell'intervento di coibentazione del sottotetto

### 3.4 Considerazioni finali sugli interventi effettuati

Al fine di migliorare l'efficienza energetica complessiva dell'immobile in oggetto sono state avanzate le seguenti proposte migliorative:

<b>Pareti opache perimetrali:</b>	<b>realizzato (isolam. in lana di roccia 8 cm)</b>
<b>Elementi finestrati trasparenti:</b>	<b>realizzato (doppi vetri basso emissivi)</b>
Elementi opachi porte:	non realizzato
Copertura orizzontale del tetto:	non realizzato
<b>Copertura sottotetto:</b>	<b>realizzata (12 cm di polistirene espanso)</b>
Pavimentazione a terra:	non realizzato
Ventilazione dell'edificio:	non realizzato
Ponti termici:	non realizzato

Se effettuate nella loro completezza, gli interventi modificano fortemente le condizioni termoigrometriche dell'edificio esistente come si può notare dall'analisi sotto presentata (tabella 18).

ANALISI COMPARATIVA DELLE DISPERSIONI PRE E POST-INTERVENTO			
	PRE-INTERVENTO	POST-INTERVENTO	RISPARMIO
elemento	Q disp. elemento [W]	Q disp. elemento [W]	Q risparmiata [W]
sup. opache	3542,46	1374,04	2168,41
porte	343,06	343,06	-
elem. Finestrati PT	626,81	626,81	-
elem. Finestrati 1P	1837,49	485,95	1351,53
pavimento	1802,21	1802,21	-
copertura sottotetto	768,81	354,20	414,62
copertura tetto	537,19	537,19	-
ponti termici	595,62	595,62	-
infiltrazioni	2713,50	2713,50	-
<b>Q totale disperso [W]</b>	<b>12767,14</b>	<b>8832,58</b>	<b>3.934,56</b>
<b>Riduzione in percentuale [%]</b>			<b>30,82%</b>

Tabella 18: Analisi comparativa delle dispersioni e riduzione percentuale

Il secondo grafico che viene riassumere solamente le informazioni che sono già presenti nella tabella, permettono tuttavia di stabilire a colpo d'occhio quali parametri siano variati e in che misura rispetto alla situazione di fatto.

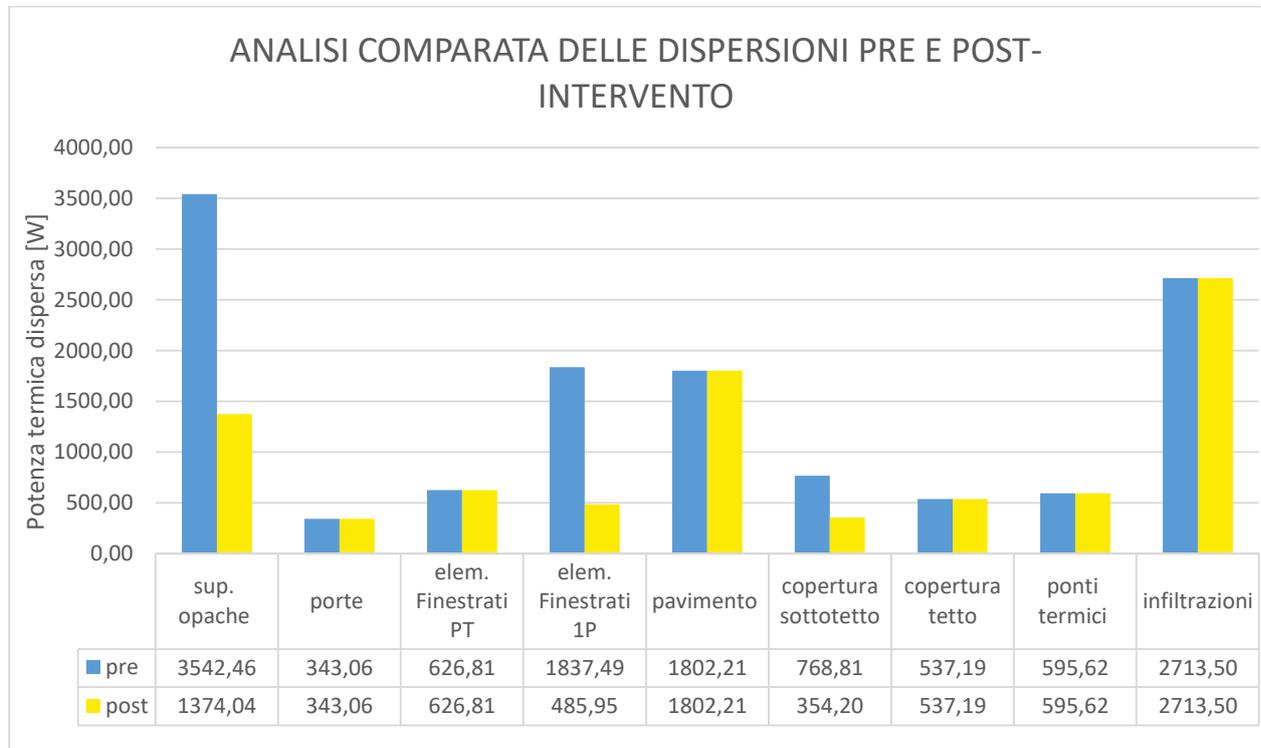


Figura 23: Valori comparati pre e post intervento

In seguito vengono paragonati tra loro gli interventi realizzati, proponendo un confronto dei vantaggi e svantaggi di ognuno di essi.

### **INSERIMENTO DI UN CAPPOTTO ESTERNO**

La prima soluzione conferisce all'involucro il maggiore risparmio in termini energetici. Si vuole sottolineare come, accettando un aumento di spessore di circa 12 cm si riesca a garantire una diminuzione del carico termico pari al 60% riferita alle sole pareti opache.

I vantaggi che derivano dall'isolare l'edificio col sistema a facciata ventilata, utilizzando i pannelli in lana di roccia, sono notevoli:

- La realizzazione dell'isolamento termico in modo omogeneo e continuo, al fine di ottenere un totale controllo dei ponti termici sulle varie facciate e contemporaneamente il miglioramento del volano termico delle pareti.

- L'eliminazione parziale dei ponti termici, dovuti ai pilastri e ai solai, dunque la riduzione delle dispersioni termiche garantendo dei sicuri risparmi energetici e un migliore comfort abitativo.
- La riduzione del carico termico dell'edificio durante la stagione calda grazie alla parziale riflessione della radiazione solare incidente sulla facciata. Inoltre grazie al nuovo rivestimento è permessa una ventilazione naturale di aria nell'intercapedine.
- La protezione dal fuoco grazie alla natura inorganica del prodotto.

### **SOSTITUZIONE DEGLI INFISSI**

La sostituzione degli infissi è la seconda alternativa in ordine di risparmi generati e attesta un risparmio di circa 1300 W. La riduzione rispetto al valore precedente è stata del 73,55% con un'incidenza totale che pesa ora meno della metà su quella relativa alla totalità degli elementi finestrati, ovvero 485,95 W su un totale di 1112,76 W (vedi tabella 18).

I vantaggi connessi alla sostituzione delle vecchie finestre sono tanti. Tra i principali si ricordano:

- Il risparmio dovuto all'alto livello di isolamento termico all'interno dell'abitazione, come si evince dal basso valore di trasmittanza associato alla soluzione con una vetrocamera bassa-emissiva.
- Una riduzione o l'azzeramento dei costi di manutenzione, in particolar modo tenendo conto che le finestre al primo piano non sono mai state sostituite.
- Un maggiore isolamento acustico che migliora il comfort abitativo.
- Una maggiore sicurezza data dalla maggiore robustezza dei vetri.

### **COIBENTAZIONE DEL SOTTOTETTO**

Anche quest'ultimo intervento apporta benefici notevoli, in particolar modo se si considera il paragone con i costi sostenuti. Innanzi tutto, come sottolineato nei precedenti paragrafi, una migliore resistenza termica del sottotetto impedisce una costante dispersione di calore causa di costi aggiuntivi di combustibile; secondariamente si ottiene una riduzione dei ponti termici della copertura e infine viene garantita una maggiore barriera all'umidità e alle possibili formazioni di muffa negli ambienti riscaldati.

Si vede come le dispersioni totali dell'edificio diminuiscono di una quantità non eccessivamente elevata: 400 W circa. Tuttavia si rimarca che l'intervento nel complesso contribuisce ad abbassare il fabbisogno complessivo a fronte di una spesa poco impegnativa.

Pertanto la potenza necessaria per mantenere l'interno dell'edificio considerato ad una temperatura costante di 20°C, 24/24 ore, con -7°C all'esterno nei mesi invernali, risulta diminuita da circa 12700 a 8800W, ovvero di una quota pari circa al 30%.

Questo è un dato di dimensionamento che riguarda la potenza richiesta dall'edificio. La potenza di progetto da installare sarà sicuramente maggiore in quanto vanno tenuti in considerazione i rendimenti di distribuzione, di emissione, di controllo e generazione del generatore di calore considerato<sup>16</sup>.

Nel prossimo paragrafo verrà trattato lo studio del fabbisogno termico annuale dell'involucro calcolato nelle condizioni sia prima sia dopo la proposta delle soluzioni migliorative.

---

<sup>16</sup> La potenza è calcolata in ogni caso come differenza tra temperatura esterne di progetto e temperatura ambiente, tuttavia per il calcolo della potenza dispersa da tetto e sottotetto abbiamo utilizzato una temperatura di 2°C dell'ambiente non riscaldato presente sotto la copertura, ottenuta attraverso una media pesata dei coefficienti di scambi termici tratti dall'allegato DDG\_5796 della regione Lombardia.

### 3.5 Calcolo del fabbisogno energetico

Calcolato il valore della potenza totale dispersa dell'involucro, si valuta il fabbisogno dell'immobile, ovvero l'energia annuale che sussiste al riscaldamento.

Successivamente, preso atto del tipo di generatore di calore attualmente utilizzato, viene stimato il costo del combustibile e il margine massimo di risparmio conseguibile con la sostituzione con un macchinario di maggiore efficienza.

Il calcolo del fabbisogno può avvenire sia per singolo elemento strutturale sia può essere preso come valore complessivo da utilizzare per il calcolo sull'energia necessaria alla climatizzazione.

La formula per il calcolo del fabbisogno per la climatizzazione viene riportata qui sotto (9):

$$F_{climatizzazione} = \sum_k \theta_k * S_{elemento,k} * \tau_{elem,k} * GG * \frac{24}{1000}$$

Dove:

$F_{climatizzazione}$  è il fabbisogno termico complessivo espresso in [kWh/anno]

$\theta_k$  è il fattore di esposizione relativo alla posizione dell'elemento considerato [ - ]

$S_{elemento,k}$  è la superficie espressa in [m<sup>2</sup>]

$\tau_{elem,k}$  equivale alla trasmittanza dell'elemento [W/(m<sup>2</sup>K) ]

$GG$  ovvero i gradi giorno sono espressi come la differenza tra la temperatura esterna di progetto e quella reale in un arco di tempo annuale [°C]

24/1000 rappresentano le 24 ore al giorno, mentre il denominatore della frazione è semplicemente utilizzato come equivalenza tra Wh e kWh.

Mentre per il calcolo del fabbisogno per Acqua Calda Sanitaria (10):

$$F_{ACS} = C_{acqua} * n_{pp} * \rho_{acqua} * c_{acqua} * (T_{falda} - T_{mandata})$$

Dove:

$C_{acqua}$  rappresenta il consumo di ACS giornaliera a persona stimato circa 50 [l/pp/gg]

$n_{pp}$  è il numero di abitanti dell'immobile: in questo caso ipotizzato 3 [pp]

$\rho_{acqua}$  fattore di conversione tra litri e kg: 1 [l/kg]

$c_{acqua}$  è il calore specifico dell'acqua pari a 1,162 [Wh/kg/K]

$T_{falda}$  è la temperatura di prelievo dell'acqua: 10 [°C]

$T_{mandata}$  rappresenta la temperatura a cui deve essere portata l'acqua: 50 [°C]

Infine per il calcolo del fabbisogno elettrico, viene presa la somma dei consumi annui di elettricità di ciascun appartamento (dati presi dalla bolletta elettrica).

Calcolati i fabbisogni (espressi in kWh/anno) per i singoli elementi, si presenta ora una tabella riepilogativa contenente la richiesta di energia totale prima e dopo aver conseguito i miglioramenti al potere disperdente della struttura. Infine, ipotizzato un costo attuale del combustibile e un rendimento globale del sistema, si stima il costo per la climatizzazione invernale.

COSTI COMBUSTIBILE E RISPARMI TRAMITE INTERVENTI DI RISTRUTTURAZIONE				
	esistente	progetto	riduzione	riduzione %
fabbisogno [kWh]	29983,55	21143,41	8840,14	
costo	€ 4.174,93	€ 2.944,02	-€ 1.230,91	-30,82

Tabella 19: Riepilogo dei fabbisogni globali e della riduzione dei costi annui associati alla diminuzione del fabbisogno per climatizzazione

Le ipotesi utilizzate per il calcolo della riduzione di costo sono state le seguenti:

Ipotesi rendimento globale (presentato nel paragrafo successivo) 0,79

Ipotesi costo combustibile (gas naturale) in [€/kWh] pari a 0,11

Il costo annuale è calcolato così:  $C_{annuale} = (F_{climatizzazione}/n) * C_{comb}$

Il risparmio annuo di 1230,91 € da riferire alla diminuzione del consumo di gas utilizzato per il riscaldamento. La percentuale risparmiata sia di consumo di combustibile sia di fabbisogno termico risulta essere pari al 30% solamente se gli interventi di ristrutturazione sono eseguiti contemporaneamente.

### 3.6 Tempi di break-even degli investimenti

In questo paragrafo si stimano i costi che presentano i singoli interventi di ristrutturazione della casa e si paragona il risparmio annuo conseguibile e il tempo di break-even di ciascuno di essi (tabella 21).

TEMPO DI RITORNO NELL'INVESTIMENTO (BREAK EVEN PONT)					
intervento	costo	risparmio generato	ritorno in anni	detrazione	ritorno in anni con detrazione
finestre 1P	€ 5.500,00	€ 458,63	11,99	65%	6,74 anni
sup opache	€ 14.400,00	€ 701,07	20,54	65%	8,80 anni
sottotetto	€ 2.282,00	€ 71,20	32,05	65%	11.05 anni

Tabella 20: Tempi di ritorno degli investimenti proposti

Dove la colonna del risparmio generato è stata calcolata anch'essa come una riduzione del costo associato al combustibile per il miglioramento effettuato.

$$R_{generato,k} = Rid^{17} \text{ fabbisgono},k / n_{globale} * C_{comb}$$

Dove k è relativo rispettivamente al primo, secondo o terzo investimento; il rendimento globale e il costo del combustibile sono gli stessi ipotizzati precedentemente.

Sia per i tempi di rientro presentati in tabella sia per quelli dei grafici sottostanti si sono ipotizzati nulli i valori dell'inflazione e del coefficiente di rischio, inoltre non si tiene conto di un aumento del costo del combustibile negli anni.

I primi due interventi analizzati presentano i tempi di break-even minori, inferiori ai 9 anni, mentre l'ultimo intervento supera i 10 anni di rientro. La condizione di accettabilità o meno del rientro dell'investimento è affidata alla cura del cliente, che in base alle disponibilità economiche attuali può valutare quanto convenga intervenire.

Il primo grafico prende in considerazione il caso di sostituzione degli elementi finestrati, come riportato dalla didascalia dell'immagine.

<sup>17</sup> Il valore della riduzione del fabbisgono non è presentato nello scritto, tuttavia viene calcolato tramite la formulazione sopra esposta

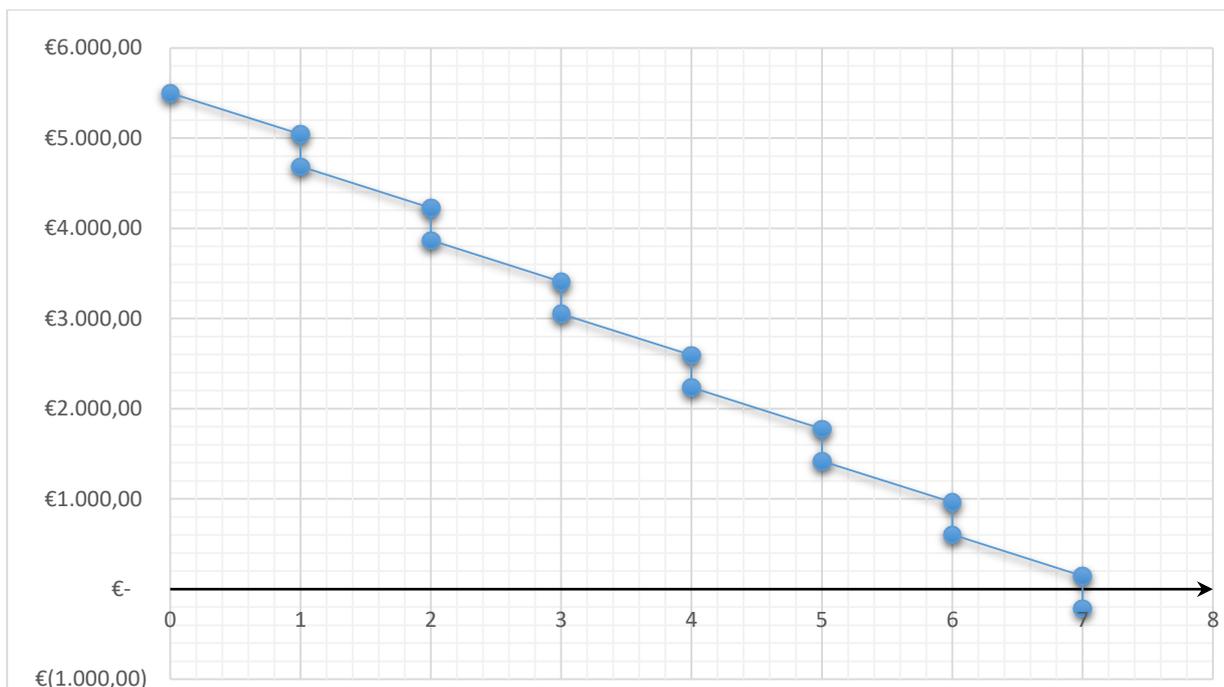


Figura 24: Tempo di break-even per la sostituzione degli infissi

Questo secondo grafico presenta invece i tempi di break-even per l'inserimento di un cappotto sulle pareti perimetrali.

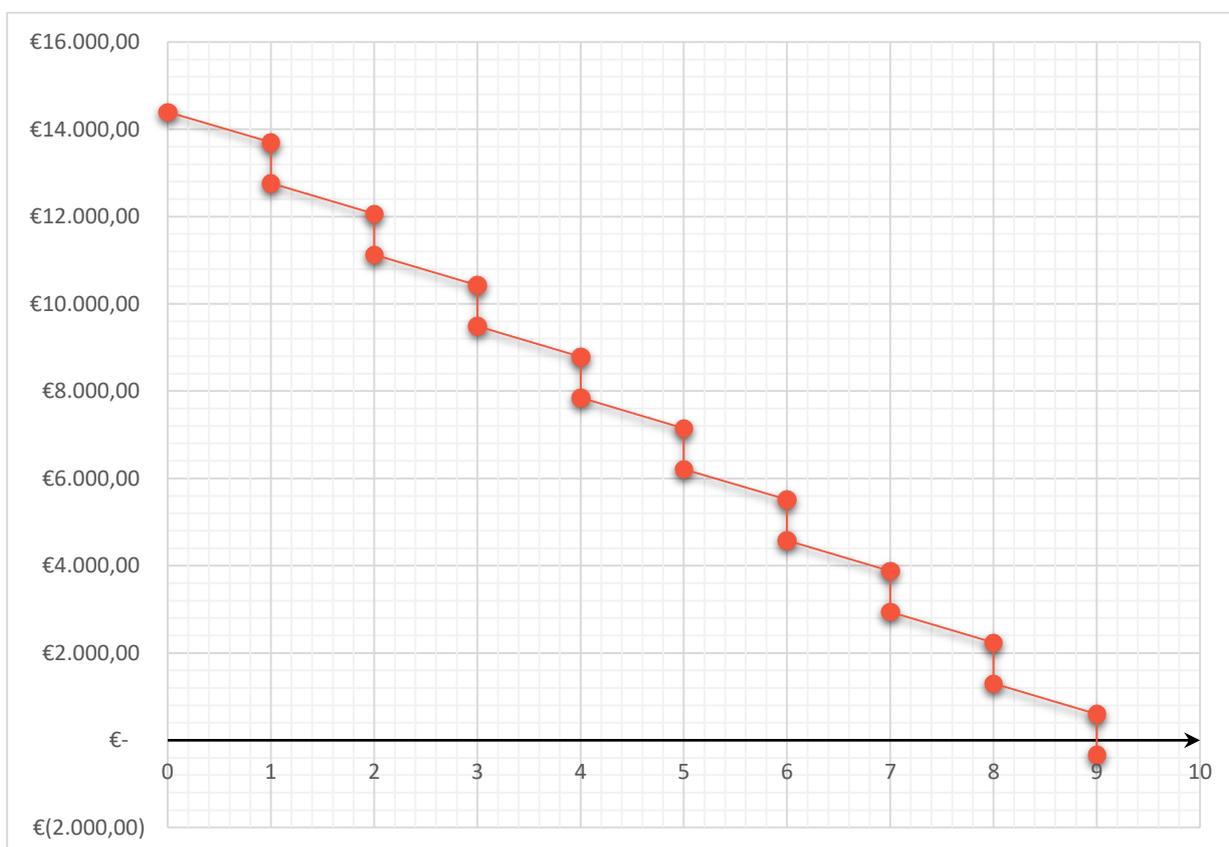


Figura 25: Tempo di break-even per l'inserimento del cappotto in lana di roccia

Infine abbiamo la soluzione per la coibentazione del sottotetto.

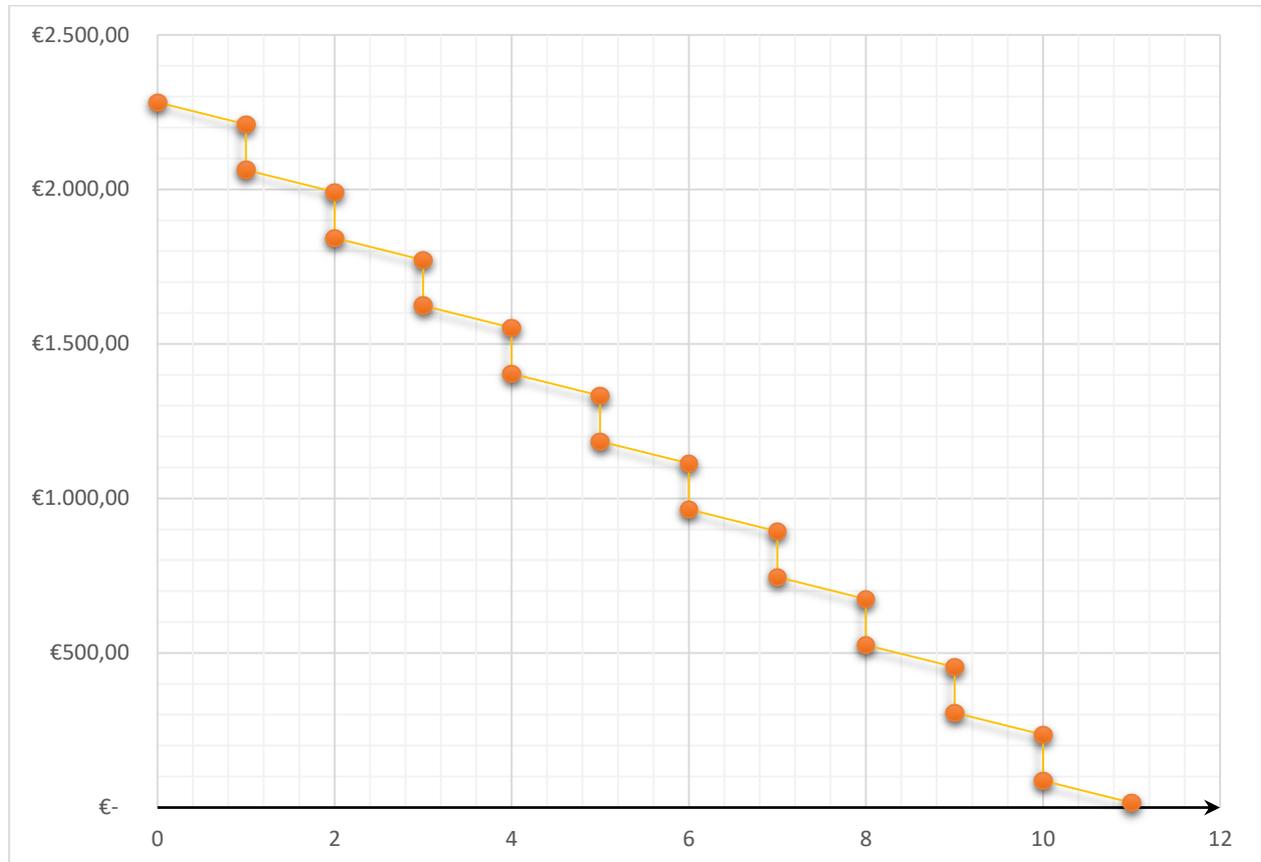


Figura 26: Tempo di break-even per la coibentazione del sottotetto

La prima soluzione presenta i tempi di break-even più ridotti. Tuttavia, nel seguito, dopo aver presentato gli altri tempi di ritorno, si compiono delle analisi più approfondite atte a stabilire la reale convenienza di questa soluzione nel confronto con le altre due. Data la ridotta estensione della metratura delle finestre del primo piano (circa 13 m<sup>2</sup>), volendo calcolare un costo al metro quadrato, esso presenterà il valore più elevato in assoluto. Per contro anche la resa espressa in €/m<sup>2</sup> presenterà il valore maggiore.

La soluzione di rifacimento delle pareti perimetrali genera un risparmio pari circa a 700 €/anno, a fronte di una spesa di circa 80 €/m<sup>2</sup> per un totale di circa 180 m<sup>2</sup> di superficie laterale. La spesa iniziale risulta molto cospicua, quindi tale osservazione spesso porta a scartare questa soluzione a favore di altre economicamente più sostenibili nel breve termine.

Per ultimo il rifacimento del sottotetto (costo di 20 €/m<sup>2</sup>) sembra essere la soluzione che comporti il più alto rapporto costi/benefici, questa è una conseguenza del fatto che le dispersioni

verso la copertura orizzontale sono poco influenti rispetto al totale. Tuttavia tra le analisi proposte presenta il minimo costo di investimento e la più facile realizzazione creando il minimo disagio per gli occupanti dell'abitazione.

Un punto di forza, valido per tutte le alternative, riguarda il fatto che le soluzioni proposte non sono soggette a tempi di usura rapidi. Ne consegue che, una volta effettuato l'investimento, il cliente può favorire dei risparmi per tempistiche della durata di decenni.

### 3.7 Analisi comparata del fabbisogno per zona climatica

Come ultima analisi viene presentato il caso dello stesso immobile situato in tre differenti zone d'Italia. Sono state scelte tre città appartenenti rispettivamente al Nord (Lipomo già oggetto di studio), al centro (Firenze) e al Sud (Bari) del nostro paese. Lo scopo dell'analisi è stabilire se e di quanto variano i fabbisogni per climatizzazione a seconda della fascia climatica e della regione di appartenenza. Nella tabella a fianco si presentano i dati climatici, le altitudini e i valori di gradi giorno rilevati dall'ENEA.

Figura 27: Fascia climatica e città oggetto di studio



	Lipomo	Firenze	Bari
Fascia climatica	E	D	C
Gradi Giorno	2615	1821	1185

Tabella 21: Gradi giorno e fascia climatica delle città oggetto di studio

L'immobile presenta le stesse caratteristiche di fabbisogno per climatizzazione, elettrico e richiesta di acqua calda sanitaria. Il fabbisogno per ACS viene ricavato utilizzando i valori ipotizzati nella formula (10), mentre quello per illuminazione e utilizzo della corrente elettrica è stato dedotto dai valori riportati sulle bollette elettriche dei due appartamenti, pari a circa 3000 kWh annui.

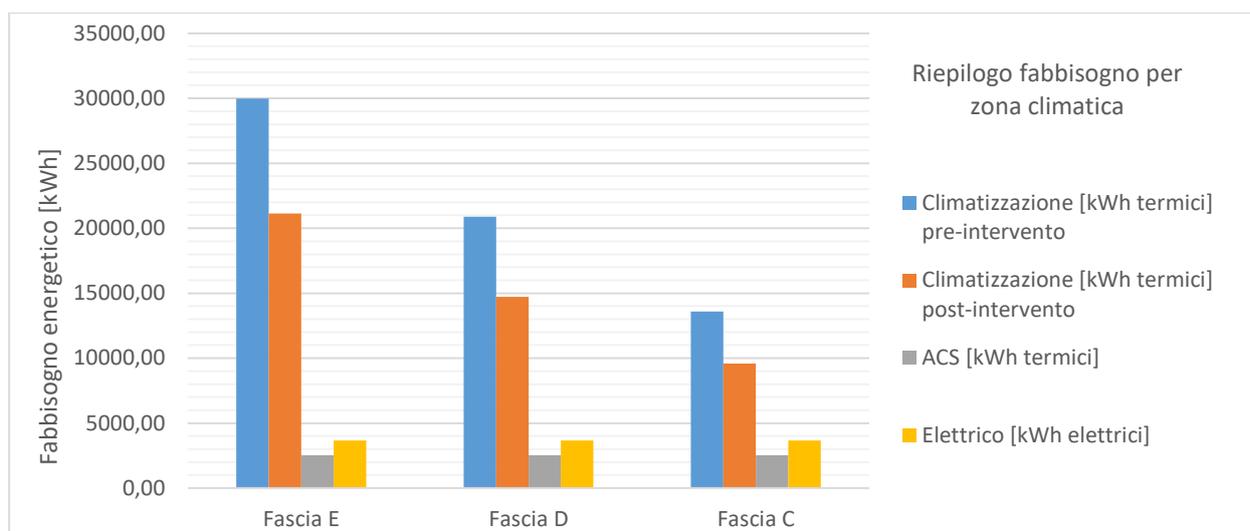


Figura 28: Riepilogo dei fabbisogni per zona climatica

La prima doverosa considerazione riguarda il fabbisogno complessivo: spostandoci lungo le fasce climatiche (dalla E verso la C) esso diminuisce proporzionalmente all'abbassamento dei gradi giorno della località. Tale osservazione è valida solamente per il carico di energia necessario al riscaldamento e raffrescamento, mentre si è considerato costante quello elettrico e di ACS. L'assunzione fatta sulla stessa potenza consumata per riscaldare l'acqua sanitaria non è propriamente corretta. Mentre le temperature di falda al Nord valgono circa 10°C, al Sud presentano valori più elevati, dunque il fabbisogno termico necessario è destinato a diminuire. Tuttavia non risultando rilevante nella nostra analisi, questo valore viene considerato costante. Un secondo punto di interesse è rappresentato dalla diminuzione, oltre che quella del fabbisogno, anche da quella dei risparmi attesi. I tempi di break-even, infatti, vengono calcolati sul risparmio generato dalla riduzione di fabbisogno termico. Essendo tra loro inversamente proporzionali, una diminuzione del ritorno monetario provoca un'estensione dei tempi di rientro nell'investimento. Se nella località di Lipomo la variazione di fabbisogno è di circa 9000 kWh (vedi figura 28), spostandoci a Bari abbiamo una differenza dall'ordine di circa 4000 kWh, vale a dire meno della metà. L'investimento, non variando proporzionalmente con il cambiamento della regione, risulterà molto più conveniente se effettuato al Nord rispetto ad una località del mezzogiorno.

Infine si esegue un'ultima analisi volta a sostenere l'evidente peso che comporta la differenza di fascia climatica. Nel grafico sottostante (figura 29) si è ipotizzato lo stesso intervento di sostituzione degli infissi a vetro singolo e sono state ricavati i tempi di pay-back a parità del costo iniziale di investimento.

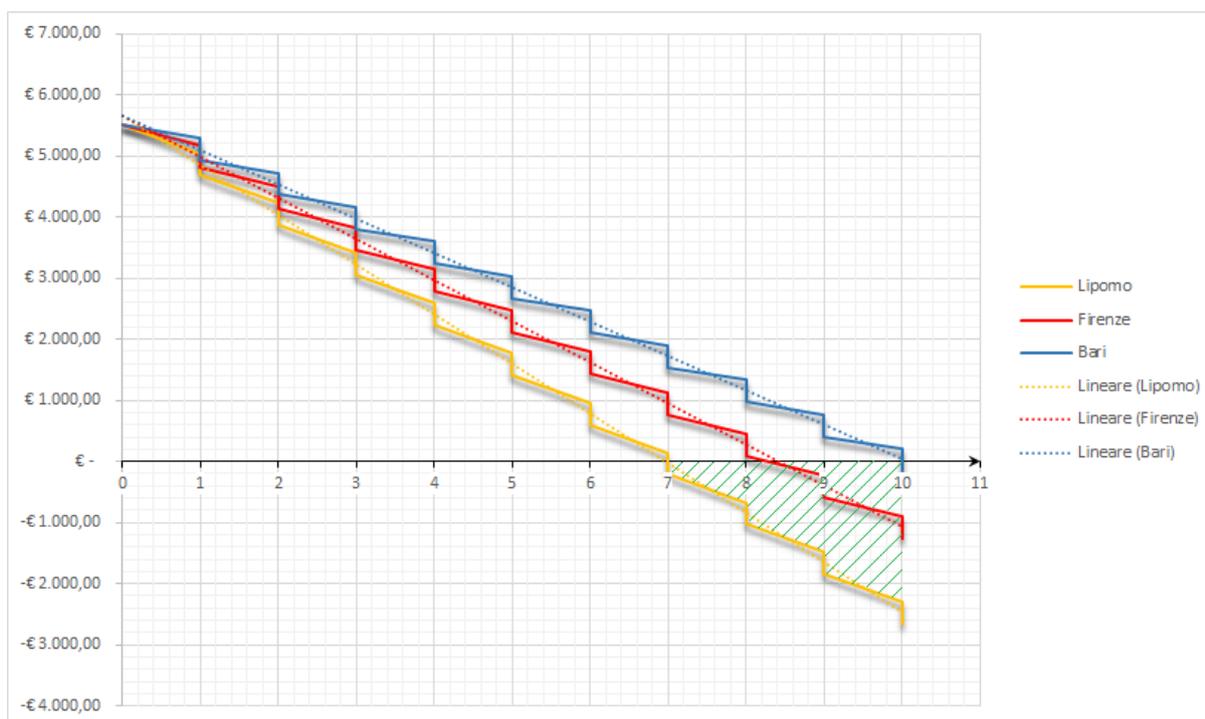


Figura 29: Valutazione dei tempi di pay-back a seconda della località di appartenenza

L'intervento che si è preso come esempio è stato scelto in quanto presentava sia il più alto valore di benefici al metro quadrato, sia i minori tempi di rientro nell'investimento. Se si fosse rappresentato un altro intervento, le differenze tra Nord, centro e Sud sarebbero state ancora più accentuate. Si riscontrano differenze di tre anni tra Nord e Sud, e di più di un anno tra Nord e centro Italia. L'area tratteggiata in verde corrisponde al guadagno positivo di 2661,29 € ottenuto dallo stesso investimento, al decimo anno, ma effettuato nella località di Lipomo rispetto a quella di Bari, terminate le detrazioni fiscali concesse dallo stato.

## 4 Proposta di soluzioni per il soddisfacimento del fabbisogno termico

### 4.1 Situazione impianto di riscaldamento esistente

Il sistema di riscaldamento attuale è composto da un gruppo termico singolo per entrambi gli appartamenti: una caldaia ZEUS 24 MAIOR (fabbricante IMMERGAS) a gas metano installata nel 2003 e tutt'ora funzionante. Essa è destinata a soddisfare i servizi di climatizzazione invernale e di produzione di ACS per un totale di volume da riscaldare pari circa a 600 m<sup>3</sup>. Il generatore di calore a combustione presenta una potenza utile di 27,9 kW, rendimento termico utile a potenza massima pari a 92,2% e utilizza come fluido termovettore acqua che tuttavia non presenta alcun trattamento né per quanto riguarda l'impianto di climatizzazione né per quello di acqua calda sanitaria (ACS).

Come elementi di controllo troviamo un vaso di espansione di capacità 24 litri chiuso e con pressione di precarica di 1 bar. Non sono presenti inoltre puffer di accumulo di ACS.

Il sistema di distribuzione orizzontale a zone termina nei radiatori in acciaio posizionati a parete, sia al piano superiore sia al piano inferiore, la cui regolazione avviene a termostato manuale ad orari arbitrari. L'efficienza della distribuzione è da considerarsi di medio-bassa in quanto realizzata negli stessi anni di costruzione dell'immobile, ovvero negli anni '60.

Tenendo conto delle considerazioni fatte sull'impianto esistente e sul suo sistema di distribuzione del calore, il rendimento globale di sistema sarà pari a:

$$n_{globale} = n_{distribuzione} * n_{emissione} * n_{regolazione} * n_{generazione} = 79\%$$

Tale valore è il prodotto di quattro rendimenti che interessano ciascuno un sottoinsieme dell'intero sistema: distribuzione, emissione, regolazione e generazione.

## 4.2 Soluzione 1: caldaia a condensazione

### CONSIDERAZIONI

La prima soluzione contempla la possibilità di sostituzione della vecchia caldaia tradizionale a gas con una caldaia di nuova generazione a condensazione. La tecnologia delle caldaie a condensazione utilizza anche l'energia dei fumi di scarico, facendoli condensare e sfruttandone il calore latente, generato dal cambiamento di fase, per preriscaldare l'acqua di ritorno dai radiatori. Con questa tecnologia quindi è possibile sfruttare sia il calore sensibile dei fumi sia la sua parte latente raggiungendo rendimenti molto elevati. Inoltre la temperatura di uscita dei fumi dalla canna fumaria si abbassa da 140-160 °C, valori raggiunti nelle caldaie a gas tradizionali ad alto rendimento, a valori intorno ai 60-80 °C. Nelle caldaie tradizionali le temperature di scarico dei fumi presentavano valori superiori alla temperatura di rugiada dei gas in modo tale da non incorrere nella condensazione degli stessi. Nelle caldaie di nuova generazione si sfrutta questa proprietà per garantire un migliore utilizzo del combustibile.

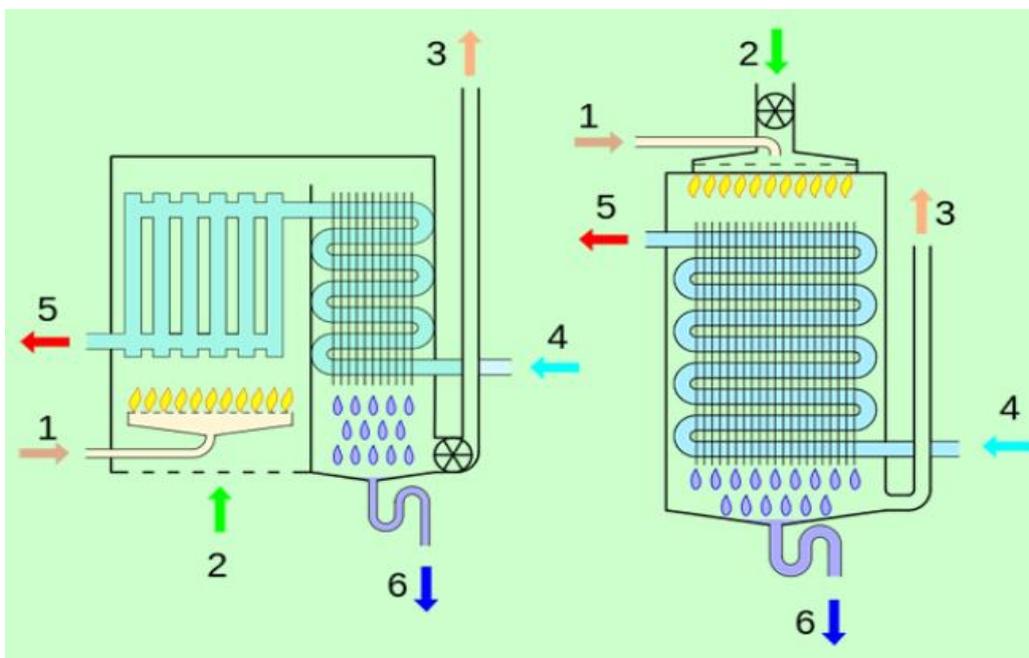


Figura 30: Schema di una caldaia a condensazione

Questo avviene grazie ai materiali con cui è costruita la caldaia resistenti alla corrosione del condensato, il quale viene espulso tramite un'apposita condotta posta alla base della caldaia.

In secondo luogo, grazie all'ottimale controllo del rapporto aria-gas, si ha una notevole riduzione delle emissioni di gas inquinanti, quali monossido di carbonio e ossidi di azoto. L'intervento non prospetta opere accessorie in aggiunta alla sostituzione del generatore di calore esistente, se non l'adeguamento dello scarico della condensa e quello della vecchia canna fumaria. Essa infatti deve ora permettere il passaggio di fumi più acidi che possono causare corrosione alle pareti. Queste ultime possono essere rese fruibili semplicemente inserendo all'interno della canna fumaria un tubo realizzato in materiale plastico (ad esempio pvc) resistente alla corrosione superficiale.

La nuova installazione deve assolvere gli stessi compiti della vecchia, ovvero supplire sia al fabbisogno di ACS sia a quello per la climatizzazione. La potenza della nuova caldaia a condensazione verrà calcolata nel paragrafo successivo, tuttavia non è previsto alcun puffer per lo stoccaggio di ACS poiché la produzione avviene istantaneamente. Infine spendiamo un paio di parole sul valore del rendimento: come spiegato precedentemente, il rendimento globale del è il risultato del prodotto di quattro rendimenti parziali che descrivono ciascuno un sottoinsieme del sistema. I rendimenti di distribuzione ed emissione rimangono invariati poiché l'intervento non si propone di intervenire sul sistema di distribuzione esistente né sui radiatori che rimangono caloriferi a muro. I sottosistemi che riguardano la regolazione e la generazione vengono migliorati in quanto si prevede l'installazione di valvole termostatiche su ciascun punto di emissione e in aggiunta l'efficienza di caldaia cresce di parecchi punti percentuali.

## **DIMENSIONAMENTO DELLA CALDAIA**

Si esegue ora il dimensionamento della macchina termica la quale, come già esposto prima deve supplire sia alla potenza necessaria alla climatizzazione, sia a quella per la produzione istantanea di acqua calda sanitaria. La potenza della caldaia (detta potenza di progetto) risulta pari alla somma delle due potenze che competono all'immobile.

$$Q_{progetto} = Q_{climatizzazione} + Q_{ACS}$$

Dove la  $Q_{climatizzazione}$  equivale a quella calcolata alla fine del secondo capitolo pari a 12767 W, ovvero la stessa potenza dispersa dall'involucro nelle condizioni di progetto più rigide.

La potenza per acqua calda sanitaria invece viene calcolata attraverso la seguente formula tenendo conto delle ipotesi che vengono giustificate nella pagina seguente.

$$Q_{ACS} = \dot{m} * c_{acqua} * (T_{mandata} - T_{faldia})$$

Dove  $\dot{m}$  rappresenta la portata massica di acqua, espressa in [kg/s] che istantaneamente deve essere riscaldata. Questo valore è stato ricavato direttamente dal libretto di caldaia, pari a 0,067 kg/s che corrispondono a circa 4 l/minuto.

$c_{acqua}$  è il calore specifico dell'acqua pari a 4186 J/(kgK).

$T_{mandata}$  è la temperatura a cui viene portato il fluido; solitamente è considerata pari a 50 °C.

$T_{faldia}$  è la temperatura iniziale del fluido, solitamente non superiore ai 10 °C. Il delta totale corrisponde a 40 °C, valore in linea con quelli degli edifici presi in ambito residenziale.

$$Q_{ACS} = 11162,67 \text{ W}$$

Dunque la potenza di progetto è pari alla somma di quella per climatizzazione e quella per ACS.

$$Q_{progetto} = 23929,51 \text{ W}$$

Infine, tenuto conto del rendimento globale del sistema che, con la sostituzione del generatore di calore è incrementato da 79% a 89%, la potenza della macchina sarà pari a:

$$P_{macchina} = Q_{progetto} / n_{globale\ nuovo} = 26,59 \text{ kW}$$

Analizziamo ora le caratteristiche delle due caldaie sottolineando le principali differenze e punti di forza. Il calcolo dell'energia prodotta (riportata nella tabella alle pagine successive), ovvero il fabbisogno per la climatizzazione e per l'ACS dell'immobile, è stato trovato dividendo il fabbisogno totale annuo per il rendimento globale attuale e per 180 giorni di climatizzazione e sommato al fabbisogno esclusivamente per ACS sanitaria calcolata invece su tutto l'anno.

### DATI TECNICI ARISTON CLASSE PREMIUM EVO 30 L EU

Classe energetica	A
Potenza termica nominale	6,5-28 kW
Valore di modulazione	1 : 5
Temp. riscald. (alta temperatura)	35-82 °C
Temperatura sanitario	36-60 °C
Portata acqua calda (delta 35°C)	16,9 l/min
Vaso di espansione	10 l
Dimensioni (h x l x p)	770 x 400 x 385
Potenza elettrica assorbita	113 W
Classe NOx (EN 483)	5



Figura 31: Caldaia Ariston Classe Premium EVO 30 L EU

### DATI TECNICI VECCHIA CALDAIA IMMERGAS ZEUS 24 MAIOR



Potenza termica nominale utile	27,9 kW
Rendimento termico a P nom	92,2%
Pressione max esercizio riscaldam.	3 bar
Vaso di espansione	7,1 l
Temperatura regolabile ACS	20-60 °C
Pressione max es. per sanitario	6 bar
Peso caldaia vuota	74 kg
Allacciamento elettrico	230 V
Assorbimento nominale	0,76 A
Potenza elettrica installate	155 W
Portata massa dei fumi a potenza nom	57 kg/h
Temperatura scarico dei fumi a P nom	101 °C
Classe NOx	1

Figura 32: Caldaia Immergas Zeus 24 Maior

## COMPARAZIONE E CONVENIENZA

Si analizzano i vantaggi che la scelta del nuovo prodotto presenta rispetto alle precedenti caratteristiche, in particolare per quanto riguarda un'analisi costi-benefici si fa riferimento all'estratto della tabella sottostante, dove sono riportati il costo d'investimento e il tempo di ritorno, considerata la vigente opportunità della detrazione fiscale del 65%.

	potenza [kW]	ore funzionamento /gg	rendimento globale	energia consumata [kWh/gg]	energia prodotta [kWh/gg]	potere calorifico [kWh/m <sup>3</sup> ]	costo comb [€/m <sup>3</sup> ] o [€/kWh]
<b>caldaia a condensazione</b>	28,00	7,0	0,89	220,22	196,00	10,60	0,83
caldaia a gas	27,90	7,0	0,79	247,22	195,30	10,60	0,83
	costo comb [€/gg]	costo comb. [€/anno]	risparmio realizzato [€/anno]	incentivi	costo [€]	costo con incentivo [€]	tempo di ritorno in anni
<b>caldaia a condensazione</b>	17,24	3103,92	<b>€ 380,41</b>	65%	€ 3.500,00	€ 1.225,00	<b>5,76</b>
caldaia a gas	19,36	3484,33					

Tabella 22: Convenienza installazione caldaia a condensazione

### 4.3 Soluzione 2: pompa di calore ibrida

#### CONSIDERAZIONI

Una seconda possibile alternativa prevede l'installazione di una pompa di calore ibrida, ovvero un sistema integrato di caldaia a condensazione e pompa di calore gestite da un sistema di controllo elettronico brevettato che permette risparmi sia in modalità di riscaldamento sia per la produzione istantanea di ACS.

Il modello scelto (HPU Hybrid) è impostato di default per garantire un funzionamento più ecologico, minimizzando il consumo di energia primaria: il costo del kWh di energia elettrica e quello del m<sup>3</sup> di gas, possono essere impostati dall'utente, il sistema sceglie in automatico, in base a specifici parametri (temperatura interna richiesta, temperatura esterna ed interna rilevata) la modalità di funzionamento ideale per minimizzare i costi in bolletta. In funzione della temperatura esterna, dei costi dell'energia e della richiesta di calore, l'HYBRID SYSTEM attiva la pompa di calore o la caldaia o entrambe le tecnologie contemporaneamente con l'obiettivo di funzionare sempre nella modalità più economica possibile<sup>18</sup>.

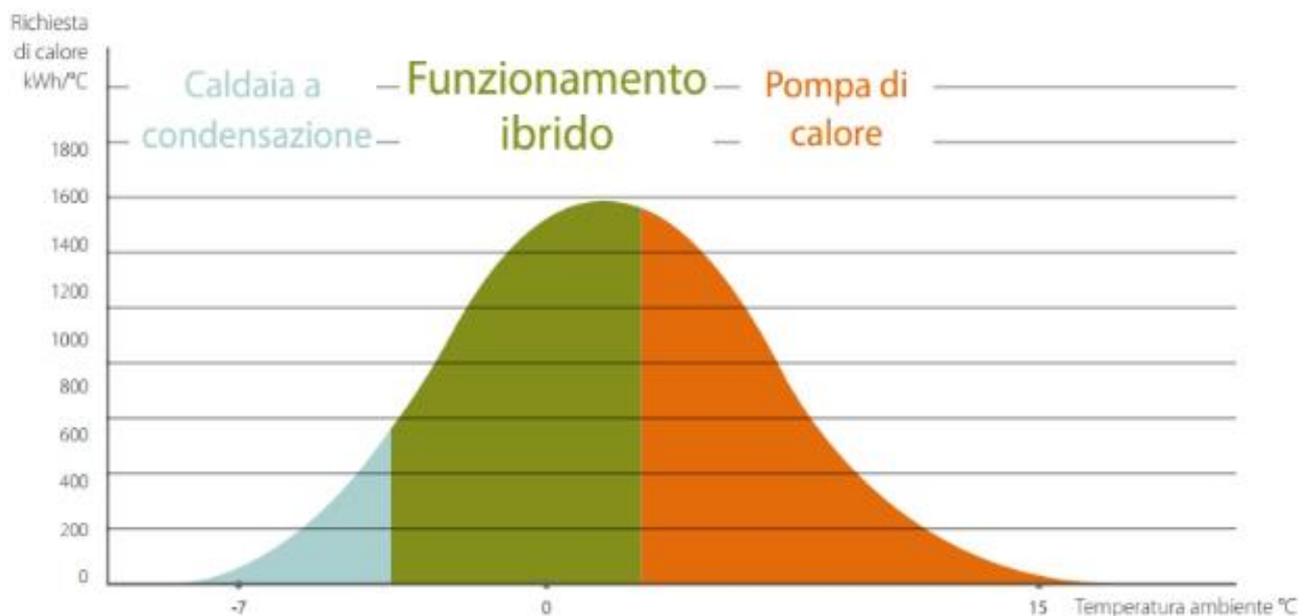


Figura 33: Campi di funzionamento di una pompa di calore ibrida

L'utilizzo del sistema a caldaia di condensazione oppure a pompa di calore, dipende soprattutto dalla temperatura esterna, infatti il COP del generatore di calore elettrico varia da valori superiori a cinque, per temperature esterne di circa 7°C, fino a valori dimezzati per T esterne negative. Dal

<sup>18</sup> Descrizione e grafico integrativo sono stati presi direttamente dal sito della Daikin.

grafico si evince come la caldaia a condensazione sia l'unica tecnologia attiva quando la temperatura esterna diviene particolarmente rigida. In Italia nel corso di una stagione invernale, per la maggior parte del tempo la richiesta di riscaldamento è soddisfatta dalla sola pompa di calore o dalla modalità di funzionamento ibrida.

### **DIMENSIONAMENTO DELLA POMPA IBRIDA**

Il dimensionamento del macchinario avviene sostanzialmente con le stesse modalità esposte prima in quanto la potenza della caldaia è circa la stessa. Tuttavia una pompa di calore ibrida, a differenza di una semplice caldaia a condensazione, sfrutta l'energia elettrica per produrre acqua calda con un rendimento migliore di quello di combustione del gas senza immissione di inquinanti in ambiente.

Nella dicitura della tabella "ore di funzionamento" quelle della pompa di calore sono volutamente molto maggiori di quelle della caldaia: in primo luogo per sottolineare il fatto che la maggior parte della produzione deve avvenire a livello elettrico, in secondo luogo perché per la maggioranza del tempo il funzionamento della macchina è ibrido, ovvero si avvale di entrambe le modalità. Se infatti la pompa di calore per la produzione di ACS è in grado di scaldare l'acqua fino a 40°C, il resto dell'energia dovrà essere fornita dalla caldaia, la quale si troverà in una condizione di maggior agio dovendo fornire solamente la differenza di 10°C al posto di 40°C. Ricordiamo che le taglie della pompa di calore sono standard e non possono essere scelte diversamente, mentre per la caldaia variano in un range di circa 10 kW.



*Figura 34: Rotex HPU Hybrid*

### **DATI TECNICI POMPA IBRIDA (ROTEX HPU HYBRID)**

Come spiegato prima il sistema si compone di due pezzi: caldaia a condensazione e pompa di calore; si esaminano i dati singolarmente.

Classe riscaldamento	A++
Classe ACS	A

### **UNITA' ESTERNA POMPA DI CALORE (RVLQ08CAV3)**

Potenza termica nominale di riscaldamento	7,4 kW
COP A7W35	4,45
COP A-7W35	2,71
Potenza massima di raffreddamento	8,43 kW
EER A35W18	3,79
Dimensioni	825x300x735

### **CALDAIA A CONDENSAZIONE A GAS**

Potenza termica nominale in riscaldamento	8,2-26,6 kW
Efficienza in riscaldamento 80/60°C	98%
Potenza termica nominale per ACS	7,6-32,7 kW
Classe NOx	5
Dimensioni	450x240x710
Peso	36 kg

### **COMPARAZIONE E CONVENIENZA**

Anche in questo caso il sistema ibrido si occuperebbe sia della parte di riscaldamento sia di quella di produzione di ACS, tuttavia rispetto alla soluzione precedente presenterebbe il vantaggio di poter lavorare non solo in riscaldamento ma anche in raffrescamento nel periodo estivo, in quanto basta invertire il funzionamento della pompa per sottrarre calore dall'interno ed espellerlo all'esterno. Presentiamo anche in questo caso la tabella con le ore di funzionamento di entrambe le macchine e il tempo di pay-back complessivo.

	potenza [kW]	ore funziona mento /gg	rendimento globale	energia consumata [kWh/gg]	energia prodotta [kWh/gg]	potere calorifico [kWh/m <sup>3</sup> ]	costo comb [€/m <sup>3</sup> ] o [€/kWh]
<b>Sistema ibrido: Pdc aria/acqua</b>	7,4	10,5	4	19,43	77,70	-	€ 0,22
<b>Sistema ibrido: caldaia</b>	26,60	4,5	0,89	134,49	119,70	10,60	€ 0,83
caldaia a gas	27,90	7,0	0,79	247,22	195,30	10,60	€ 0,83
	costo comb [€/gg]	costo comb. [€/anno]	risparmio realizzato [€/anno]	incentivi	costo [€]	costo con incentivo [€]	tempo di ritorno in anni
<b>Sistema ibrido: Pdc aria/acqua</b>	4,07	732,60	<b>€ 856,13</b>	65%	€ 11.000,00	€ 3.850,00	<b>7,00</b>
<b>Sistema ibrido: caldaia</b>	10,53	1895,61					
caldaia a gas	19,36	3484,33					

Figura 35: Convenienza installazione pompa di calore ibrida

Il risparmio realizzato con la pompa di calore ibrida vale 856 €/anno, mentre il tempo di pay-back raggiunge i sette anni.

## *4.4 Soluzione 3: pompa di calore con sistema fotovoltaico*

### **CONSIDERAZIONI**

La soluzione più completa al problema proposto riguarda l'integrazione di un sistema a pompa di calore, necessario al soddisfacimento del fabbisogno termico, con quello a tecnologia fotovoltaica, utile sia per fornire l'alimentazione della pompa di calore, sia per la richiesta di energia elettrica. Sicuramente il costo iniziale d'investimento è molto più marcato, tuttavia anche i risparmi generati saranno maggiori e più duraturi nel tempo. La macchina refrigerante presenterà una taglia maggiore di quella della soluzione ibrida (che presentava una potenza di soli 7,4 kW) in quanto deve soddisfare completamente sia la richiesta termica per la climatizzazione degli ambienti interni sia, eventualmente, anche quella per il fabbisogno di acqua calda sanitaria. Dato che si verrebbe ad installare una potenza di una certa rilevanza e non potendo usufruire dell'apporto di acqua sanitaria istantanea, si rende necessaria la presenza di un sistema di accumulo che garantisca un margine sufficiente alla domanda. Infatti a differenza del sistema ibrido, dove la caldaia a condensazione garantiva sempre temperature anche vicine agli 80°C, in un sistema unicamente elettrico le temperature massime, che si aggirano attorno ai 45-50°C, spesso non sono sufficienti a soddisfare le richieste. La presenza di un puffer da 200 l, dotato al suo interno di una resistenza elettrica, permette di aggirare questo problema.

### **DIMENSIONAMENTO DELLA POMPA DI CALORE**

Per il dimensionamento basta valutare la potenza dispersa dall'involucro nella condizione di progetto a -7°C esterni. La soluzione migliore consiste nel dividere i due appartamenti dotando ciascuno della propria pompa di calore autonoma. Le due macchine installate presentano valori di potenza termica generata elevata (pari a 8,31 kW) anche in condizioni esterne particolarmente rigide (-10°C). In tal modo si garantisce un margine sufficiente sul fabbisogno termico per climatizzazione nel periodo invernale; mentre per quanto riguarda l'utilizzo di ACS si può sempre far conto sul bollitore installato. L'alimentazione delle macchine avviene a 230V, dato che le rende preferibili a quelle di taglia maggiore che necessitano di 400V. La somma delle potenze delle due macchine è infatti pari a 16,62 kW, superiore alla potenza per climatizzazione necessaria. Infine si prospetta l'intervento di sostituzione del contatore Enel in quanto quello attualmente presente di soli 3 kW, non permette un comodo utilizzo di queste apparecchiature le quali assorbono quantità molto elevate di corrente elettrica durante l'utilizzo.

Il modello (Kita M) che si è scelto è una pompa di calore della Templari, particolarmente adatta a soddisfare le esigenze di abitazioni anche non ristrutturate recentemente.

#### DATI TECNICI TEMPLARI KITA M

Marca	Templari
Modello	Kita M
Classe energetica	A+++
Potenza massima_A7W55	13,37 kW
COP_ A7W55	2,98
Potenza massima_A-10W55	8,31 kW
COP_ A-10W55	1,82
Potenza raff nom_A35W7	12,90
COP_ A35W7	3,15
Alimentazione	230-400 V
Liquido refrigerante	R410A
Peso macchina esterna	220 kg



Figura 36: Templari Kita M

#### COMPARAZIONE E CONVENIENZA

Prima di trarre conclusioni aggiuntive, come nella casistica precedente, è utile dare uno sguardo alla tabella che riassume i costi e i consumi di combustibile ed energia elettrica.

	potenza [kW]	ore funziona-mento /gg	rendimento globale	energia consumata [kWh/gg]	energia prodotta [kWh/gg]	potere calorifico [kWh/m <sup>3</sup> ]	costo comb [€/m <sup>3</sup> ] o [€/kWh]
<b>Pompa di calore Kita M</b>	7,72	12,6	3,53	27,56	97,27	-	€ 0,270
<b>Pompa di calore Kita M</b>	7,72	12,6	3,53	27,56	97,27	-	€ 0,270
caldaia a gas	27,90	7,0	0,79	247,22	195,30	10,60	€ 0,83
	costo comb [€/gg]	costo comb. [€/anno]	risparmio realizzato [€/anno]	incentivi	costo [€]	costo con incentivo [€]	tempo di ritorno in anni
<b>Pompa di calore Kita M</b>	7,44	1339,21	<b>€ 805,91</b>	65%	€ 15.000,00	€ 5.250,00	<b>8,42</b>
<b>Pompa di calore Kita M</b>	7,44	1339,21					
caldaia a gas	19,36	3484,33					

Tabella 23: Convenienza pompa di calore

## DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

L'impianto fotovoltaico deve essere dimensionato per coprire sia parte dell'energia richiesta dalla pompa di calore, sia per garantire un certo margine anche per quanto riguarda i consumi di corrente dell'immobile. Considerati questi due fattori si opta per un impianto da 4,5 kW, in grado di generare 1050 kWh/kW/anno ovvero una produzione di energia pari circa a 4725 kWh annui. Un impianto fotovoltaico abbassa il costo dell'energia elettrica, in primo luogo perché permette un consumo istantaneo gratuito dell'energia prodotta (autoconsumo), che solitamente raggiunge valori di circa 30% sull'intera produzione; in secondo luogo garantisce un abbassamento degli scaglioni di costo i quali crescono in base al consumo di energia elettrica durante l'anno.

Infine si può beneficiare dello scambio sul posto, ovvero di un incentivo che viene retribuito per tutti quei kWh che vengono immessi in rete e ri-prelevati successivamente; il loro costo non risulterà essere pari a zero, come nel caso di energia auto-consumata, ma verrà "scontato" di 0,014 €/kWh (prezzo fisso stabilito dal GSE e non contrattabile). Per ultimo se alla fine dell'anno l'energia immessa in rete e non utilizzata risulta positiva, viene stabilito un conguaglio che garantisce un incasso di 0,07 €/kWh non consumato.

La tabella riassuntiva 25 descrive quanto sopra esposto.

CONVENIENZA FOTOVOLTAICO		COSTI E RISPARMI	
<b>DATI ELETTRICI</b>		costo bolletta	528,00 €
costo bolletta annuale	528,00 €	risparmio per autoconsumo	204,12 €
consumo in el ultimi 12 mesi	2.500,00 kWh	risparmio per ssp	151,55 €
costo €/kWh medio annuale	0,21 €	risparmio per conguaglio fine anno	155,75 €
<b>FOTOVOLTAICO</b>		risparmio bolletta	511,42 €
potenza impianto fotovoltaico	4,5 kWp		
produzione annua kWh per kWp	1050 kWh/kWp	totale	8.900,00 €
produzione kWh/anno	4725 kWh/anno	detrazione	50%
autoconsumo	30%		
		pay-back	9,31 anni
autoconsumo	1417,5 kWh/anno		
immissioni rete	3307,5 kWh/anno		
riprelievo rete	1082,5 kWh/anno		
restante in rete	2225 kWh/anno		

Tabella 24: Tabella riassuntiva della realizzazione dell'impianto fotovoltaico

## 4.5 Considerazioni finali sulle soluzioni ipotizzate

La tabella riassume i tre interventi di sostituzione del generatore di calore.

soluzione	costo [€]	risparmio realizzato [€/anno]	tempo di ritorno in anni
<b>caldaia a condensazione</b>	€ 3.500,00	€ 380,41	5,76
<b>pompa di calore ibrida</b>	€ 11.000,00	€ 856,13	7,00
<b>pompa di calore con fotovoltaico da 4,5 kW</b>	€ 23.900,00	€ 1.473,08	8,26

Tabella 25: Riassunto delle soluzioni di sostituzione del generatore

Per quanto riguarda la sostituzione della caldaia tradizionale con una a condensazione, si può notare come (tabella 22), a parità di potenza termica prodotta, vari quella consumata che passa da 247 kWh/gg a 220 kWh/gg. In secondo luogo sempre sul tema del risparmio e sulla diminuzione di inquinante prodotto, si sottolinea come la classe NOx passi da uno a cinque. Questo comporta una riduzione di ossidi di azoto, favoriti dalla combustione ad alte temperature, da valori di circa 260 mg/kWh a meno di 70 mg/kWh per le caldaie di classe cinque. Infine si ha un abbassamento sia della temperatura di uscita dei fumi, sia della potenza elettrica assorbita dalla macchina. Dalla tabella 25, invece, si nota come questo intervento di sostituzione risulti particolarmente vantaggioso considerati i bassi costi d'installazione uniti alla detrazione fiscale del 65%.

Il punto di forza della seconda soluzione è rappresentato dal fatto di operare anche attraverso la fonte elettrica a basso consumo, senza tuttavia rinunciare alla stabilità e alla sicurezza della caldaia a gas. Inoltre, un secondo fattore da tenere in considerazione riguarda la possibilità di accedere al conto termico 2.0, attraverso cui si può favorire di un incentivo immediato, senza avvalersi della detrazione fiscale di durata decennale.

L'incentivo per legge se inferiore ai 5000 €, viene saldato in un'unica rata a due mesi massimi dall'acquisto. Il vantaggio di questo incentivo riguarda il fatto che la somma viene retribuita immediatamente e non con rate decennali come per la detrazione fiscale. La formula utilizzata

per il calcolo degli incentivi è complessa e sono presenti molti valori che devono essere ricavati dagli allegati del DM del giugno 2016 in sostituzione del vecchio DM del 28 dicembre 2012.

$$I_{totale} = K * C * E_{th} * n_{anni}$$

Dove K: è un coefficiente di utilizzo della pompa di calore e dell'efficienza del sistema nel suo complesso

C: coefficiente di valorizzazione dell'energia termica

$E_{th}$ : energia termica incentivata prodotta in un anno

Mentre il numero di anni è ricavato da una tabella presente nell'allegato del decreto.

Il valore dell'incentivo totale risulta essere 2574,80 €. Si nota a colpo d'occhio come questo valore non è paragonabile alla detrazione fiscale del 65% su un investimento di 11000 euro, risultando molto inferiore. In aggiunta, paragonando questa soluzione con la precedente, si consegue che a fronte di tempi di rientro particolarmente simili, e nonostante la spesa risulti il triplo della precedente, i risparmi annui si aggirano attorno a 850 €/anno contro i 380 €/anno della caldaia a condensazione singola.

Anche per la terza soluzione l'incentivo del conto termico non risulta valido quanto quello della detrazione fiscale. Infatti con quest'ultima si ottiene un risparmio massimo nell'intorno di 10000 € in 10 anni; tramite il conto termico, invece, si può usufruire di un incentivo di 2647,81 € per ogni pompa di calore, per un totale di 5300 € circa. La convenienza si prospetta quindi essere quella della detrazione fiscale al 65%. Si nota anzitutto la suddivisione nelle due pompe di calore, installate una per piano dell'abitazione, che presentano gli stessi valori di potenza, consumo e costo dell'energia elettrica. Il costo di ogni kWh (tabella 23) è stato calcolato come una media pesata sui consumi elettrici e quelli per soddisfacimento del bisogno termico. Esso risulta essere molto elevato, in quanto i consumi aumentano considerevolmente se si utilizza una tecnologia basata sullo sfruttamento di questa risorsa. Il ritorno stimato risulta essere poco inferiore agli 8,5 anni. Si sottolinea infine (vedi tabella 25) come l'installazione di un impianto fotovoltaico abbinato alla pompa di calore sia in grado di contenere i costi di energia elettrica ed incrementare ulteriormente i guadagni. Infatti le stime di tempo di pay-back rimangono quasi identiche a quelle precedenti sebbene la spesa sostenuta si faccia carico anche dell'impianto solare. Il valore del risparmio è stato ottenuto sommando quello derivante dalla pompa di calore e quello del fotovoltaico (dove l'energia non auto-consumata è considerata come scambio sul posto).

## 5 Conclusioni

Nell'elaborato si è deciso di dividere gli interventi realizzati per coibentare l'involucro da quelli per migliorare l'efficienza di produzione del calore, infatti ciascuno fa riferimento al fabbisogno termico di fatto. In questo modo è possibile valutare le singole proposte con i relativi apporti di risparmio conseguito e di costi d'investimento, senza dovere prescindere dalla fattibilità delle altre soluzioni. Dunque si presenta una tabella riepilogativa di tutti gli interventi proposti.

TABELLA RIEPILOGATIVA DEGLI INTERVENTI IPOTIZZATI					
intervento	Q dispersa pre-intervento [W]	Q dispersa post-intervento [W]	costo [€]	risparmio annuo realizzato [€/anno]	tempi di ritorno [anni]
<b>Interventi di ristrutturazione per la riduzione del fabbisogno energetico</b>					
infissi al primo piano	1837,49	485,95	€ 5.500,00	€ 458,63	6,74
cappotto esterno	3542,46	1374,04	€ 14.400,00	€ 701,07	8,80
copertura del sottotetto	768,81	354,20	€ 2.282,00	€ 71,20	11,05
<b>Interventi per la sostituzione del generatore di calore</b>					
caldaia a condensazione	-	-	€ 3.500,00	€ 380,41	5,76
pompa di calore ibrida	-	-	€ 11.000,00	€ 856,13	7,00
pompa di calore e impianto fotovoltaico	-	-	€ 23.900,00	€ 1.473,08	8,26

*Tabella 26: Riepilogo degli interventi ipotizzati*

La tabella è divisa in due sezioni: la prima riporta gli interventi sulla riduzione del fabbisogno complessivo dell'immobile, mentre la seconda prende in considerazione il soddisfacimento di tale richiesta nelle diverse alternative. Valutate le alternative individualmente il passo successivo è quello di analizzare le possibili soluzioni accoppiandole tra loro, ovvero ricercando sia di agire nella direzione di una riduzione dei consumi, sia nel risparmio di combustibile. Tuttavia queste analisi non vengono svolte all'interno di questo elaborato.

Per concludere, risulta indiscutibile la necessità di intervento sulla situazione attuale sia per una riduzione del fabbisogno che per quella di sostituzione del generatore di calore. Il quadro presentato non mira alla scelta di una particolare soluzione poiché sono considerate egualmente valide, ma, come specificato all'inizio dello scritto, la decisione finale spetta al cliente in base alle sue esigenze economiche e alle sue prospettive verso il futuro. Le analisi svolte possono essere

riproposte su un qualunque caso di villetta a schiera presente sul territorio del Nord Italia, tenendo opportunamente conto delle diverse tipologie di generatori di calore presenti e della diversa stratigrafia della casa.

L'obiettivo dell'elaborato di fornire una situazione chiara e semplice sia sulle tecnologie esistenti sia sulle possibilità d'intervento si può dire raggiunto.

Infine l'auspicio rimane comunque quello di guardare, oltre che alla gestione dei propri investimenti personali, anche ad una situazione globale, in cui ciascuno può ritagliarsi la propria partecipazione alla diminuzione della quantità di inquinanti in atmosfera. Questo impegno personale se accettato da tutti consapevolmente porterà alla creazione di un modo più pulito per noi e per il nostro futuro.

## Riassunto delle figure e delle tabelle

Figura 1: Adesioni al trattato di Kyoto .....	7
Figura 2: Scenari possibili legati all'aumento di CO2 nella nostra atmosfera pubblicato da Climate Nexus.....	10
Figura 3: Distribuzione dei risparmi energetici conseguiti attraverso le detrazioni fiscali.....	16
Figura 4: Risparmi energetici per interventi con detrazioni fiscali .....	16
Figura 5: Percentuali dei campi di attivazione del Conto Termico 2.0 .....	17
Figura 6: Impieghi finali di energia per settore .....	18
Figura 7: Consumo energetico residenziale per fonte (Mtep).....	19
Figura 8: Consumo energetico nel residenziale per tipologia (tep/appartamento).....	19
Figura 9: Suddivisione delle proprietà per destinazione d'uso e classe energetica anno 2014 ...	20
Figura 10: Planimetria dell'appartamento al piano terreno .....	22
Figura 11: Planimetria appartamento al primo piano .....	23
Figura 12: Sezione laterale .....	24
Figura 13: Suddivisione delle zone climatiche in Italia .....	24
Figura 14: Estratto da google maps per la visione in pianta della casa .....	30
Figura 15: Composizione della struttura orizzontale del tetto .....	37
Figura 16: Stratigrafia della pavimentazione a terra.....	39
Figura 17: Fattori di esposizione solare .....	41
Figura 18: Potenze disperse dall'involucro (situazione di fatto).....	44
Figura 19: Percentuale delle dispersioni per elemento (situazione di fatto) .....	45
Figura 20: Stratigrafia delle pareti con cappotto .....	48
Figura 21: Descrizione elementi dei serramenti con doppio e triplo vetro .....	51
Figura 22: Stratigrafia dell'intervento di coibentazione del sottotetto .....	54
Figura 23: Valori comparati pre e post intervento.....	56
Figura 24: Tempo di break-even per la sostituzione degli infissi.....	62
Figura 25: Tempo di break-even per l'inserimento del cappotto in lana di roccia .....	62
Figura 26: Tempo di break-even per la coibentazione del sottotetto .....	63
Figura 27: Fascia climatica e città oggetto di studio .....	65
Figura 28: Riepilogo dei fabbisogni per zona climatica.....	66
Figura 29: Valutazione dei tempi di pay-back a seconda della località di appartenenza .....	67

Figura 30: Schema di una caldaia a condensazione .....	69
Figura 31: Caldaia Ariston Classe Premium EVO 30 L EU .....	72
Figura 32: Caldaia Immergas Zeus 24 Maior .....	72
Figura 33: Campi di funzionamento di una pompa di calore ibrida.....	74
Figura 34: Rotex HPU Hybrid.....	75
Figura 35: Convenienza installazione pompa di calore ibrida.....	77
Figura 36: Templari Kita M .....	79
Tabella 1: Obiettivi di efficienza energetica per 2020 espressi in Mtoe/anno .....	14
Tabella 2: Interventi realizzati, spese sostenute e risparmio conseguito a seguito delle detrazioni fiscali.....	15
Tabella 3: Richieste con contratto attivato ed incentivi erogati attraverso il Conto Termico 2.0 (anno 2015) .....	17
Tabella 4: Spessori e trasmittanze delle pareti perimetrali .....	31
Tabella 5: Spessori e trasmittanze delle porte di accesso .....	32
Tabella 6: Descrizione dimensioni, superfici e trasmittanze degli infissi.....	34
Tabella 7: Stratigrafia e trasmittanza copertura orizzontale del sottotetto.....	35
Tabella 8: Stratigrafia e trasmittanza copertura orizzontale del tetto .....	37
Tabella 9: Stratigrafia e trasmittanza della pavimentazione a terra.....	40
Tabella 10: Dispersioni riferite al prospetto Nord-Est .....	42
Tabella 11: Dispersioni relative al prospetto Sud-Est .....	42
Tabella 12: Dispersioni relative al prospetto Sud-Ovest.....	42
Tabella 13: Dispersioni per ventilazione .....	43
Tabella 14: Tabella riassuntiva delle dispersioni della situazione di fatto.....	43
Tabella 15: Spessori e trasmittanze delle pareti con cappotto.....	49
Tabella 16: Inserimento cappotto: variazioni delle dispersioni e della potenza termica .....	50
Tabella 17: Calcolo delle dispersioni per prospetto con infissi a doppio vetro .....	52
Tabella 18: Analisi comparativa delle dispersioni e riduzione percentuale.....	55
Tabella 19: Riepilogo dei fabbisogni globali e della riduzione dei costi annui associati alla diminuzione del fabbisogno per climatizzazione .....	60
Tabella 20: Tempi di ritorno degli investimenti proposti.....	61

Tabella 21: Gradi giorno e fascia climatica delle città oggetto di studio .....	65
Tabella 22: Convenienza installazione caldaia a condensazione .....	73
Tabella 23: Convenienza pompa di calore .....	79
Tabella 24: Tabella riassuntiva della realizzazione dell'impianto fotovoltaico.....	80
Tabella 25: Riassunto delle soluzioni di sostituzione del generatore .....	81
Tabella 26: Riepilogo degli interventi ipotizzati .....	83

## Bibliografia

Daikin – [www.daikin.it](http://www.daikin.it)

DM 26 giugno 2015, in materia “Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici” con allegati

Edil Tecno – [www.ediltecno.it](http://www.ediltecno.it)

Edilportale – [www.edilportale.com](http://www.edilportale.com)

ENEA - [http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/tecnici/trasmittanza\\_termica\\_sito\\_v3](http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/tecnici/trasmittanza_termica_sito_v3)

ENEA – [www.enea.it](http://www.enea.it)

Energy storage report – [www.energystrategy.it](http://www.energystrategy.it)

Groppi Francesco, Zuccari Carlo, *Impianti solari fotovoltaici, a norme CEI*, Delfini

GSE – [www.gse.it](http://www.gse.it)

IEA – [www.iea.it](http://www.iea.it)

Il Post – [www.ilpost.it](http://www.ilpost.it)

Parlamento Europeo – [www.europarl.europa.eu](http://www.europarl.europa.eu)

Rete Clima – <https://www.reteclima.it/piano-20-20-20-il-pacchetto-clima-energia-20-20-20/>

Rete Clima – <https://www.reteclima.it/protocollo-di-kyoto/>

Rockwool – [www.rockwool.it](http://www.rockwool.it)

Rossato Group – [www.rossatogroup.com](http://www.rossatogroup.com)

Schede tecniche dei materiali utilizzati

Sviluppo economico – [www.sviluppoeconomico.gov.it](http://www.sviluppoeconomico.gov.it)

TAUTONICO Tommaso, 09/05/2015, “Emendamento di Doha al Protocollo di Kyoto: semaforo verde alla riduzione delle emissioni”, *Alternativa Sostenibile*

Templari – [www.templari.it](http://www.templari.it)

World Bank Data – <http://data.worldbank.org/>

## Ringraziamenti

Questa tesi è il traguardo del mio percorso di studi. Un percorso in salita, per nulla facile, che ha visto non pochi ostacoli lungo la strada. Tuttavia ho avuto la fortuna di non affrontarlo da solo ma con il sostegno di colleghi (e amici) con cui ho passato intense giornate di studio.

Il primo grazie che vorrei dire è per il mio relatore Roberto Faranda che mi ha indirizzato nella stesura di questa tesi, fornendomi preziosi consigli su come affrontare le varie analisi che sono state proposte. Un secondo doveroso ringraziamento va alla società Equa s.r.l. e a tutti i suoi membri e collaboratori (Michele, Ernesto, Maurizio, Franco) con cui ho trascorso i mesi di tirocinio e ho incominciato a mettere a frutto le conoscenze apprese.

Vorrei ringraziare la mia famiglia e mio nonno che mi hanno permesso di compiere questo percorso di studi e mi hanno dato fiducia nei momenti di difficoltà e sostegno nei momenti di totale sconforto.

Ringrazio tutti i miei compagni di avventura, quelli con cui ho trascorso il primo anno e le cui strade si sono poi inevitabilmente divise per corso di studi e quelli conosciuti in seguito a cui rimarrò sempre legato: Seba, Roby, Lore, Gianluca, Alessandro G., Alessandro M., Lorenzo P., Fabio, Gabri, Fede e tutti gli altri che non citerò per motivi di spazio.

Infine un ringraziamento speciale a Elena che mi ha sopportato e continua a sopportarmi tutt'ora, alla sua famiglia e ai suoi nonni che hanno creduto in me fino alla fine.

Infine ringrazio i miei amici Nello, Balo, Giulia, Rosh, Carola, Jansen, Citty, Alex, Paga, Lele e auguro loro di concludere al meglio il loro percorso, per chi non l'avesse ancora finito e i migliori auguri per chi ne ha incominciato uno nuovo.

Quella dello studente non è una vita facile come spesso sembra, la vetta sembra sempre lontana ma la soddisfazione di quando si arriva al termine è davvero gratificante e questa soddisfazione la devo in parte a tutte quelle persone che hanno condiviso con me questi ultimi anni della mia vita.