



Ricerca di Sistema elettrico

Studio sulla riqualificazione a nZEB di edifici pubblici del Sulcis

C. Frau, E. Loria, F. Poggi, G. Desogus, A. Galatioto, R. Ricciu

STUDIO SULLA RIQUALIFICAZIONE A nZEB DI EDIFICI PUBBLICI DEL SULCIS

C. FRAU, E. LORIA, F. POGGI, G. DESOGUS, A. GALATIOTO, R. RICCIU

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Progetto: *Tecnologie e metodologie low carbon e Edifici a energia quasi zero (nZEB)* - CUP: I12F16000180001

Obiettivo: Parte B – Edifici ad energia quasi zero (nZEB)

Tema A: Riqualificazione energetica di edifici con interventi di efficientamento

Sottotema: a.1 Diagnosi energetica di un edificio pubblico

Responsabile del Progetto: dott.ssa Franca Rita Picchia ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Tecnologie e metodologie low carbon e Edifici a energia quasi zero (nZEB)*"

Responsabile scientifico ENEA: ing. Paolo Deiana

Responsabile scientifico SOTACARBO: ing. Enrico Maggio

Indice

SOMMARIO	4
1 INTRODUZIONE	5
2 LA DIAGNOSI ENERGETICA DI EDIFICI PUBBLICI DEL SULCIS	7
2.1 L'AGGIORNAMENTO NORMATIVO	7
2.1.1 <i>Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.</i>	8
2.1.2 <i>Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici.</i>	9
2.1.3 <i>Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.</i>	9
2.2 LE MODALITÀ OPERATIVE DELLA DIAGNOSI ENERGETICA	12
3 ANALISI DI EDIFICI PUBBLICI AD USO UFFICIO: PALAZZO MUNICIPALE	14
4 ANALISI DI EDIFICI PUBBLICI AD USO UFFICIO: EX UFFICI GIUDIZIARI	18
5 PROTOTIPO PER MISURAZIONI IN LABORATORIO DI PARAMETRI RELATIVI ALLE PRESTAZIONI TERMICHE DEI MATERIALI TIPICI DEL SULCIS	21
5.1 IL QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	21
5.2 IL PROTOTIPO	21
5.2.1 <i>Schema apparato.</i>	21
5.2.2 <i>Unità termiche.</i>	21
5.2.3 <i>Il controller temperatura.</i>	22
5.2.4 <i>Alimentatore.</i>	22
5.2.5 <i>Termoflussimetro.</i>	22
5.2.6 <i>Sonde temperatura.</i>	22
5.2.7 <i>L'acquisizione e l'elaborazione dati.</i>	23
6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	25

Sommario

Il presente lavoro ha lo scopo di fornire un quadro di massima che metta in evidenza le possibili opportunità per migliorare e ottimizzare il processo di gestione dell'energia relativo all'edilizia pubblica, con la volontà di esaminare, tramite diagnosi energetica, dei casi concreti per poter individuare le criticità e, in un successivo momento, le strategie e gli interventi più opportuni per ridurre concretamente gli sprechi energetici.

L'attività di ricerca svolta ha avuto anzitutto l'obiettivo di individuare due casi di studio significativi del patrimonio di edilizia pubblica dell'area. Per far ciò ci si è basati sull'indagine storica sull'evoluzione del costruito della città di Carbonia, di cui alla relazione finale dell'attività 2015-16.

Dall'indagine condotta, si è scelto di analizzare, come casi di studio, l'attuale sede del Comune in Piazza Roma, rappresentativa dell'edificato di fondazione della città, e la ex sede degli Uffici Giudiziari, in via XVIII Dicembre, che attualmente ospita gli uffici dei Servizi Sociali, dell'Anagrafe, Elettorale e Leva, dello Stato Civile, della Pubblica Istruzione, dello Sport e della Programmazione e Gestione. L'edificio si distingue dal precedente in quanto rappresentativo di un periodo di costruzione successivo a quello di fondazione.

Su questi edifici sono stati condotti audit energetici volti ad individuare la morfologia e le caratteristiche costruttive e funzionali dell'involucro e degli impianti e, laddove possibile, a ricostruire lo storico dei consumi. Una volta raccolti i dati in campo si è proceduto a calcolare la prestazione energetica con la metodologia indicata dai decreti del 26 Giugno 2015 e utilizzando la versione più aggiornata delle specifiche tecniche di riferimento (serie UNI TS 1330). Il calcolo è stato svolto con l'ausilio del software prodotto da Edilclima (EC700 e moduli integrativi). La finalità del calcolo è stata quella di individuare gli interventi migliorativi da mettere in essere nell'ottica di avvicinare gli edifici al modello nZEB. Trattandosi della valutazione di interventi migliorativi, la valutazione energetica è stata condotta nelle reali condizioni di utilizzo (tailored rating) come prescritto dalle normative vigenti. Il modello energetico è stato pertanto adattato al fine di avvicinarsi ai consumi reali desunti in fase di audit dalle bollette energetiche.

Oltre a queste attività è stato condotto uno studio per la realizzazione di un prototipo di apparecchiatura per la misura in laboratorio delle prestazioni termiche dei materiali costruttivi locali. Questa ultima attività è strettamente correlata alle risultanze della ricerca condotta nella precedente annualità PAR 2015, che ha evidenziato la carenza di dati sperimentali sui materiali costruttivi dell'area geografica in oggetto.

La relazione di diagnosi energetica e lo studio sul prototipo costituiscono allegato a questo report. Entrambe le attività di ricerca sono state eseguite dal LabEE-UNICA (Laboratorio efficienza Energetica per l'edilizia) del DICAAR dell'Università di Cagliari.

1 Introduzione

Il Ministero dello Sviluppo Economico e l'ENEA hanno stipulato data 21 Aprile 2016 l'Accordo di Programma in base al quale è concesso il contributo finanziario per l'esecuzione delle linee di attività del Piano Triennale 2015-2017 della Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale.

Questo lavoro si inserisce negli studi svolti in seno all'Accordo di Collaborazione tra ENEA e Sotacarbo rivolto allo sviluppo di una ricerca dal titolo "PARTE B: Edifici ad energia quasi-zero" facente capo al piano annuale di realizzazione 2016 dell'Accordo di Programma MiSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, ed in particolare agli ambiti attinenti il Tema di Ricerca "Edifici a energia quasi zero (NZEB)", progetto A "Riqualificazione energetica di edifici con interventi di efficientamento".

L'Europa ritiene che riqualificare energeticamente il patrimonio edilizio sia una via preferenziale per accrescere la sicurezza energetica e per conseguire gli obiettivi di riduzione delle emissioni di CO₂. Per questo ha predisposto un corpus legislativo volto a promuovere l'efficienza energetica, definendo regole e condizioni affinché, non solo le nuove costruzioni, ma anche le ristrutturazioni, rispettino standard minimi di prestazione energetica. A supporto di queste azioni, l'Europa ha stanziato nel bilancio economico 2014-2020 risorse per circa 20 miliardi di euro. Anche in Italia sono stati allocati opportuni fondi e creati strumenti per favorire lo sviluppo dell'efficienza energetica (Conto Termico, detrazioni fiscali, Certificati Bianchi, fondi rotativi, eccetera). Il mondo delle costruzioni, fortemente colpito dall'attuale crisi economica, vede il tema della riqualificazione energetica come l'occasione per rilanciare il settore. Già oggi le ristrutturazioni nel loro insieme rappresentano circa il 40 per cento del valore degli investimenti in costruzioni, tuttavia si tratta per la stragrande maggioranza di interventi relativamente leggeri e con limitati risparmi energetici. Anche nell'opinione pubblica, seppur con molta difficoltà, si sta sviluppando un atteggiamento sempre più attento ai temi dell'energia, anche se ciò non sempre si traduce in comportamenti virtuosi.

1.1 Il PANZEB 2016

Considerato che l'efficienza energetica rappresenta la prima priorità d'azione della Strategia energetica nazionale in Italia e che il settore dell'edilizia, in ambito nazionale, rappresenta un elemento dalle grandi potenzialità al fine del raggiungimento degli obiettivi di risparmio energetico indicati dal Paese al 2020, il Ministero dello Sviluppo Economico in linea con le direttive europee sulle prestazioni energetiche degli edifici, ha pubblicato recentemente il Decreto Interministeriale 19 Giugno 2017, recante l'approvazione del "Piano d'azione nazionale per incrementare gli edifici a energia quasi zero", ai sensi dell'art. 4-bis – comma 2, del decreto legislativo n. 192 del 2005, unitamente al Piano stesso (Gazzetta Ufficiale n.187 del 11 agosto 2017). Questo piano (Panzeb), è stato elaborato da un gruppo di lavoro composto dall'ENEA, l'RSE e il CTI, con il coordinamento del Ministero dello Sviluppo Economico. Ad integrazione di questo piano, la Strategia per la riqualificazione energetica del parco immobiliare nazionale, anche detta Strepin, prevista dal decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102 e in corso di emanazione, indica altresì in particolare, gli obiettivi da raggiungere, le linee di azione su cui si intende puntare per il loro conseguimento, le criticità da superare e le possibili soluzioni strategiche.

Panzeb definisce univocamente l'nZEB (nearly Zero Energy Building – Edificio a energia quasi zero) come edificio, sia esso di nuova costruzione o esistente, tale che da un lato tutti gli indici caratteristici delle prestazioni energetiche (calcolati secondo i valori dei requisiti minimi vigenti dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri edifici), risultino inferiori ai valori dei corrispondenti indici calcolati per l'edificio di riferimento (edificio virtuale geometricamente equivalente a quello di progetto ma dotato dei parametri energetici e delle caratteristiche termiche minime vigenti); e dall'altro siano rispettati gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi di cui all'Allegato 3, paragrafo 1, lettera c), del decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28.

Nel documento del piano è contenuta la valutazione dell'indice di prestazione energetica per alcuni edifici aventi diversa tipologia edilizia, destinazione d'uso e zona climatica scelti tra quelli utilizzati in precedenti studi. Si evidenzia che, al fine di soddisfare i requisiti degli nZEB e in particolare il requisito riguardante l'energia rinnovabile, sarà fondamentale valutare l'utilizzo della pompa di calore (possibilmente centralizzata

e combinata per la produzione di energia termica per riscaldamento, acqua calda sanitaria e raffrescamento) eventualmente associata a sistemi fotovoltaici, ove necessario al raggiungimento della quota rinnovabile.

Realizzare un edificio dotato di elementi e tecnologie tali da permettere elevati livelli prestazionali, comporta, ovviamente, un aumento dei costi di investimento e pertanto il Panzeb analizza i sovracosti di investimento, per gli edifici nuovi e per quelli esistenti, connessi al raggiungimento delle condizioni di nZEB. Si può notare che l'aggravio dei costi è, per gli edifici residenziali, dovuto in misura maggiore alle soluzioni impiantistiche adottate piuttosto che alle misure atte alla coibentazione dell'involucro edilizio. Negli edifici adibiti ad ufficio si rimarca, invece, un peso maggiore delle superfici vetrate (più costose rispetto all'involucro opaco), mentre soluzioni quali le pompe di calore possono già essere considerate come uno standard e non risultano, quindi, come un costo addizionale. Una riflessione, che ad oggi si può fare alla luce delle ultime importanti innovazioni tecnologiche connesse con il fotovoltaico trasparente, è che questi ultimi sistemi, se applicati, renderebbero gli edifici nZEB ancora più vincenti di altri modelli sulla voce costo.

Panzeb fa anche una fotografia del parco immobiliare nazionale con l'individuazione di un possibile scenario per gli nZEB in Italia, evidenziando i molteplici strumenti di promozione dell'efficienza energetica in edilizia attivi a livello nazionale e basati sulla concessione di incentivi (conto termico, detrazioni fiscali per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio, fondi strutturali 2014-2020); e tracciando gli orientamenti e le linee di sviluppo nazionali per incrementare il loro numero tramite gli strumenti regolatori e finanziari esistenti; e riportando un quadro dei programmi promossi dalle Regioni per promuovere gli nZEB. Panzeb costituisce un importante punto di riferimento per tutti coloro che, professionisti o imprenditori, vogliano introdurre nel mercato edifici a zero consumo energetico e stimola altresì notevoli riflessioni sull'attuazione degli edifici nZEB non solo in Italia ma anche in paesi con clima tipico mediterraneo.

2 La diagnosi energetica.

Il presente lavoro ha come oggetto gli edifici pubblici e a tal proposito merita di essere analizzata più in dettaglio la situazione di uno dei due centri maggiori del Sulcis-Iglesiente: la città di Carbonia [1].

A differenza di Iglesias, che segue delle logiche di fondazione e sviluppo che appartengono alla maggior parte dei centri urbani moderni, questa si distingue invece per essere una città mineraria di fondazione. Il primo nucleo di edificazione fu terminato nel 1938 e da tale momento in poi Carbonia si caratterizza per avere una percentuale di edifici di proprietà pubblica, sia residenziali che non, fra le più alte di Italia. Gli edifici, da punto di vista materico e costruttivo, rispettano fortemente i dettami autarchici del regime fascista, essendo costruiti con materiali e tecniche del luogo. Questo aspetto caratterizza fortemente anche la prestazione energetica dei medesimi.

Da notare che con la dismissione dell'attività mineraria, gran parte degli edifici produttivi hanno subito degli interventi che possono essere imputati a necessità di cambio di destinazione d'uso. Da un punto di vista dell'adeguamento energetico degli edifici pubblici, la loro omogeneità storica rende particolarmente interessante lo studio attraverso esempi di intervento.

Dall'indagine condotta sull'evoluzione del costruito della città di Carbonia, si è scelto di analizzare due casi di studio significativi del patrimonio di edilizia pubblica dell'area: l'attuale sede del Comune in Piazza Roma, rappresentativa dell'edificato di fondazione della città e la ex sede degli uffici giudiziari, in via XVII Dicembre, che attualmente ospita gli uffici dei Servizi Sociali, dell'Anagrafe, Elettorale e Leva, dello Stato Civile, della Pubblica Istruzione, dello Sport e della Programmazione e Gestione. L'edificio si distingue dal precedente in quanto rappresentativo di un periodo di costruzione successivo a quello di fondazione.

Le prestazioni energetiche degli edifici sono state valutate secondo la normativa attualmente in vigore.

Come strumento di ausilio per lo svolgimento della diagnosi, è stato utilizzato il software EDILCLIMA (EC700 e moduli integrativi), acquisito e già impiegato nella scorsa annualità (PAR 2015).

In questo capitolo è riportata una sintesi del quadro normativo di riferimento, delle modalità operative seguite nella diagnosi e nei successivi Cap. 3 e Cap. 4 una sintesi dei risultati ottenuti nei due edifici sottoposti ad analisi (Cap. 3 Palazzo Municipale; Cap. 4 edificio ex uffici Giudiziari). Si rimanda alla parte A dell'Allegato 1 al presente documento per i contenuti dettagliati.

2.1 L'aggiornamento normativo

Sono stati pubblicati sul Supplemento Ordinario n.39 alla Gazzetta Ufficiale (Serie Generale n.162 del 15-7-2015) i tre attesi decreti del MISE in materia di efficienza energetica:

- DECRETO 26 giugno 2015 del MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO: Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.
- DECRETO 26 giugno 2015 del MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO: Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici.
- DECRETO 26 giugno 2015 del MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO: Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

Si tratta di tre decreti chiave per l'adeguamento alle normative europee in materia di efficienza energetica degli edifici. Con la firma del Ministro dello Sviluppo economico Federica Guidi e dei Ministri Delrio, Galletti, Lorenzin, Madia e Pinotti, sono stati approvati importanti provvedimenti che completano il quadro normativo in materia di efficienza energetica negli edifici.

Il primo decreto è volto alla definizione delle nuove modalità di calcolo della prestazione energetica e i nuovi requisiti minimi di efficienza per i nuovi edifici e quelli sottoposti a ristrutturazione.

Il secondo decreto adegua gli schemi di relazione tecnica di progetto al nuovo quadro normativo, in funzione delle diverse tipologie di opere: nuove costruzioni, ristrutturazioni importanti, riqualificazioni energetiche.

Con il terzo decreto, sono state aggiornate infine le linee guida per la certificazione della prestazione energetica degli edifici (APE). Il nuovo modello di APE è valido su tutto il territorio nazionale e, insieme ad un nuovo schema di annuncio commerciale e al database nazionale dei certificati energetici (SIAPE), offre al cittadino, alle Amministrazioni e agli operatori maggiori informazioni riguardo l'efficienza dell'edificio e degli impianti, consentendo un più facile confronto della qualità energetica di unità immobiliari differenti e orientando il mercato verso edifici con migliore qualità energetica.

Con l'emanazione di questi provvedimenti si compie un passo importante verso l'incremento degli edifici ad energia quasi zero. Infatti, a partire dal 1 gennaio 2021 i nuovi edifici e quelli sottoposti a ristrutturazioni significative dovranno essere realizzati in modo tale da ridurre al minimo i consumi energetici coprendoli in buona parte con l'uso delle fonti rinnovabili. Per gli edifici pubblici tale scadenza è anticipata al 1 gennaio 2019. I tre provvedimenti sono entrati in vigore il 1 ottobre 2015 e hanno consentito così all'Italia di essere completamente in linea con le direttive europee in materia.

2.1.1 Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.

Questo decreto, previsto dall'art. 4, comma 1 del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192 (il decreto di recepimento della Direttiva 2010/31/UE del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia), è entrato in vigore a decorrere dal 1 ottobre 2015. Esso definisce le modalità di applicazione della metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, ivi incluso l'utilizzo delle fonti rinnovabili, nonché le prescrizioni e i requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici e unità immobiliari, nel rispetto dei criteri generali definiti all'articolo 4 comma 1 del D. Lgs. 192/2005 e riportati nell'Allegato I al nuovo Decreto. Si applica (art. 6) alle Regioni e alle Province autonome che non abbiano ancora adottato provvedimenti di recepimento della direttiva 2010/31/UE. Per promuovere una applicazione omogenea, è previsto che le Regioni, le Province autonome, il Ministero dello sviluppo economico e il Ministero dell'Ambiente collaborino e concorrano per la definizione e l'aggiornamento:

- a) Delle metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici in conformità ai principi generali di cui all'art. 3 del DM 26/6/2015;
- b) Dei requisiti minimi di edifici e impianti;
- c) Di sistemi di classificazione energetica degli edifici, compresa la definizione del sistema informativo comune anche in collaborazione con il Dipartimento della funzione pubblica della Presidenza del Consiglio dei ministri;
- d) del Piano d'azione destinato ad aumentare il numero di edifici a energia quasi zero, di cui all'art. 4-bis, comma 2 del D. Lgs. 192/2005;
- e) Dell'azione di monitoraggio, analisi, valutazione e adeguamento della normativa energetica nazionale e regionale di cui agli articoli 10 e 13 del decreto legislativo.

Dopo un articolo di definizioni (articolo 2) si fa subito riferimento ai Criteri e metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici (Art. 3): per il quale si adottano le seguenti norme tecniche nazionali, nonché le norme riportate all'allegato 2:

- a) raccomandazione CTI 14/2013 "Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione dell'energia primaria e della prestazione energetica EP per la classificazione dell'edificio" e successive norme tecniche che ne conseguono;
- b) UNI/TS 11300-1 "Prestazioni energetiche degli edifici" - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale;
- c) UNI/TS 11300-2 "Prestazioni energetiche degli edifici" - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, la ventilazione e l'illuminazione;
- d) UNI/TS 11300-3 "Prestazioni energetiche degli edifici" - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva;

- e) UNI/TS 11300-4 "Prestazioni energetiche degli edifici" - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione acqua calda sanitaria;
- f) UNI EN 15193 – "Prestazione energetica degli edifici" - Requisiti energetici per illuminazione.

Le ulteriori metodologie di calcolo finalizzate alla redazione dell'attestato di prestazione energetica sono riportate nelle Linee guida nazionali di cui al decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 e nei successivi aggiornamenti previsti dall'art. 6, comma 12, del decreto legislativo.

I criteri e i requisiti della prestazione energetica per la progettazione degli edifici e per la progettazione e installazione degli impianti, si legge nell'articolo 4, sono fissati dalla legge 9 gennaio 1991, n. 10, dal decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412 e dalle ulteriori disposizioni di cui all'Allegato 1 del DM 26/6/2015. È prevista, entro un anno dall'entrata in vigore del Decreto, la predisposizione di uno studio ENEA-CTI sui parametri tecnici dell'edificio di riferimento, al fine di verificare le caratteristiche delle tecniche costruttive, convenzionali e innovative, e per monitorare l'evoluzione dei requisiti energetici ottimali.

All'Art. 5 si riporta che i Criteri generali in materia di esercizio, conduzione, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari sono fissati dal decreto del Presidente della Repubblica 16 aprile 2013, n. 74.

All'articolo 7 si stabilisce che gli strumenti di calcolo e i software commerciali per l'applicazione delle metodologie di cui al comma 1 dell'art. 3 del DM 26/6/2015 garantiscono che i valori degli indici di prestazione energetica, calcolati attraverso il loro utilizzo, abbiano uno scostamento massimo di più o meno il 5 % rispetto ai corrispondenti parametri determinati con l'applicazione di uno strumento nazionale di riferimento predisposto dal CTI sulla cui base verrà redatta una garanzia in forma di dichiarazione dello stesso CTI. Nelle more del rilascio della dichiarazione, essa viene sostituita da un'autodichiarazione del produttore del software commerciale, in cui compare il riferimento della richiesta di verifica avanzata al CTI. Inoltre, l'Enea, in collaborazione con il CTI, predisporrà uno studio per valutare l'aggiornamento della classificazione degli edifici e degli spazi di cui al paragrafo 1.2, dell'Allegato 1, in relazione alle diverse condizioni di utilizzo, anche all'interno di edifici della stessa categoria.

2.1.2 Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici.

Le disposizioni contenute, ivi compresi gli allegati, entrano in vigore a decorrere dal giorno successivo a quello della sua pubblicazione (quindi a decorrere dal 16 luglio 2015) e (si specifica all'articolo 3) hanno efficacia a decorrere dall'entrata in vigore del decreto di cui all'art. 4, comma 1 del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192 ovvero il Decreto 26/6/2015 "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici".

In base all'articolo 8, comma 1 del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192 (il decreto di recepimento della Direttiva 2010/31/UE del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia), il progettista o i progettisti, nell'ambito delle rispettive competenze edili, impiantistiche termotecniche, elettriche e illuminotecniche, devono inserire i calcoli e le verifiche previste dal Decreto Legislativo (di cui sopra) nella relazione tecnica di progetto attestante la rispondenza alle prescrizioni per il contenimento del consumo di energia degli edifici e dei relativi impianti termici.

Il Decreto 26 giugno 2015 approva gli schemi di relazione tecnica di progetto riportandoli negli Allegati:

- a) Allegato I: Nuove costruzioni, ristrutturazioni importanti di primo livello, edifici ad energia quasi zero
- b) Allegato II: Riqualificazione energetica e ristrutturazioni importanti di secondo livello. Costruzioni esistenti con riqualificazione dell'involucro edilizio e di impianti termici.
- c) Allegato III: Riqualificazione energetica degli impianti tecnici.

I tre allegati sono parte della Relazione tecnica di cui al comma 1 dell'articolo 8 del D.Lgs.n. 192/2005, attestante la rispondenza alle prescrizioni in materia di contenimento del consumo energetico degli edifici.

2.1.3 Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

Il Decreto 26 giugno 2015 del Ministero dello Sviluppo Economico "Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici" sarà in vigore dal 1 ottobre 2015. Resta ferma, ove non sia sopraggiunta la scadenza, la validità per ogni effetto di legge, degli attestati di certificazione energetica redatti ai sensi delle Linee guida di cui al DM 26 giugno 2009. Il Decreto stabilisce che le proprie disposizioni sono direttamente operative nelle Regioni e nelle Province autonome che non abbiano ancora provveduto ad adottare propri strumenti di attestazione della prestazione energetica degli edifici in conformità alla direttiva 2010/31/UE. Se queste avessero adottato propri strumenti dovranno intraprendere misure atte a favorire, entro due anni dall'entrata in vigore del decreto presente, l'adeguamento dei propri strumenti regionali alle Linee guida.

In particolare, si legge all'articolo 8, gli enti locali dovranno avviare programmi di verifica annuale della conformità degli APE emessi e l'ENEA adeguerà lo strumento di calcolo semplificato "DOCET" per tenere conto degli aggiornamenti introdotti dal presente Decreto 26/6/2015 e dal Decreto 26/6/2015 sui requisiti minimi.

L'emanazione del Decreto è funzionale alla piena attuazione della direttiva 2010/31/UE, e in particolare dell'art. 11, anche al fine di adempiere alle prescrizioni imposte dalla Commissione europea con la procedura di infrazione n. 0368/2012: pertanto, il provvedimento cerca di favorire l'applicazione omogenea e coordinata dell'attestazione della prestazione energetica degli edifici e delle unità immobiliari definendo:

- a) Le Linee guida nazionali per l'attestazione della prestazione energetica degli edifici;
- b) Gli strumenti di raccordo, concertazione e cooperazione tra lo Stato e le regioni;
- c) La realizzazione di un sistema informativo comune per tutto il territorio nazionale per la gestione di un catasto nazionale degli attestati di prestazione energetica e degli impianti termici.

Le linee guida sono contenute nell'Allegato 1 al DM 26/6/2015 e prevedono:

- a) Metodologie di calcolo, anche semplificate per gli edifici caratterizzati da ridotte dimensioni e prestazioni energetiche di modesta qualità, finalizzate a ridurre i costi a carico dei cittadini;
- b) Il format di APE, di cui all'appendice B delle Linee guida, comprendente tutti i dati relativi all'efficienza energetica dell'edificio e all'utilizzo delle fonti rinnovabili nello stesso, al fine di consentire ai cittadini di valutare e confrontare edifici diversi;
- c) Lo schema di annuncio di vendita o locazione, di cui all'appendice C delle Linee guida, che renda uniformi le informazioni sulla qualità energetica degli edifici fornite ai cittadini;
- d) La definizione del sistema informativo comune per tutto il territorio nazionale, di seguito SIAPE, di cui all'art. 1, comma 1, lettera c).

Particolare rilevanza riveste l'articolo 4 che riporta gli "Elementi essenziali e disposizioni minime comuni del sistema nazionale e regionale di attestazione della prestazione energetica degli edifici": sono elementi "essenziali"

- a) le informazioni che devono obbligatoriamente essere contenute nell'APE, compresi i dati relativi all'efficienza energetica dell'edificio, i valori vigenti a norma di legge, i valori di riferimento o classi prestazionali che consentano ai cittadini di valutare e raffrontare la prestazione energetica dell'edificio in forma sintetica e anche non tecnica, i suggerimenti e le raccomandazioni in merito agli interventi più significativi ed economicamente convenienti per il miglioramento della predetta prestazione;
- b) le norme tecniche di riferimento, conformi a quelle sviluppate in ambito europeo e nazionale;
- c) le procedure e i metodi di calcolo della prestazione energetica degli edifici, compresi i metodi semplificati di cui all'art. 6, comma 12, lettera a) del decreto legislativo.

Inoltre, sono essenziali i requisiti professionali e i criteri per assicurare la qualificazione e l'indipendenza dei soggetti preposti alla certificazione energetica degli edifici, desumibili dal decreto del Presidente della Repubblica 16 aprile 2013, n. 75.

Al comma 3 dell'articolo 4 si fa riferimento all'APE (Attestato Prestazione Energetica) che ha una validità temporale massima di dieci anni a partire dal suo rilascio e va aggiornato a ogni intervento di ristrutturazione o riqualificazione che riguardi elementi edilizi o impianti tecnici in maniera tale da modificare la classe energetica dell'edificio o dell'unità immobiliare. Tale validità è subordinata al rispetto delle prescrizioni per le operazioni di controllo di efficienza energetica degli impianti tecnici dell'edificio, in particolare per gli impianti termici, comprese le eventuali necessità di adeguamento previste dai regolamenti di cui al decreto del Presidente della Repubblica 16 aprile 2013, n. 74. Nel caso di mancato rispetto di dette disposizioni, l'APE decade il 31 dicembre dell'anno successivo a quello in cui è prevista la prima scadenza non rispettata per le predette operazioni di controllo di efficienza energetica. Ogni APE va redatto da un soggetto abilitato (ai sensi del DPR 16 aprile 2013, n. 75) e riporta obbligatoriamente, per l'edificio o per l'unità immobiliare, pena l'invalidità:

- a) la prestazione energetica globale sia in termini di energia primaria totale che di energia primaria non rinnovabile, attraverso i rispettivi indici;
- b) la classe energetica determinata attraverso l'indice di prestazione energetica globale, espresso in energia primaria non rinnovabile;
- c) la qualità energetica del fabbricato ai fini del contenimento dei consumi energetici per il riscaldamento e il raffrescamento, attraverso gli indici di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale ed estiva dell'edificio;
- d) i valori di riferimento, quali i requisiti minimi di efficienza energetica vigenti a norma di legge;
- e) le emissioni di anidride carbonica;
- f) l'energia esportata;
- g) le raccomandazioni per il miglioramento dell'efficienza energetica con le proposte degli interventi più significativi ed economicamente convenienti, distinguendo gli interventi di ristrutturazione importanti da quelli di riqualificazione energetica. Inoltre, l'APE deve riportare le informazioni correlate al miglioramento della prestazione energetica, quali gli incentivi di carattere finanziario e l'opportunità di eseguire diagnosi energetiche.

Al punto 6 si specifica poi che il soggetto abilitato dovrà effettuare almeno un sopralluogo presso l'edificio o l'unità immobiliare oggetto di attestazione, al fine di reperire e verificare i dati necessari alla sua predisposizione.

All'articolo 7 si aggiunge che l'ENEA entro 30 giorni dall'entrata in vigore del decreto, predisporrà una guida alla lettura dell'APE, un opuscolo informativo sui suoi contenuti e sugli adempimenti ad esso connessi.

All'articolo 5, il Decreto 26/6/2015 stabilisce che le Regioni e le Province autonome al fine dell'effettuazione dei controlli della qualità dell'attestazione della prestazione energetica reso dai soggetti certificatori, definiranno piani e procedure di controllo che consentano di analizzare almeno il 2% degli APE depositati territorialmente in ogni anno solare.

Infine, all'articolo 6 si accenna al Sistema Informativo sugli Attestati di Prestazione Energetica, la Banca Dati che sarà predisposta da ENEA entro 90 giorni dalla data di entrata in vigore del Decreto 26/6/2015: l'Ente garantirà l'interoperabilità del SIAPE con i sistemi informativi nazionali e regionali esistenti ed in particolare con i catasti regionali degli impianti termici e la progressiva interoperabilità con i sistemi informatici dell'Agenzia delle Entrate relativi al catasto degli edifici.

Le Regioni e le Province autonome, entro il 31 marzo di ogni anno, alimenteranno il SIAPE con i dati relativi all'anno ultimo trascorso.

Entro 180 giorni dall'entrata in vigore del Decreto, l'ENEA, ai sensi dell'articolo 7.2 è tenuto a predisporre una sezione dedicata alla prestazione energetica degli edifici contenente:

- a) l'accesso al SIAPE;
- b) informazioni sugli interventi per l'incremento della prestazione energetica degli edifici, le tecnologie disponibili a tal fine, i costi indicativi, un quadro aggiornato sugli incentivi nazionali e regionali nonché una guida alla compilazione delle raccomandazioni di cui all'art. 4, comma 4, lettera g);

- c) le statistiche annuali articolate sugli attestati di prestazione energetica emessi e sui controlli effettuati, indicando, tra gli altri, i dati, totali e per annualità, per ciascuna regione e provincia autonoma, nonché una analisi statistica dei costi medi del servizio di redazione degli attestati stessi

2.2 Le modalità operative della diagnosi energetica

Lo svolgersi dell'attività di diagnosi energetica ha visto previsto il susseguirsi delle seguenti fasi:

1. Acquisizione di informazioni:
 - 1.1. acquisizione presso l'amministratore delle informazioni e dei dati utili alla caratterizzazione energetica del sistema edificio-impianto, nonché degli elaborati esistenti, ove disponibili;
 - 1.2. acquisizione dei dati storici di consumo per il riscaldamento relativi ad un numero congruo di stagioni di esercizio.
2. Rilievo dell'involucro edilizio: rilievo delle caratteristiche dell'involucro edilizio (dati dimensionali, etc) e stima delle stratigrafie; conferma dell'eventuale documentazione acquisita e, in caso di incertezza, verifiche strumentali.
3. Rilievo caratteristiche dell'impianto (schemi funzionali, caratteristiche delle apparecchiature e dei componenti utili all'esecuzione dei calcoli energetici), conferma dell'eventuale documentazione acquisita ed effettuazione di eventuali verifiche strumentali.
4. Valutazione quantitativa della performance energetica: la metodologia prevede unostep di identificazione di parametri necessari per il calcolo degli indici di prestazione energetica, ed in particolare:
 - 4.1. Classificazione dell'edificio in base all'art. 3 del DPR del 26 agosto 1993, n. 412:
 - 4.1.1. Identificazione dei parametri climatici della zona;
 - 4.1.2. Gradi giorno della zona di insediamento;
 - 4.1.3. Temperatura esterna minima di progetto (norme UNI 5364 e smi);
 - 4.1.4. Temperatura massima estiva di progetto dell'aria esterna.
 - 4.2. Raccolta dati tecnici e costruttivi dell'edificio e delle strutture in termini di:
 - 4.2.1. Volume delle parti di edificio abitabili o agibili al lordo delle strutture delimitanti;
 - 4.2.2. Superfici esterna delimitante il volume;
 - 4.2.3. Rapporto di forma dell'edificio;
 - 4.2.4. Superficie utile;
 - 4.2.5. Valore di progetto della temperatura esterna;
 - 4.2.6. Valore di progetto dell'umidità relativa interna.
 - 4.3. Raccolta dati relativi agli impianti H&C e produzione acqua calda sanitaria (tipo di generatore, zona servita, ubicazione, fluido termovettore, combustibile, potenza termica/utile, specifiche relative al funzionamento)
 - 4.4. Risultati dei calcoli:
 - 4.4.1. Involucro edilizio e ricambi d'aria:
 - 4.4.1.1. Trasmittanza;
 - 4.4.1.2. Caratteristiche di massa superficiale;
 - 4.4.1.3. Caratteristiche igrometriche dell'involucro (condensa superficiale, condensa interstiziale);
 - 4.4.1.4. Caratteristiche termiche dei componenti finestrati (trasmittanza vetri e infissi).
 - 4.4.2. Valore dei rendimenti medi stagionali di progetto:
 - 4.4.2.1. COP;
 - 4.4.2.2. EER;
 - 4.4.2.3. Rendimento di regolazione;
 - 4.4.2.4. Rendimento di distribuzione;
 - 4.4.2.5. Rendimento di emissione.
 - 4.4.3. Indici di prestazione energetica per la climatizzazione invernale ed estiva, per la produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione e illuminazione, così come definiti al paragrafo 3.3 dell'Allegato 1 del decreto di cui all'art. 4, comma 1 del DLGS 192/2005 (secondo la metodologia indicata dalla UNI/TS 11300 e norme correlate):

- 4.4.3.1. Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente (UNI EN ISO 13789);
 - 4.4.3.2. Indici di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale/estiva;
 - 4.4.3.3. Indice di prestazione energetica globale dell'edificio (in termini di energia primaria richiesta per riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria, illuminazione, servizi);
 - 4.4.3.4. Indice di prestazione energetica globale dell'edificio (in termini di energia primaria non rinnovabile);
 - 4.4.3.5. Consuntivo energia (energia consegnata, energia rinnovabile, fabbisogno annuo globale di energia primaria).
 5. Elaborazione di almeno 3 proposte di intervento per la riduzione dei fabbisogni energetici.
 6. Redazione della diagnosi energetica del sistema edificio-impianto, che contenga, per ciascun intervento proposto, i seguenti elementi essenziali:
 - 6.1. la descrizione sintetica di ciascun intervento;
 - 6.2. il risparmio energetico previsto per ciascun intervento riferito alla situazione *ante operam*;
 - 6.3. il costo di ciascun intervento e la relativa stima dei tempi di ritorno dell'investimento necessario;
 - 6.4. il raggruppamento in pacchetti di interventi interdipendenti (ad esempio, sostituzione del generatore di calore e, ai sensi della norma vigente, conseguente installazione di sistemi di termoregolazione e contabilizzazione) e priorità di intervento, intese come successione corretta di interventi propedeutici e conseguenti;
 - 6.5. le modalità e le metodologie per verificare i risparmi energetici effettivamente conseguiti a seguito della realizzazione di uno o più degli interventi proposti.
- Gli interventi devono essere numerati e descritti progressivamente nella sequenza logica di esecuzione.

3 Analisi di edifici pubblici del Sulcis: Palazzo municipale

L'attuale sede del Comune di Carbonia è uno dei principali edifici pubblici che si affacciano sulla Piazza Roma, il centro direzionale e sociale dell'impianto originario della città, secondo il progetto voluto dal Regime Fascista. Il fabbricato, che originariamente, ospitava il Municipio e l'Ufficio Postale, nonché, nel corpo congiungente i due, un Caffè, negli anni '70 è stato oggetto di sopraelevazione, con l'aggiunta di un terzo piano che nei progetti originari non era previsto.

Dai documenti storici è stato possibile desumere le caratteristiche costruttive del complesso. Le modalità costruttive sono riassumibili nell'uso di murature portanti in trachite e solai laterocementizi, infissi prevalentemente in legno (sostituiti durante gli interventi di ristrutturazione) e coperture in coppi. Il cemento armato è utilizzato per gli architravi delle aperture maggiori o in serie. La muratura in mattoni pieni è destinata alle parti più sollecitate dell'ossatura muraria, archi e piattabande, mentre i forati sono utilizzati per le partizioni interne.

I documenti d'archivio riportano l'indicazione di strutture di copertura lignee, e non con capriate reticolari in cemento armato come negli altri edifici pubblici; sui muri portanti, di prospetto e di spina, si innestavano le capriate e puntoni d'angolo per sagomare i tetti a padiglione. L'originaria orditura lignea è stata necessariamente smantellata durante i lavori di sopraelevazione.

I caratteri costruttivi del Municipio, così come quelli delle altre architetture civili di Carbonia, costruite nello stesso periodo, risentono fortemente delle limitazioni tecniche imposte dall'autarchia. L'uso del ferro come materiale costruttivo a sé stante è nullo, così come fortemente ridotto è il ricorso al calcestruzzo armato. La tecnica costruttiva più utilizzata è quella della muratura portante e il materiale ricorrente, questa volta per ragioni economiche è la trachite locale.

Sempre le fonti storiche riportano che tutte le superfici murarie erano finite con intonaco di malta bastarda (calce e cemento), ricoperto in quelle esterne da intonaco "tipo Terranova".

Per quanto attiene agli orizzontamenti, spiccava l'utilizzo di elementi in laterocemento del tipo "SAP" o "REX". Si tratta di una delle pochissime concessioni dell'autarchia all'utilizzo di materiali all'epoca all'avanguardia tecnica, sebbene anche il loro impiego sia sostanzialmente finalizzato alla riduzione dell'uso del ferro. Si riportano nelle figure 3.1--5 seguenti vista, piante e sezione dell'edificio allo stato attuale.



Figura 3.1. Vista dell'edificio Municipale di Carbonia



Figura 3.2. Pianta arredata del piano terra



Figura 3.3. Pianta arredata del primo piano.



Figura 3.4. Pianta arredata del secondo piano.



Figura 3.5. Sezione dell'edificio.

A seguito della audit energetico si è proceduto a effettuare l'analisi computazionale, che ha permesso di evidenziare alcuni deficit prestazionali dell'involucro.

La muratura in trachite, i solai di copertura e la chiusura orizzontale verso il porticato hanno valori di trasmittanza elevata se confrontata con gli attuali limiti di legge. Gli infissi, per quanto sostituiti durante gli interventi di ristrutturazione succedutesi nel tempo, comunque non rispettano i limiti attuali pur avendo il vetrocamera. Attualmente i valori di conducibilità del materiale sono stati desunti dalla letteratura, ma si fa presente che è allo studio un'apparecchiatura per il test in laboratorio dei materiali locali (obiettivo della seconda parte dell'attività di ricerca). Le parti impiantistiche, almeno per quanto riguarda il sistema di generazione, dimostrano invece una maggior efficienza. Il sottosistema di distribuzione appare invece obsoleto ed è stato assunto un rendimento di distribuzione necessariamente penalizzante nei calcoli.

Si è quindi proceduto, sulla base dei dati raccolti e dei calcoli eseguiti, a individuare una serie di interventi migliorativi, tenendo necessariamente conto dei vincoli architettonici e conservativi.

Le proposte analizzate riguardano la coibentazione del solaio di copertura, la coibentazione del solaio verso il porticato e la sostituzione degli infissi. Sia per ragioni legate alla ridotta possibilità di intervento, sia perché l'edificio, nel complesso, non ha una classificazione energetica estremamente bassa allo stato attuale, i miglioramenti ottenibili con questi interventi non sono significativi.

A seguito, nell'ottica dell'avvicinamento ad un modello NZEB, si è analizzato l'inserimento di fonti rinnovabili. Al riguardo ci si è riferiti ad una proposta progettuale già presa in considerazione dall'Amm.ne comunale,

ovvero quella di installare un impianto fotovoltaico sulla copertura dell'edificio del bocciodromo, di proprietà del comune e nelle vicinanze del Municipio. In questo caso il contributo della tecnologia è significativo e comporterebbe un sensibile avvicinamento al target NZEB (da 53,17 a 7,46 kWh/m2anno).

4 Analisi di edifici pubblici ad uso ufficio: ex Uffici Giudiziari

A differenza del Municipio, le fonti bibliografiche relative al secondo edificio sono estremamente scarse. Originariamente esso era la sede del tribunale di Carbonia, ora accorpato a quello di Cagliari. È stato quindi destinato ad ospitare uffici del Comune, in particolare quelli dei Servizi Sociali, dell'Anagrafe, Elettorale e Leva, dello Stato Civile, della Pubblica Istruzione, dello Sport e della Programmazione e Gestione. L'edificio sorge ai limiti orientali dell'edificato della città, in Via XVIII Dicembre.

Le scelte formali e costruttive del fabbricato consentono di ascriverlo ad una serie di edifici per uffici pubblici che a partire dagli anni '70 hanno riproposto con un certo manierismo scelte morfologiche e costruttive riscontrabili nell'opera dell'ing. Enrico Mandolesi, attivo a Cagliari dal 1965 al 1970.

L'intelaiatura portante è evidentemente in conglomerato cementizio armato. La muratura è stata ipotizzata costituita da un doppio strato di mattoni forati intercalati da un'intercapedine vuota e rifiniti esternamente con un pannello di calcestruzzo prefabbricato. I solai sono per certo in laterocemento, con uno spessore, stante la luce che coprono di 16+4 cm. Gli infissi sono metallici con vetro camera, il che fa presupporre un intervento di sostituzione successivo alla realizzazione. La copertura è piana rifinita con uno strato di impermeabilizzazione bituminoso. Le tramezzature interne sono realizzate con laterizi forati. Non è stato possibile, data l'assenza dei capitoli speciali di appalto, verificare le soluzioni costruttive indicate.

Si riportano di seguito nelle figure 4.1-4 vista e piante del fabbricato.



Figura 4.1. Vista dell'edificio ex Uffici Giudiziari

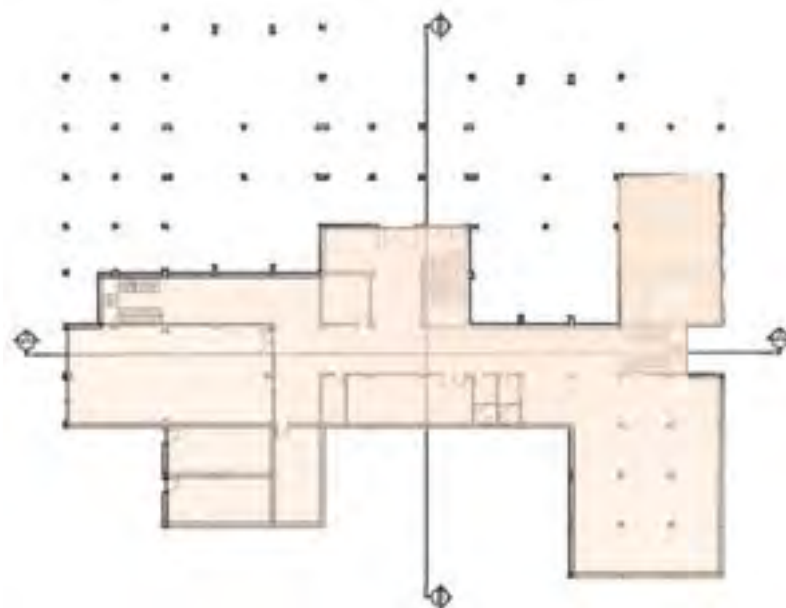


Figura 4.2. Pianta del piano pilotis (in evidenza le zone non utilizzate e non riscaldate).

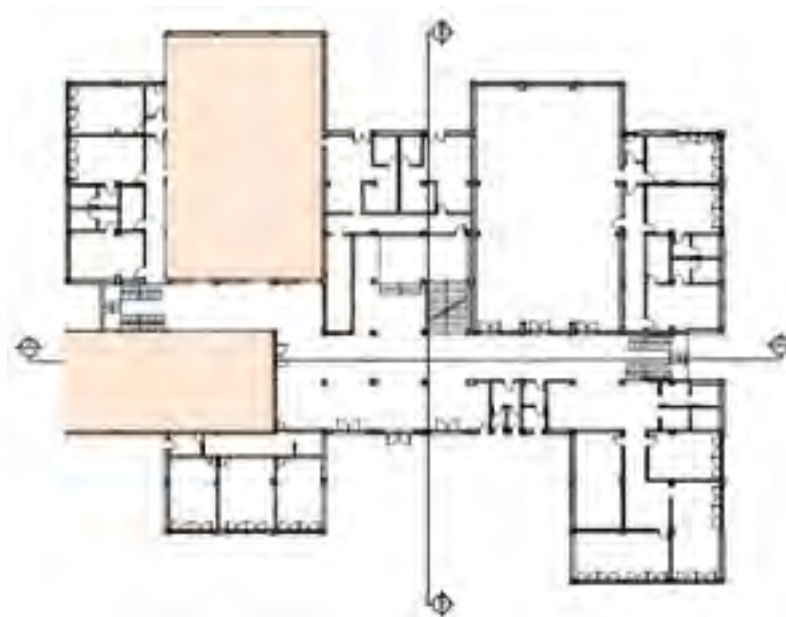


Figura 4.3. Pianta del piano terra (in evidenza le zone non utilizzate e non riscaldate).

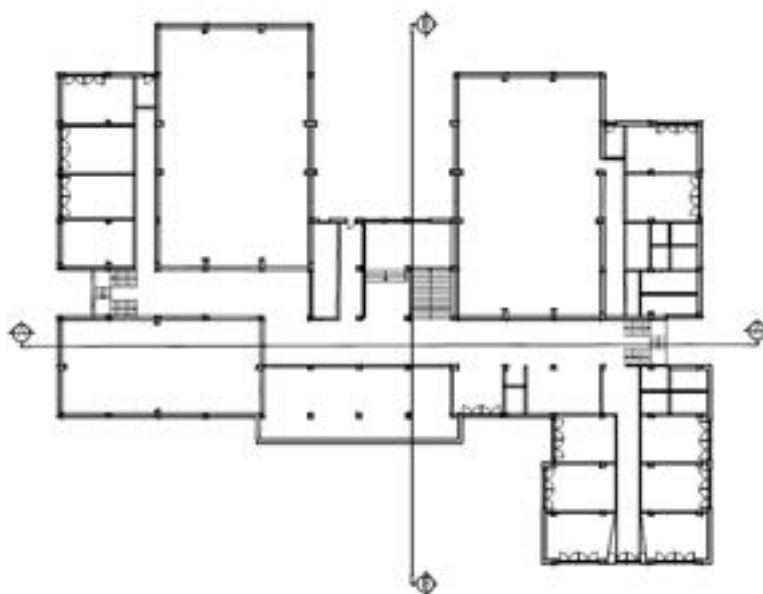


Figura 4.4. Pianta del piano primo.

A seguito dell'audit energetico si è proceduto alla diagnosi con la metodologia già seguita ed indicata per l'edificio sede del Comune di Carbonia. Il calcolo effettuato ha permesso di rilevare criticità su elementi dell'involucro edilizio quali, ad esempio, alta trasmittanza del solaio verso il piano pilotis e del solaio di copertura. La muratura in laterizio a cassa vuota è meno lontana dai limiti di legge. Anche in questo caso, come per l'edificio precedente, gli infissi sebbene non eccessivamente scadenti (hanno anche in questo caso il vetrocamera) non rispettano comunque i limiti di legge.

Sul lato impiantistico si rileva la presenza ancora della caldaia a gasolio per il riscaldamento. I dati di targa della medesima hanno permesso di stimare un rendimento di generazione non elevato.

In questo caso gli interventi migliorativi sull'involucro hanno dato risultati più interessanti che nel caso del Municipio. In particolare la spesa da sostenere per la coibentazione dei solai esterni e l'insufflaggio di materiale isolante nell'intercapedine della muratura presenta tempi di ritorno che variano dai 12 ai 3 anni. L'intervento di sostituzione della caldaia avrebbe invece tempo di ritorno di circa 5 anni.

Anche sommando tutti gli interventi, però, si rimane lontani dal target NZEB, ragion per cui anche in questo caso è stato necessario valutare l'inserimento di fonti rinnovabili quali il fotovoltaico.

La possibilità di installazione in copertura è notevole e anche volendo usufruire solo della parte più alta della medesima, è possibile alloggiare più di un MWp di pannelli. Una tale potenzialità è sostanzialmente inutile per l'edificio in oggetto. È stata fatta una valutazione con 30 kWp ed il tempo di ritorno è di soli 3,9 anni a fronte di una copertura totale dei consumi energetici, che porta l'edificio in una classe A2. Vista l'ampia superficie ancora disponibile è di fatto possibile aumentare la potenzialità per coprire anche il fabbisogno invernale, a patto di sostituire il generatore a gasolio con una pompa di calore aria acqua. Lo scenario proposto, quindi, potrebbe decisamente diventare quello di NZEB, con una combinazione di interventi che può essere riproposta anche su altri edifici di pari caratteristiche.

5 Prototipo per misurazioni in laboratorio di parametri relativi alle prestazioni termiche dei materiali tipici del Sulcis

Oggetto della presente parte è stato lo studio e la proposta realizzativa di un prototipo di apparecchiatura per la misura in laboratorio delle prestazioni termiche dei materiali costruttivi locali, maggiormente ricorrenti nell'edificazione del patrimonio storico della città di Carbonia, e l'effettuazione di test di alcuni suoi componenti. Di seguito si riporta una sintesi dell'attività svolta, rimandando alla parte B dell'Allegato 1 del presente documento per il quadro dettagliato.

5.1 Il quadro normativo di riferimento

Al fine di definire le caratteristiche del prototipo, si è proceduto ad individuare la principale norme di interesse sull'argomento.

Il sistema di misura, dovrà essere realizzato in applicazione delle norme ISO 8301 e UNI-EN 12667 (fanno riferimento agli edifici di cui i materiali sono componenti e il punto di vista è rivolto alle prestazioni energetiche degli edifici tradizionali).

Inoltre, si possono seguire i criteri dettati dalle norme UNI EN 12667:2001 e ISO 8301 per la determinazione della conducibilità termica, per materiali con resistenza termica non inferiore a $0,5 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Completando il quadro normativo, in materia di efficienza energetica la comunità europea indica la strada da percorrere ai Paesi membri attraverso la direttiva 2002/91/CE "Rendimento energetico nell'edilizia" e la direttiva 2006/32/CE "Efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici" e successive. L'Italia risponde a questa chiamata a più riprese pubblicando diversi decreti legislativi e per ultimo il DPR 59/09, ovvero il Decreto del Presidente della Repubblica del 2 aprile 2009 n. 59 entrato in vigore il 25 Giugno 2009.

5.2 Il prototipo

A seguito di uno studio bibliografico, si è partiti da uno schema funzionale che prevede l'utilizzo di due unità termiche ad effetto Peltier. Queste avranno il compito di creare e mantenere all'interno del provino un flusso di calore costante, uniforme e unidirezionale, misurato da due termoflussimetri, al fine di stabilirne la conducibilità termica alla temperatura media di prova nell'intervallo di lavoro a cui è sottoposto il materiale durante il suo normale utilizzo nella muratura.

Si è quindi provveduto a definire la proposta progettuale.

Sulla base dei criteri dettati dalle norme UNI EN 12667:2001 e ISO 830, è stato applicato il metodo del termoflussimetro basato sull'applicazione della legge di Fourier per la conduzione termica, approssimata al caso di flusso di calore uniforme, costante e unidirezionale.

5.2.1 Schema apparato

La densità di flusso di calore viene misurata tramite uno o due termoflussimetri disposti sulle facce del provino a seconda della configurazione adottata. Le configurazioni possibili variano a seconda del numero di provini, di unità termiche e di termoflussimetri adoperati.

5.2.2 Unità termiche

Il cuore del dispositivo sarà costituito da due celle di Peltier già disponibili in commercio da 50 W ciascuna, collegate elettricamente in serie e alimentate quindi da una tensione di 24V e corrente massima assorbita di 7,7 A.

Il dispositivo di base ha una superficie attiva di scambio termico di $120 \times 60 \text{ mm}$, corrispondente all'area effettiva occupata dalle due celle con le quali è a contatto. L'intero apparato sarà dimensionato secondo una superficie di contatto rettangolare di $230 \times 122 \text{ mm}$, ottenuta realizzando due piastre di alluminio fresato di tale dimensione da fissare a quella della cella, con l'effetto di aumentare la superficie di scambio termico. Per garantire la minore resistenza termica possibile, fra le due sarà applicato uno strato di pasta termoconduttiva per applicazioni elettroniche. Di conseguenza i provini da sottoporre a misura dovranno avere dimensione $230 \times 122 \text{ mm}$. Le due piastre di alluminio dello spessore di 10 mm, serviranno sia da superficie di scambio termico che da supporto/alloggiamento per gli strumenti di misura: una delle due alloggerà le sonde di temperatura e il termoflussimetro e l'altra le sonde di temperatura. Allo scopo dovranno essere eseguite delle lavorazioni con macchine utensili a controllo numerico per ricavare l'alloggiamento per

i termoflussimetri e per le sonde.

Inoltre dovranno essere eseguite delle asole per il passaggio dei cavi e i fori per le viti di fissaggio. Il volume rimasto libero tra le piastre e il dispositivo dovrà essere riempito con provino di test. Per garantire l'isolamento delle superfici laterali di piastre e provino dall'ambiente esterno, dovrà essere realizzato un involucro isolante.

5.2.3 Il controller temperatura

Per pilotare le unità termiche sono stati scelti dei controller elettronici dedicati per celle di Peltier. Dopo aver visionato diversi prodotti, è stato deciso di acquistare due controller della OEM-Instruments, modello FG-541-201 OEM (Figura 5.1).

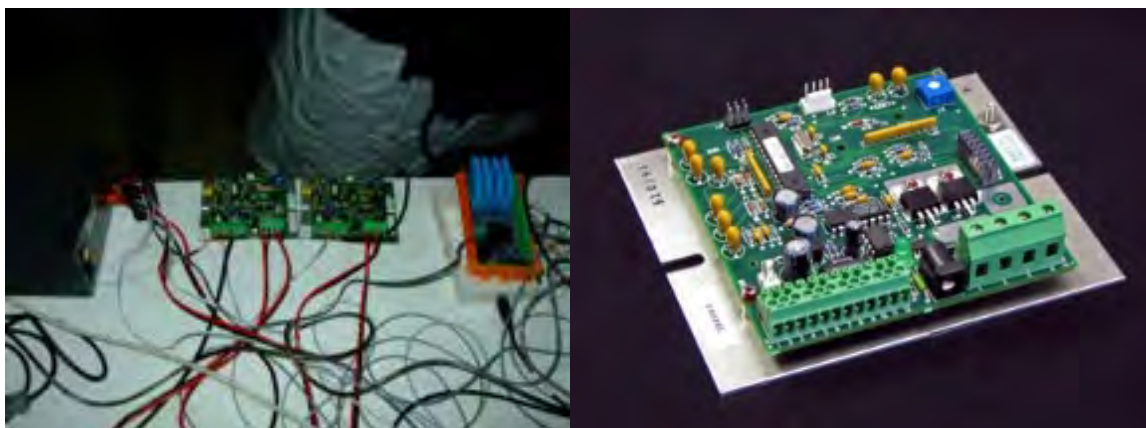


Fig. 5.1. Il controller temperatura.

Questo tipo di controller integra sia la parte di controllo, svolta da un regolatore di tipo PID, che quella di potenza, ed è in grado di pilotare celle di Peltier con alimentazione variabile da 0 a 48V e correnti fino a 20A. L'interfacciamento col pc avviene tramite interfaccia seriale, ma è stato necessario anche l'utilizzo di un convertitore seriale-usb, dato che ormai tale porta non è più presente sui personal computer attuali. La parte di potenza è realizzata tramite un modulatore PWM. Per il feedback della temperatura si utilizza un termistore con resistenza di 10000 Ω a 25°C, ed è anche possibile collegarne un secondo da utilizzare come monitoraggio o allarme. In dotazione viene fornito un termistore con precisione di $\pm 1^\circ\text{C}$, che sarà sostituito con un altro da $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

5.2.4 Alimentatore

Per l'alimentazione delle unità termiche e delle due schede di controllo si utilizzerà un alimentatore switching Microset PL 530, regolabile in tensione con range 4-30V e capace di fornire 40 A in CC, dotato inoltre di amperometro e voltmetro.

5.2.5 Termoflussimetro

Per la misura del flusso di calore verrà utilizzato un termoflussimetro della Hukseflux. Questo è costituito da una piastra in materiale plastico-ceramico a bassissima resistenza termica, e da un'uscita in tensione proporzionale al flusso di calore che lo attraversa. L'elemento sensibile è costituito da una termopila che genera un segnale in mV proporzionale alla differenza di temperatura rilevata tra le due facce del sensore. Considerando stabile il flusso, costante la conducibilità termica del corpo in misura e trascurabile l'influenza del sensore sulle modalità di propagazione del flusso stesso, il segnale di uscita del sensore è proporzionale alle sole variazioni di flusso che lo attraversano. La lettura del segnale di uscita può essere effettuata con l'impiego di un voltmetro di precisione o con i più comuni datalogger per poi essere convertita in misura di flusso di calore.

5.2.6 Sonde temperatura

Per la rilevazione della temperatura delle piastre si è pensato di utilizzare delle termoresistenze PT100 che utilizza un controller a quattro canali dedicato (vedi figura 5.2). Le sonde di temperatura saranno collegate al controller della Elmed IBRM-04.



Figura 5.2. IL controller assemblato Pt100.

Il modulo IBRM04 permette la conversione di quattro valori di temperatura rilevati tramite sonde PT100, in altrettanti rispettivi segnali di tensione. La curva di risposta del segnale viene linearizzata tramite moduli ibridi (TLC05) permettendo un interfacciamento molto semplice. Il modulo è tarato in fabbrica per il range di temperatura 0-100°C al quale corrisponde una tensione in uscita di 0-10V, con risposta lineare. Per l'alimentazione del modulo è necessaria una sola alimentazione anche non stabilizzata. Il modulo è alloggiato in un contenitore plastico montabile su guida DIN. Saranno utilizzati elementi Pt100 racchiusi in un involucro di acciaio inox del diametro di 4 mm e lungo 50 mm, in modo da poter essere inseriti nelle sedi ricavate sulle piastre in modo da non rischiare di danneggiarli. Anche in questo caso verrà utilizzata la pasta termoconduttiva per tenere sotto controllo la resistenza termica di contatto.

5.2.7 L'acquisizione e l'elaborazione dati

Si prevede lo sviluppo in ambiente Labview di un programma per l'acquisizione e la registrazione dei segnali provenienti dai sensori di temperatura e dal termoflussimetro e inoltre per realizzare la gestione delle due unità a cella di Peltier, finalizzata al raggiungimento degli andamenti di temperatura e di flussi di calore desiderati sul provino sotto test.

Tutti i dati saranno raccolti, elaborati e visualizzati tramite il software Labview installabile su pc.

I segnali elettrici provenienti dai vari sensori saranno acquisiti mediante due schede usb della National Instruments (vedi figura 5.3).

La prima, che riceve i dati dal controller Elmed, è la NI USB-6211, tramite la quale la tensione generata dal controller Elmed viene acquisita e trasmessa in una temperatura dal software.

La seconda scheda è una NI USB-9211° e tramite questa interfaccia viene acquisito il segnale in tensione del termoflussimetro, che viene poi elaborato dal software per avere il dato del flusso di calore.



Figura 5.3. Le due schede di acquisizione.

Per l'elaborazione dei dati sarà elaborato, tramite LabView, un software che applicando la legge di Fourier fornirà il valore della conducibilità termica. Sarà possibile inoltre visualizzare a monitor anche gli altri dati acquisiti.

Al momento sono state testate le due celle a effetto Peltier e si sta procedendo alla verifica del sistema di controllo della OEM-Instruments attraverso il software di cui in figura 5.4 si riporta lo schema funzionale in LabView che sta fornendo i risultati attesi.

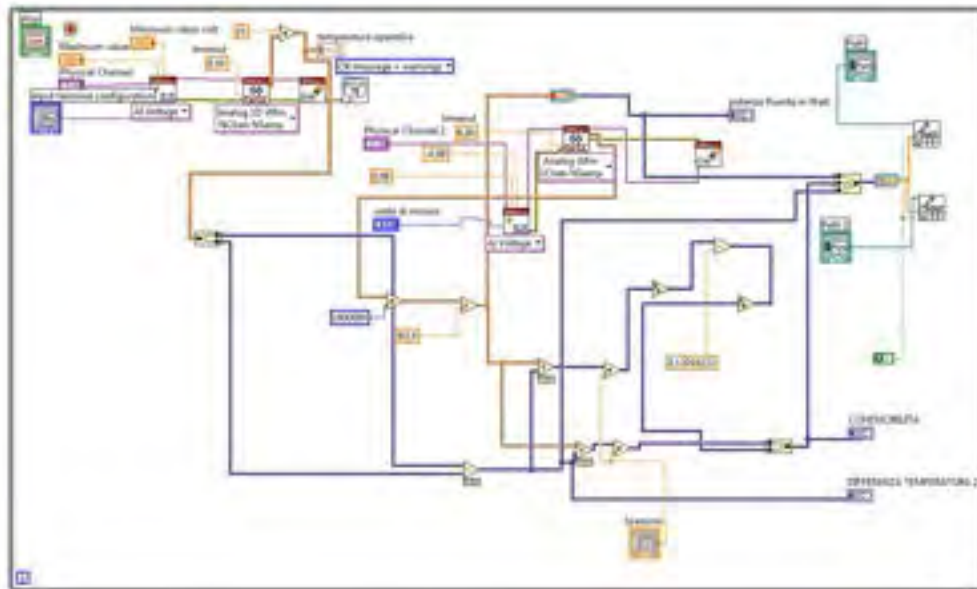


Figura 5.4. Schema funzionale del software di controllo dell'apparecchiatura.

Gli sviluppi futuri della ricerca prevedono, per la seconda annualità, la realizzazione completa del prototipo con l'assemblaggio dei componenti finora progettati e testati. Una volta realizzata questa fase, verranno eseguiti i test sui materiali da costruzione locali di cui alla PARTE A della presente relazione.

6 Riferimenti bibliografici

1. A. Sanna. "*Carbonia: progetto e costruzione dell'architettura e dello spazio pubblico nella città razionalista di fondazione*", Tesi di Dottorato in Ingegneria Edile XVII ciclo – Università di Cagliari.

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

DICAAR - Dipartimento di ingegneria civile, ambientale e architettura



“Diagnosi energetica di un edificio pubblico con caratteristiche tipiche del Sulcis e sviluppo di un prototipo per misurazioni da laboratorio di parametri relativi alle prestazioni termiche dei materiali tipici del Sulcis”

Progetto PAR 2016

A. RIQUALIFICAZIONE DI EDIFICI CON INTERVENTI DI EFFICIENTAMENTO ENERGETICO

a.1 Diagnosi Energetica di Edificio Pubblico

Giuseppe Desogus

Alessandra Galatioto

Roberto Ricciu

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale e Architettura

Università di Cagliari

Via Santa Croce 67

09124 Cagliari

+39 070 6755395

gdesogus@unica.it

COMMITTENTE: Sotacarbo SpA

DATA: Settembre 2017

Indice

SOMMARIO	3
1 INTRODUZIONE	4
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI	5
PARTE A: GLI EDIFICI.....	5
2.1 I CASI DI STUDIO: DESCRIZIONE SINTETICA	5
2.2 L'EDIFICIO SEDE DEL COMUNE DI CARBONIA: CALCOLO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA.	14
2.3 EDIFICIO "EX-UFFICI GIUDIZIARI": CALCOLO DELLA PRESTAZIONE ENERGETICA.	22
2.4 CONCLUSIONI	30
2.5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	30
PARTE B: PROTOTIPO PER MISURAZIONI IN LABORATORIO DI PARAMETRI RELATIVI ALLE PRESTAZIONI TERMICHE DEI MATERIALI TIPICI DEL SULCIS.....	31
2.6 INTRODUZIONE E NORMATIVA.....	31
2.7 RICHIAMI TEORICI SULLA TRASMISSIONE DEL CALORE	31
2.7.1 <i>Modello di trasmissione di calore monodimensionale in regime stazionario</i>	32
2.7.2 <i>Scambio di calore per conduzione</i>	33
2.7.3 <i>Il regime stazionario</i>	36
2.7.4 <i>Materiali non omogenei</i>	39
2.8 LA SCELTA DELLA CELLA DI PELTIER	40
2.9 DESCRIZIONE DELLA PROPOSTA PROGETTUALE	41

Sommario

La presente relazione è stata redatta nell'ambito della ricerca dal titolo *“Diagnosi energetica di un edificio pubblico con caratteristiche tipiche del Sulcis e sviluppo di un prototipo per misurazioni in laboratorio di parametri relativi alle prestazioni termiche dei materiali tipici del Sulcis”*, commissionata dalla Società Sotacarbo SPA al Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale e Architettura dell'Università di Cagliari. Tale indagine fa parte del Piano Annuale di Realizzazione (PAR) 2016 per la Ricerca di Sistema Elettrico e si inserisce nell'ambito della sub-attività *“Diagnosi Energetica di Edificio Pubblico”* di cui al citato Piano Annuale di Realizzazione 2016.

1 Introduzione

L'attività di ricerca svolta ha avuto anzitutto l'obiettivo di individuare due casi di studio significativi del patrimonio di edilizia pubblica dell'area. Per far ciò ci si è basati sull'indagine storica sull'evoluzione del costruito della città di Carbonia, di cui alla relazione finale dell'attività 2015-16.

Dall'indagine condotta, si è scelto di analizzare, come casi di studio, l'attuale sede del Comune in Piazza Roma, rappresentativa dell'edificato di fondazione della città e la ex sede degli uffici giudiziari, in via XVII Dicembre, che attualmente ospita gli uffici dei Servizi Sociali, dell'Anagrafe, Elettorale e Leva, dello Stato Civile, della Pubblica Istruzione, dello Sport e della Programmazione e Gestione. L'edificio si distingue dal precedente in quanto rappresentativo di un periodo di costruzione successivo a quello di fondazione.

Sui questi edifici sono stati condotti audit energetici volti ad individuare la morfologia e le caratteristiche costruttive e funzionali dell'involucro e degli impianti e, laddove possibile, a ricostruire lo storico dei consumi.

Una volta raccolti i dati in campo si è proceduto a calcolare la prestazione energetica con la metodologia indicata dai decreti del 26 Giugno 2015 e utilizzando la versione più aggiornata delle specifiche tecniche di riferimento (serie UNI TS 1330). Il calcolo è stato svolto con l'ausilio del software prodotto da Edilclima (EC700 e moduli integrativi). La finalità del calcolo è stata quella di individuare gli interventi migliorativi da mettere in essere nell'ottica di avvicinare gli edifici al modello NZEB. Nel caso della scuola, già oggetto di riqualificazione, sono stati valutati i risultati conseguiti. Trattandosi della valutazione di interventi migliorativi, la valutazione energetica è stata condotta nelle reali condizioni di utilizzo (tailored rating) come prescritto dalle normative vigenti. Il modello energetico è stato pertanto adattato al fine di avvicinarsi ai consumi reali desunti in fase di audit dalle bollette energetiche.

Oltre a queste attività è stato condotto uno studio per la realizzazione di un prototipo di apparecchiatura per la misura in laboratorio delle prestazioni termiche dei materiali costruttivi locali. Questa ultima attività è strettamente correlata alle risultanze della ricerca condotta nel 2015-16, che ha evidenziato la carenza di dati sperimentali sui materiali costruttivi dell'area geografica in oggetto.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

PARTE A: GLI EDIFICI

2.1 I casi di studio: descrizione sintetica

SEDE DEL COMUNE DI CARBONIA

L'attuale sede del Comune di Carbonia è uno dei principali edifici pubblici che si affacciano sulla Piazza Roma, il centro direzionale e sociale dell'impianto originario della città, secondo il progetto voluto dal Regime Fascista.

Nel piano di fondazione di Carbonia, essa rappresenta, infatti, il fulcro delle attività pubbliche, politiche e religiose. È concepita come un ampio spazio verde, al contempo centrale e marginale rispetto al complesso della città e comprende tutti gli edifici rappresentativi, ma anche giardini e parchi pubblici. La piazza è stata progettata come una terrazza panoramica affacciata sul paesaggio sottostante, le miniere ed il mare, ed è circondata su tre lati dagli edifici pubblici: Chiesa, Municipio, Casa del Fascio-Torre Littoria, Cine-Teatro, Dopolavoro e Regie Poste. Fra questi, il progetto del Municipio (arch. Pulitzer-Finali), sembra palesemente subalterno alla chiesa ed alla casa del fascio sia per le soluzioni estetiche che costruttive. Unica particolarità da segnalare: il finestrone della sala consiliare a doppia altezza, ancora presente.

L'attuale fabbricato, originariamente, ospitava il Municipio e l'Ufficio Postale, nonché, nel corpo congiungente i due, un Caffè. Negli anni '70 è stato oggetto di sopraelevazione, con l'aggiunta di un terzo piano che nei progetti originari non era previsto.



2.1 Immagine storica dell'Ufficio Postale e, nel retro, del Municipio. Si noti l'assenza del terzo piano.

L'Ufficio Postale nel tempo è stato spostato in Piazza Rinascita e il relativo edificio accorpato al Comune. Analogo destino ha subito il Caffè. Attualmente quindi l'edificio si presenta esteriormente frammentato in tre parti, comunque di caratteristiche costruttive e formali molto simili. Internamente tale suddivisione è meno evidente, in quanto il susseguirsi di vari interventi di ristrutturazione ha di fatto messo in comunicazione tutti i corpi. L'ultimo, in ordine cronologico, risale al 2004.



2.2 Immagine attuale dell'edificio ex-ufficio postale, ora accorpato al Comune.



2.3 Immagine storica della finestra a doppia altezza della Sala Consiliare del Municipio.



2.4 Vista dell'edificio dalla Via Roma. In primo piano le finestre a doppia altezza della sala consiliare nel corpo d'angolo fra la Piazza Roma e Via Manno.

Dai documenti storici è stato possibile desumere le caratteristiche costruttive del complesso. Rispetto agli altri edifici della piazza, il cantiere è stato affidato all'epoca ad un'impresa differente, che si è occupata anche dello spaccio centrale e della caserma dei Carabinieri.

Le modalità costruttive sono però identiche e riassumibili nell'uso di murature portanti in trachite e solai laterocementizi, infissi prevalentemente in legno (sostituiti durante gli interventi di ristrutturazione) e coperture in coppi. Il cemento armato è utilizzato per gli architravi delle aperture maggiori o in serie, come i tre ingressi alla sala del pubblico dal sottoportico o la loggia sul prospetto laterale, per le rampe delle scale, ma serve anche per riconnettere gli archi in mattoni pieni del porticato. La muratura in mattoni pieni è destinata alle parti più sollecitate dell'ossatura muraria, archi e piattabande, mentre i forati sono utilizzati per le partizioni interne. Il canale di gronda originario (ora demolito per via della sopraelevazione) era ricavato all'interno del cornicione in un unico getto di calcestruzzo, rivestito internamente da asfalto colato, e fungeva nel contempo da cordolo sommitale contrastando la spinta dei puntoni del tetto. I documenti d'archivio riportano l'indicazione di strutture di copertura lignee, e non con capriate reticolari in cemento armato come negli altri edifici pubblici; sui muri portanti, di prospetto e di spina, si innestavano le capriate e puntoni d'angolo per sagomare i tetti a padiglione. L'originaria orditura lignea è stata necessariamente smantellata durante i lavori di sopraelevazione.

I caratteri costruttivi del Municipio, così come quelli delle altre architetture civili di Carbonia, costruite nello stesso periodo, risentono fortemente delle limitazioni tecniche imposte dall'autarchia. L'uso del ferro come materiale costruttivo a sé stante è nullo, così come fortemente ridotto è il ricorso al calcestruzzo armato. La tecnica costruttiva più utilizzata è quella della muratura portante e il materiale ricorrente, questa volta per ragioni economiche è la trachite locale. Le fonti storiche riportano che veniva estratta da numerose cave poste nelle immediate vicinanze della città, sicuramente sulle falde del monte Rosmarino e in prossimità della zona mineraria, a distanza tale da non rendere troppo esoso il trasporto in cantiere, che avveniva a mezzo di vagoncini o su autocarri; l'estrazione era gestita direttamente dalla Società Mineraria. La pietra veniva cavata con l'esplosivo e semilavorata poi a mano a seconda del diverso utilizzo. Le cave e le vene migliori erano riservate alla realizzazione della muratura faccia a vista, le parti con caratteristiche cromatiche più scadenti

costituivano invece le parti interne o intonacate, pur osservandosi una discreta costanza nei requisiti generali del materiale lapideo utilizzato.

Sempre le fonti storiche riportano che tutte le superfici murarie erano finite con intonaco di malta bastarda (calce e cemento), ricoperto in quelle esterne da intonaco "tipo Terranova" da darsi "a spruzzo" con apposito apparecchio. I documenti di cantiere, pur non specificando la provenienza dell'intonaco, ne precisavano esattamente la gradazione, facendo riferimento alla colorazione in pasta con pigmenti bianchi e rossi per gli edifici del centro urbano.

Per quanto attiene agli orizzontamenti, spiccava l'utilizzo di elementi in laterocemento del tipo "SAP" o "REX". Si tratta di una delle pochissime concessioni dell'autarchia all'utilizzo di materiali all'epoca all'avanguardia tecnica, sebbene anche il loro impiego sia sostanzialmente finalizzato alla riduzione dell'uso del ferro. Entrambi i brevetti appartengono al novero di quelli ufficialmente consigliati dal Ministero dei Lavori Pubblici, nel 1936, per l'impiego in opere a sovvenzione statale, in quanto ritenuti soluzioni ottimali per coniugare resistenza della struttura e risparmio di ferro. Erano caratterizzati dal fatto di essere composti da travi prefabbricate in laterizio armato, realizzate a pie d'opera con una piccola freccia verso l'alto per correggere la "deformata" in esercizio. Esse erano composte da blocchi laterizi provvisti di apposite scanalature nelle quali venivano inseriti i ferri d'armatura, sottili ($\phi = 5-8$ mm) ma molto vicini (con massimo 7 cm di interasse), poi sigillati con malta cementizia. Le travi così composte, leggere e resistenti, venivano collocate nella loro sede senza necessità di casseratura, ma solo di un rompitratta, e si collegavano l'una all'altra con un getto di completamento colato negli interstizi, previa aggiunta di ulteriori ferri longitudinali. La prefabbricazione dei travetti a piè d'opera consentiva il risparmio del legno per le casserature, altro materiale di scarsa disponibilità all'epoca. A rigore, secondo il brevetto, questo tipo di solaio non richiederebbe la soletta in calcestruzzo armato, facendosi affidamento, per la compressione del lembo superiore, sulla sola resistenza del laterizio, tanto che se ne infittivano le nervature e si riduceva la dimensione delle maglie dei fori. In realtà la questione è abbastanza controversa ed era oggetto, proprio in quegli anni, di un acceso dibattito tra autorevoli studiosi. Nel cantiere di Carbonia la scelta è ricaduta nella prescrizione di almeno uno spessore minimo, oscillante tra 3 e 5 cm. Il Capitolato Speciale d'Appalto per la Scuola Elementare, esteso con poche varianti a tutti gli edifici pubblici della piazza, precisa che "saranno ammessi solo tipi comportanti una soletta di calcestruzzo di almeno 5 cm di spessore oltre l'altezza dei forati", mentre in altri documenti si è trovato il limite di 3 cm. Date le luci dell'edificio del Municipio è si è ipotizzato che lo spessore del blocco in laterizio sia di 16 cm con una soletta soprastante di 4 cm.



2.5 Disegno esecutivo dell'epoca del solaio SAP.

Si riportano nel seguito piante e sezione dell'edificio allo stato attuale.



2.6 Pianta arredata del pianoterra.



2.7 Pianta arredata del primo piano.



2.8 Pianta arredata del secondo piano.



2.9 Sezione dell'edificio.

EDIFICIO "EX UFFICI GIUDIZIARI".

A differenza del Municipio, le fonti bibliografiche relative al secondo edificio sono estremamente scarse. Lo studio si è potuto basare esclusivamente su alcune tavole progettuali e sull'analogia con edifici simili a cui quello in oggetto pare ispirarsi.

Originariamente esso era la sede del tribunale di Carbonia, ora accorpato a quello di Cagliari. È stato quindi destinato ad ospitare uffici del Comune, in particolare quelli dei Servizi Sociali, dell'Anagrafe, Elettorale e Leva, dello Stato Civile, della Pubblica Istruzione, dello Sport e della Programmazione e Gestione.

L'edificio sorge ai limiti orientali dell'edificato della città, in Via XVIII Dicembre.



2.10 Vista dell'edificio dalla Via XVIII Dicembre

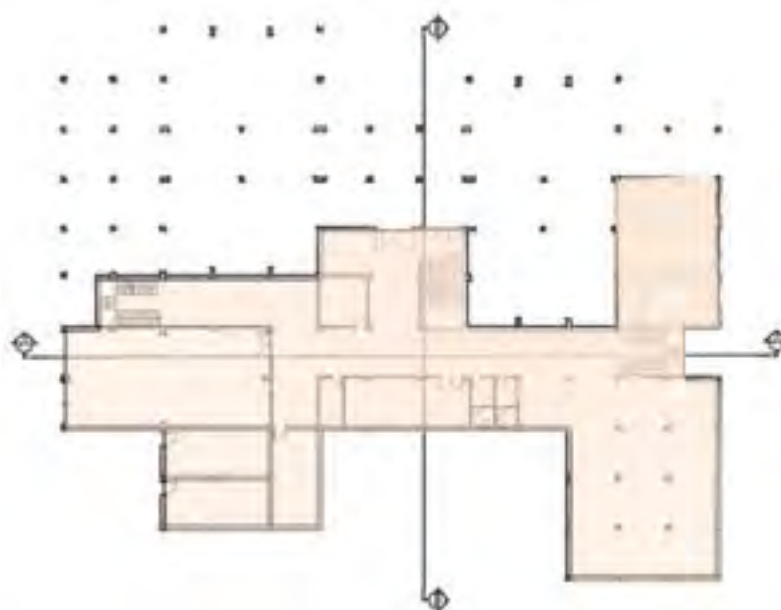


2.11 Viste di dettaglio dalla Via XVII Dicembre e dal cortile retrostante.

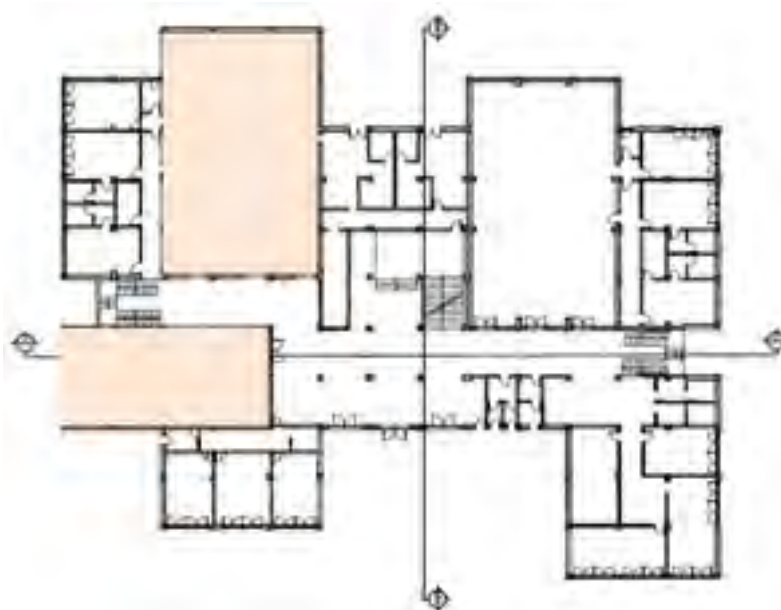
Le scelte formali e costruttive del fabbricato consentono di ascriverlo ad una serie di edifici per uffici pubblici che a partire dagli anni '70 hanno riproposto con un certo manierismo scelte morfologiche e costruttive riscontrabili nell'opera dell'ing. Enrico Mandolesi, attivo a Cagliari dal 1995 al 1970. In particolare il cornicione svasato, l'uso di lucernai a nastro, la finitura esterna in pannelli di calcestruzzo, la presenza di piani pilotis ricordano, seppur da lontano, edifici come il padiglione di Ingegneria Mineraria dell'Università di Cagliari, appunto progettato da Mandolesi. Sulla base di queste analogie sono state individuate le soluzioni

costruttive. L'intelaiatura portante è evidentemente in conglomerato cementizio armato. La muratura è stata ipotizzata costituita da un doppio strato di mattoni forati intercalati da un'intercapedine vuota e rifiniti esternamente con un pannello di calcestruzzo prefabbricato. I solai sono per certo in laterocemento, con uno spessore, stante la luce che coprono di 16+4 cm. Gli infissi sono metallici con vetro camera, il che fa presupporre un intervento di sostituzione successivo alla realizzazione. La copertura è piana rifinita con uno strato di impermeabilizzazione bituminoso. Le tramezzature interne sono realizzate con laterizi forati. Non è stato possibile, data l'assenza dei capitoli speciali di appalto, verificare le soluzioni costruttive indicate.

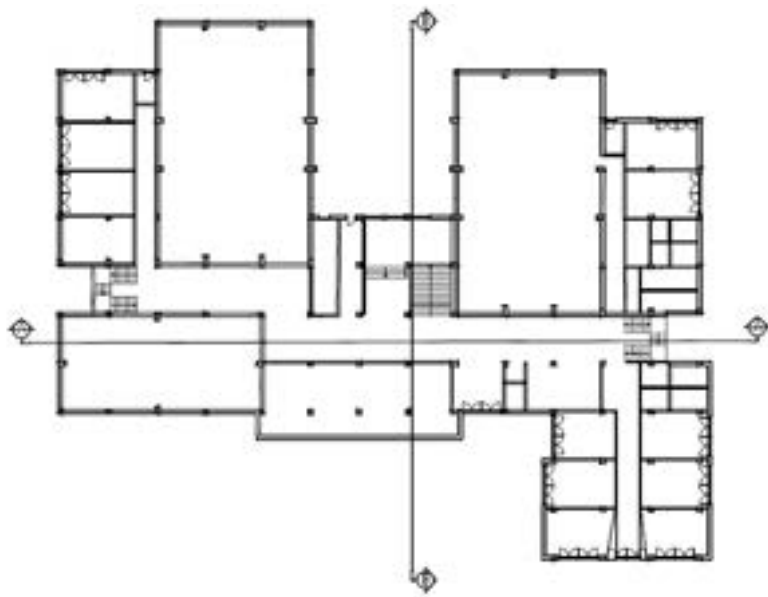
Si riportano di seguito le piante del fabbricato.



2.12 Pianta del piano pilotis (in evidenza le zone non utilizzate e non riscaldate).



2.13 Pianta del piano primo (in evidenza le zone non utilizzate e non riscaldate).



2.14 Pianta del piano primo.

2.2 L'edificio sede del Comune di Carbonia: calcolo della prestazione energetica.

Si riporta nel seguito la relazione di calcolo della prestazione energetica dell'edificio in oggetto.

INFORMAZIONI GENERALI

Comune di Carbonia Provincia CI

Sito

Municipio di carbonia - Carbonia

Classificazione dell'edificio (o del complesso di edifici) in base alla categoria di cui all'articolo 3 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412; per edifici costituiti da parti appartenenti a categorie differenti, specificare le diverse categorie):

E.2 Edifici adibiti a uffici e assimilabili.

L'edificio (o il complesso di edifici) rientra tra quelli di proprietà pubblica o adibiti ad uso pubblico ai fini dell'articolo 5, comma 15, del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412 (utilizzo delle fonti rinnovabili di energia) e dell'allegato I, comma 14 del decreto legislativo.

PARAMETRI CLIMATICI DELLA LOCALITÀ

Gradi giorno (della zona d'insediamento, determinati in base al DPR 412/93) 922 GG

Temperatura esterna minima di progetto (secondo UNI 5364 e successivi aggiornamenti) 2.4 °C

Temperatura massima estiva di progetto dell'aria esterna secondo norma 32.1 °C

DATI TECNICI E COSTRUTTIVI DELL'EDIFICIO (O DEL COMPLESSO DI EDIFICI) E DELLE RELATIVE STRUTTURE

4. DATI TECNICI E COSTRUTTIVI DELL'EDIFICIO (O DEL COMPLESSO DI EDIFICI) E DELLE RELATIVE STRUTTURE

a) Condizionamento invernale

Descrizione	V [m³]	S [m²]	S/V [1/m]	Su [m²]	θ_{int} [°C]	ϕ_{int} [%]
piano terra zona uffici	2296.00	768.93	0.33	448.40	20.0	65.0
primo piano	2153.65	465.09	0.22	387.30	20.0	65.0
secondo piano	2290.00	1010.28	0.44	627.14	20.0	65.0
BLOCCO DI TESTA	1053.68	458.08	0.43	67.27	20.0	65.0
	7793.33	2702.38	0.35	1530.11	20.0	65.0

b) Condizionamento estivo

Descrizione	V [m ³]	S [m ²]	S/V [1/m]	Su [m ²]	θ _{int} [°C]	φ _{int} [%]
<i>piano terra zona uffici</i>	2296.00	768.93	0.33	448.40	26.0	50.1
<i>primo piano</i>	2153.65	465.09	0.22	387.30	26.0	50.1
<i>secondo piano</i>	2290.00	1010.28	0.44	627.14	26.0	50.1
BLOCCO DI TESTA	1053.68	458.08	0.43	67.27	26.0	50.1
	7793.33	2702.38	0.35	1530.11	26.0	50.1

V	Volume delle parti di edificio abitabili o agibili al lordo delle strutture che li delimitano
S	Superficie esterna che delimita il volume
S/V	Rapporto di forma dell'edificio
Su	Superficie utile dell'edificio
θ _{int}	Valore di progetto della temperatura interna
φ _{int}	Valore di progetto dell'umidità relativa interna

DATI RELATIVI AGLI IMPIANTI

5.1 Impianti termici

Impianto tecnologico destinato ai servizi di climatizzazione invernale e/o estiva e/o produzione di acqua calda sanitaria, indipendentemente dal vettore energetico utilizzato.

Specifiche dei generatori di energia

Zona	Municipio Carbonia	Quantità	1
Servizio	Riscaldamento	Fluido termovettore	Acqua
Tipo di generatore	Pompa di calore	Combustibile	Energia elettrica
Marca – modello	AERMEC NRL 650 HA		
Tipo sorgente fredda	Aria esterna		
Potenza termica utile in riscaldamento	152.8	kW	
Zona	Municipio Carbonia	Quantità	1
Servizio	Raffrescamento	Fluido termovettore	Aria
Tipo di generatore	Pompa di calore	Combustibile	Energia elettrica
Marca – modello	AERMEC NRL 650 HA		
Tipo sorgente fredda	Acqua		
Potenza termica utile in raffrescamento	121.5	kW	
Zona	piano terra	Quantità	1
Servizio	Acqua calda sanitaria	Fluido termovettore	
Tipo di generatore	Bollitore elettrico ad accumulo	Combustibile	Energia elettrica
Marca – modello			

Potenza utile nominale Pn 1.50 kW

Zona primo piano Quantità 1
 Servizio Acqua calda sanitaria Fluido termovettore _____
 Tipo di generatore Bollitore elettrico ad accumulo Combustibile Energia elettrica
 Marca – modello _____
 Potenza utile nominale Pn 1.50 kW

Zona secondo piano Quantità 1
 Servizio Acqua calda sanitaria Fluido termovettore _____
 Tipo di generatore Bollitore elettrico ad accumulo Combustibile Energia elettrica
 Marca – modello _____
 Potenza utile nominale Pn 1.50 kW

Per gli impianti termici con o senza produzione di acqua calda sanitaria, che utilizzano, in tutto o in parte, macchine diverse da quelle sopra descritte, le prestazioni di dette macchine sono fornite utilizzando le caratteristiche fisiche della specifica apparecchiatura, e applicando, ove esistenti, le vigenti norme tecniche.

Specifiche relative ai sistemi di regolazione dell'impianto termico

Tipo di conduzione prevista ☒ continua con attenuazione notturna ☐ intermittente

PRINCIPALI RISULTATI DEI CALCOLI

Edificio: **Municipio Carbonia**

a) Involucro edilizio e ricambi d'aria

Caratteristiche termiche dei componenti opachi dell'involucro edilizio

Cod.	Descrizione	Trasmittanza U [W/m²K]	Trasmittanza media [W/m²K]
M1	muro esterno trachite	2.343	2.343
M2	muro trachite_LNC	1.993	1.993
P2	pavimento sopra portico	1.049	1.049
S1	solaio intermedio	1.283	1.283
S2	tetto con Camera d'aria	0.711	0.711

Caratteristiche di massa superficiale Ms e trasmittanza periodica YIE dei componenti opachi

Cod.	Descrizione	Ms [kg/m²]	YIE [W/m²K]
M1	muro esterno trachite	851	0.411

P2	pavimento sopra portico	321	0.301
S2	tetto con Camera d'aria	372	0.140

Caratteristiche igrometriche dei componenti dell'involucro

Cod.	Descrizione	Condensa superficiale	Condensa interstiziale
M1	muro esterno trachite	Negativa	Positiva
P2	pavimento sopra portico	Positiva	Positiva
S2	tetto con Camera d'aria	Positiva	Positiva

Caratteristiche termiche dei componenti finestrati

Cod.	Descrizione	Trasmittanza infisso U_w [W/m ² K]	Trasmittanza vetro U_g [W/m ² K]
W1	139*139	2.037	1.742
W10	134*150	2.630	1.742
W11	180*60	2.313	1.742
W3	219*60	2.360	1.742
W5	170*200	2.712	1.742
W6	200*180	1.639	1.742
W7	1,88*7,00	2.725	1.730
W8	280*330	2.344	1.742
W9	67*120	2.112	1.742

b) Valore dei rendimenti medi stagionali di progetto

COP	3.34
EER	2.83
Rendimento di regolazione	98,0 %
Rendimento di distribuzione	93,0 %
Rendimento di emissione	99,0 %

c) Indici di prestazione energetica per la climatizzazione invernale ed estiva, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e l'illuminazione

Determinazione dei seguenti indici di prestazione energetica, espressi in kWh/m² anno, così come definite al paragrafo 3.3 dell'Allegato 1 del decreto di cui all'articolo 4, comma 1 del decreto legislativo 192/2005, rendimenti e parametri che ne caratterizzano l'efficienza energetica:

Metodo di calcolo utilizzato (indicazione obbligatoria)

UNI/TS 11300 e norme correlate

Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente (UNI EN ISO 13789)

piano terra zona uffici

Superficie disperdente S

731.74 m²

Valore di progetto H'

0.71 W/m²K

primo piano

Superficie disperdente S	390.73 m ²
Valore di progetto H' _T	1.77 W/m ² K

secondo piano

Superficie disperdente S	946.38 m ²
Valore di progetto H' _T	1.21 W/m ² K

BLOCCO DI TESTA

Superficie disperdente S	403.69 m ²
Valore di progetto H' _T	1.85 W/m ² K

Indice di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale dell'edificio

Valore di progetto EP _{H,nd}	58.39 kWh/m ²
---------------------------------------	---------------------------------

Indice di prestazione termica utile per la climatizzazione estiva dell'edificio

Valore di progetto EP _{C,nd}	24.24 kWh/m ²
---------------------------------------	---------------------------------

Indice della prestazione energetica globale dell'edificio (Energia primaria)

Prestazione energetica per riscaldamento EP _H	28.11 kWh/m ²
Prestazione energetica per acqua sanitaria EP _W	2.20 kWh/m ²
Prestazione energetica per raffrescamento EP _C	22.81 kWh/m ²
Prestazione energetica per illuminazione EP _L	10.78 kWh/m ²
Prestazione energetica per servizi EP _T	2.10 kWh/m ²
Valore di progetto EP _{gl,tot}	65.99 kWh/m ²

Indice della prestazione energetica globale dell'edificio (Energia primaria non rinnovabile)

Valore di progetto EP _{gl,nr}	53.17 kWh/m ²
--	---------------------------------

Consuntivo energia

Energia consegnata o fornita (E _{del})	14466 kWh
Energia rinnovabile (E _{gl,ren})	12.82 kWh/m ²
Fabbisogno annuo globale di energia primaria (E _{gl,tot})	65.99 kWh/m ²

Alla luce di quanto riportato, sono stati elaborati scenari di miglioramento della prestazione energetica. Fra questi quelli che risultano maggiormente significativi sono riportati nel seguito.

N.	Descrizione intervento	Costo intervento [€]
1	Isolamento estradosso portici con pannelli in fibra di legno (50kg/m ³)	1359.19
2	Sostituzione serramenti	39877.13
3	Isolamento copertura	10417.65
4	Impianto Fotovoltaico (50kWp)	45000
TOTALE		96653.97

Intervento N. 1: Prestazioni energetiche stagionali:

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Prestazione energetica per il riscaldamento	EPh,nren	kWh/m ² anno	22.65	22.57	0.08	0.4
Prestazione energetica per produzione acs	EPw,nren	kWh/m ² anno	1.77	1.77	0	0
Prestazione energetica per il raffrescamento	EPc,nren	kWh/m ² anno	18.38	18.42	-0.04	-0.2
Prestazione energetica per la ventilazione	EPv,nren	kWh/m ² anno	0	0	0	0
Prestazione energetica per l'illuminazione	EPl,nren	kWh/m ² anno	8.68	8.68	0	0
Prestazione energetica per il trasporto	EPl,nren	kWh/m ² anno	1.69	1.69	0	0
Prestazione energetica globale	Epgl,nren	kWh/m ² anno	53.17	53.13	0.04	0.1

Intervento N. 1: Analisi economica:

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Spesa annua per riscaldamento	Sh	€/anno	4443.12	4427.06	16.06	0.4
Spesa annua per acqua calda sanitaria	Sw	€/anno	348.06	348.06	0	0
Spesa annua per raffrescamento	Sc	€/anno	3604.92	3613.12	-8.21	-0.2
Spesa annua per ventilazione	Sv	€/anno	0	0	0	0
Spesa annua per illuminazione	Sl	€/anno	1703.38	1703.38	0	0
Spesa annua per trasporto	St	€/anno	331.27	331.27	0	0
Spesa annua globale	Sgl	€/anno	10430.73	10422.88	7.85	0.1

Tempo di ritorno: non significativo

Intervento N. 2: Prestazioni energetiche stagionali

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Prestazione energetica per il riscaldamento	EPh,nren	kWh/m ² anno	22.65	22.65	-0.01	0
Prestazione energetica per produzione acs	EPw,nren	kWh/m ² anno	1.77	1.77	0	0
Prestazione energetica per il raffrescamento	EPc,nren	kWh/m ² anno	18.38	18.28	0.1	0.5
Prestazione energetica per la ventilazione	EPv,nren	kWh/m ² anno	0	0	0	0
Prestazione energetica per l'illuminazione	EPl,nren	kWh/m ² anno	8.68	8.68	0	0
Prestazione energetica per il trasporto	EPl,nren	kWh/m ² anno	1.69	1.69	0	0
Prestazione energetica globale	Epgl,nren	kWh/m ² anno	53.17	53.08	0.09	0.2

globale						
---------	--	--	--	--	--	--

Intervento N. 2: analisi economica

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Spesa annua per riscaldamento	Sh	€/anno	4443.12	4444.11	-0.99	0
Spesa annua per acqua calda sanitaria	Sw	€/anno	348.06	348.06	0	0
Spesa annua per raffrescamento	Sc	€/anno	3604.92	3585.67	19.25	0.5
Spesa annua per ventilazione	Sv	€/anno	0	0	0	0
Spesa annua per illuminazione	Sl	€/anno	1703.38	1703.38	0	0
Spesa annua per trasporto	St	€/anno	331.27	331.27	0	0
Spesa annua globale	Sgl	€/anno	10430.73	10412.5	18.25	0.2

Tempo di ritorno: non significativo

Intervento N. 3: Prestazioni energetiche stagionali

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Prestazione energetica per il riscaldamento	EPh,nren	kWh/m ² anno	22.65	22.32	0.33	1.5
Prestazione energetica per produzione acs	EPw,nren	kWh/m ² anno	1.77	1.77	0	0
Prestazione energetica per il raffrescamento	EPc,nren	kWh/m ² anno	18.38	17.87	0.5	2.7
Prestazione energetica per la ventilazione	EPv,nren	kWh/m ² anno	0	0	0	0
Prestazione energetica per l'illuminazione	EPl,nren	kWh/m ² anno	8.68	8.68	0	0
Prestazione energetica per il trasporto	EPT,nren	kWh/m ² anno	1.69	1.69	0	0
Prestazione energetica globale	EPgl,nren	kWh/m ² anno	53.17	52.34	0.84	1.6

Intervento N. 3: Analisi economica

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Spesa annua per riscaldamento	Sh	€/anno	4443.12	4377.89	65.23	1.5
Spesa annua per acqua calda sanitaria	Sw	€/anno	348.06	348.06	0	0
Spesa annua per raffrescamento	Sc	€/anno	3604.92	3506.12	98.8	2.7
Spesa annua per ventilazione	Sv	€/anno	0	0	0	0
Spesa annua per illuminazione	Sl	€/anno	1703.38	1703.38	0	0
Spesa annua per trasporto	St	€/anno	331.27	331.27	0	0
Spesa annua globale	Sgl	€/anno	10430.73	10266.7	164.03	1.6

Tempo di ritorno: non significativo

Intervento N. 4: Prestazioni energetiche stagionali

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato fatto	di	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Prestazione energetica per il riscaldamento	EP _{h,nren}	kWh/m ² anno	22.65		6.09	16.56	73.1
Prestazione energetica per produzione acs	EP _{w,nren}	kWh/m ² anno	1.77		0.17	1.6	90.1
Prestazione energetica per il raffrescamento	EP _{c,nren}	kWh/m ² anno	18.38		0.15	18.23	99.2
Prestazione energetica per la ventilazione	EP _{v,nren}	kWh/m ² anno	0		0	0	0
Prestazione energetica per l'illuminazione	EP _{l,nren}	kWh/m ² anno	8.68		0.89	7.79	89.7
Prestazione energetica per il trasporto	EP _{t,nren}	kWh/m ² anno	1.69		0.16	1.53	90.8
Prestazione energetica globale	EP _{gl,nren}	kWh/m ² anno	53.17		7.46	45.71	86

Intervento N. 4: Prestazioni energetiche stagionali

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato fatto	di	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Spesa annua per riscaldamento	Sh	€/anno	4443.12		1194.33	3248.79	73.1
Spesa annua per acqua calda sanitaria	Sw	€/anno	348.06		34.29	313.77	90.1
Spesa annua per raffrescamento	Sc	€/anno	3604.92		29.06	3575.85	99.2
Spesa annua per ventilazione	Sv	€/anno	0		0	0	0
Spesa annua per illuminazione	Sl	€/anno	1703.38		175.49	1527.89	89.7
Spesa annua per trasporto	St	€/anno	331.27		30.62	300.64	90.8
Spesa annua globale	Sgl	€/anno	10430.73		1463.79	8966.94	86

Tempo di ritorno: 5 anni

2.3 Edificio "Ex-uffici giudiziari": calcolo della prestazione energetica.

Si riporta nel seguito la relazione di calcolo della prestazione energetica dell'edificio in oggetto.

INFORMAZIONI GENERALI

Comune di Carbonia Provincia CI

[X] L'edificio (o il complesso di edifici) rientra tra quelli di proprietà pubblica o adibiti ad uso pubblico ai fini dell'articolo 5, comma 15, del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412 (utilizzo delle fonti rinnovabili di energia) e dell'allegato I, comma 14 del decreto legislativo.

Classificazione dell'edificio (o del complesso di edifici) in base alla categoria di cui all'articolo 3 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412; per edifici costituiti da parti appartenenti a categorie differenti, specificare le diverse categorie):

E.2 Edifici adibiti a uffici e assimilabili.

Committente (i) Sotacarbo
Edificio

3. PARAMETRI CLIMATICI DELLA LOCALITÀ

Gradi giorno (della zona d'insediamento, determinati in base al DPR 412/93) 922 GG

Temperatura esterna minima di progetto (secondo UNI 5364 e successivi aggiornamenti) 2.4 °C

Temperatura massima estiva di progetto dell'aria esterna secondo norma 32.1 °C

4. DATI TECNICI E COSTRUTTIVI DELL'EDIFICIO (O DEL COMPLESSO DI EDIFICI) E DELLE RELATIVE STRUTTURE

a) Condizionamento invernale

Descrizione	V [m ³]	S [m ²]	S/V [1/m]	Su [m ²]	θ _{int} [°C]	Φ _{int} [%]
PT	6214.55	1761.24	0.28	1245.37	20.0	65.0
P1	5965.00	4103.46	0.69	1050.14	20.0	65.0
"Ex-uffici giudiziari"	12179.55	5864.70	0.48	2295.51	20.0	65.0

b) Condizionamento estivo

Descrizione	V [m ³]	S [m ²]	S/V [1/m]	Su [m ²]	θ _{int} [°C]	Φ _{int} [%]
PT	6214.55	1761.24	0.28	1245.37	26.0	51.3
P1	5965.00	4103.46	0.69	1050.14	26.0	51.3

"Ex-uffici giudiziari"	12179.5	5864.70	0.48	2295.51	26.0	51.3
------------------------	---------	---------	------	---------	------	------

V	Volume delle parti di edificio abitabili o agibili al lordo delle strutture che li delimitano
S	Superficie esterna che delimita il volume
S/V	Rapporto di forma dell'edificio
Su	Superficie utile dell'edificio
θ_{int}	Valore di progetto della temperatura interna
ϕ_{int}	Valore di progetto dell'umidità relativa interna

DATI RELATIVI AGLI IMPIANTI

5.1 Impianti termici

Impianto tecnologico destinato ai servizi di climatizzazione invernale e/o estiva e/o produzione di acqua calda sanitaria, indipendentemente dal vettore energetico utilizzato.

b) Specifiche dei generatori di energia

Zona	"Ex-uffici giudiziari", Carbonia	Quantità	1
Servizio	Riscaldamento	Fluido termovettore	Acqua
Tipo di generatore	Caldiaia tradizionale	Combustibile	Gasolio
Potenza utile nominale Pn	102.00 kW		
Zona	"Ex-uffici giudiziari", Carbonia	Quantità	1
Servizio	Raffrescamento	Fluido termovettore	Aria
Tipo di generatore	Pompa di calore	Combustibile	Energia elettrica
Marca – modello	climaveneta HRN 0202		
Tipo sorgente fredda	Acqua		
Potenza termica utile in raffrescamento	48.1 kW		
Indice di efficienza energetica (EER)	3.50		
Temperature di riferimento:			
Sorgente fredda	7.0 °C	Sorgente calda	32.1 °C
Zona	PT	Quantità	1
Servizio	Acqua calda sanitaria	Fluido termovettore	
Tipo di generatore	Bollitore elettrico ad accumulo	Combustibile	Energia elettrica
Marca – modello			
Potenza utile nominale Pn	1.50 kW		
Zona	P1	Quantità	1
Servizio	Acqua calda sanitaria	Fluido termovettore	
Tipo di generatore	Bollitore elettrico ad accumulo	Combustibile	Energia elettrica
Marca – modello			
Potenza utile nominale Pn	1.50 kW		

Per gli impianti termici con o senza produzione di acqua calda sanitaria, che utilizzano, in tutto o in parte, macchine diverse da quelle sopra descritte, le prestazioni di dette macchine sono fornite utilizzando le caratteristiche fisiche della specifica apparecchiatura, e applicando, ove esistenti, le vigenti norme tecniche.

PRINCIPALI RISULTATI DEI CALCOLI

Edificio: *Edificio "Ex-uffici giudiziari"*

a) *Involucro edilizio e ricambi d'aria*

Caratteristiche termiche dei componenti opachi dell'involucro edilizio

Cod.	Descrizione	Trasmittanza U [W/m ² K]	Trasmittanza media [W/m ² K]
M1	<i>muro a cassetta</i>	0.857	0.857
M2	<i>muro a cassetta_LNC</i>	0.862	0.862
P2	<i>pavimento sopra portico</i>	1.108	1.108
S1	<i>solaio intermedio</i>	1.274	1.274
S2	<i>tetto</i>	1.269	1.269

Caratteristiche igrometriche dei componenti opachi dell'involucro edilizio

Cod.	Descrizione	Condensa superficiale	Condensa interstiziale
M1	<i>muro a cassetta</i>	<i>Positiva</i>	<i>Positiva</i>
M2	<i>muro a cassetta_LNC</i>	<i>Negativa</i>	<i>Negativa</i>
P2	<i>pavimento sopra portico</i>	<i>Positiva</i>	<i>Positiva</i>
S1	<i>solaio intermedio</i>	<i>Negativa</i>	<i>Negativa</i>
S2	<i>tetto</i>	<i>Positiva</i>	<i>Positiva</i>

Caratteristiche di massa superficiale Ms e trasmittanza periodica YIE dei componenti opachi

Cod.	Descrizione	Ms [kg/m ²]	YIE [W/m ² K]
M1	<i>muro a cassetta</i>	168	0.394
P2	<i>pavimento sopra portico</i>	436	0.241
S2	<i>tetto</i>	307	0.487

Caratteristiche termiche dei componenti finestrati

Cod.	Descrizione	Trasmittanza infisso U _w [W/m ² K]	Trasmittanza vetro U _g [W/m ² K]
W1	0.8*1.5	2.980	1.742
W2	3.2*1.5	2.351	1.742
W3	2.7*2.6	2.179	1.742
W4	0.5*1.5	4.092	1.742
W5	0.9*2.1	4.504	1.742
W6	1.3*1.75	4.336	1.742
W7	2.8*2.6	2.455	1.742

b) *Indici di prestazione energetica per la climatizzazione invernale ed estiva, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e l'illuminazione*

Determinazione dei seguenti indici di prestazione energetica, espressi in kWh/m² anno, così come definite al paragrafo 3.3 dell'Allegato 1 del decreto di cui all'articolo 4, comma 1 del decreto legislativo 192/2005, rendimenti e parametri che ne caratterizzano l'efficienza energetica:

Metodo di calcolo utilizzato (indicazione obbligatoria)

UNI/TS 11300 e norme correlate

Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente (UNI EN ISO 13789)

PT

Superficie disperdente S	1566.78	m ²
Valore di progetto H' _T	0.62	W/m ² K
Valore limite (Tabella 10, appendice A) H' _{T,L}	0.80	W/m ² K
Verifica (positiva / negativa)	Positiva	

P1

Superficie disperdente S	3924.06	m ²
Valore di progetto H' _T	0.36	W/m ² K
Valore limite (Tabella 10, appendice A) H' _{T,L}	0.60	W/m ² K
Verifica (positiva / negativa)	Positiva	

Indice di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale dell'edificio

Valore di progetto EP _{H,nd}	29.73	kWh/m ²
Valore limite EP _{H,nd,limite}	7.22	kWh/m ²
Verifica (positiva / negativa)	Negativa	

Indice di prestazione termica utile per la climatizzazione estiva dell'edificio

Valore di progetto EP _{C,nd}	24.61	kWh/m ²
Valore limite EP _{C,nd,limite}	41.32	kWh/m ²
Verifica (positiva / negativa)	Positiva	

Indice della prestazione energetica globale dell'edificio (Energia primaria)

Prestazione energetica per riscaldamento EP _H	36.46	kWh/m ²
Prestazione energetica per acqua sanitaria EP _w	0.26	kWh/m ²
Prestazione energetica per raffrescamento EP _C	12.89	kWh/m ²
Prestazione energetica per ventilazione EP _v	0.00	kWh/m ²
Prestazione energetica per illuminazione EP _L	21.06	kWh/m ²
Prestazione energetica per servizi EP _T	0.00	kWh/m ²
Valore di progetto EP _{gl,tot}	70.67	kWh/m ²
Valore limite EP _{gl,tot,limite}	58.71	kWh/m ²
Verifica (positiva / negativa)	Negativa	

Indice della prestazione energetica globale dell'edificio (Energia primaria non rinnovabile)

Valore di progetto EP _{gl,nr}	63.94	kWh/m ²
--	--------------	--------------------

b.1) Efficienze medie stagionali degli impianti

Descrizione	Servizi	η_g [%]	$\eta_{g,amm}$ [%]	Verifica
Centralizzato	Riscaldamento	81.5	69.7	Positiva
PT	Acqua calda sanitaria	28.7	28.9	Negativa
P1	Acqua calda sanitaria	28.7	28.9	Negativa
Centralizzato	Raffrescamento	190.9	152.8	Positiva

Consuntivo energia

Energia consegnata o fornita (E_{del})	87065	kWh
Energia rinnovabile ($E_{gl,ren}$)	6.73	kWh/m ²
Energia esportata (E_{exp})	0	kWh
Fabbisogno annuo globale di energia primaria ($E_{gl,tot}$)	70.67	kWh/m ²
Energia rinnovabile in situ (elettrica)	0	kWh _e
Energia rinnovabile in situ (termica)	0	kWh

Alla luce di quanto riportato, sono stati elaborati scenari di miglioramento della prestazione energetica. Fra questi quelli che risultano maggiormente significativi sono riportati nel seguito.

N.	Descrizione intervento	Costo intervento [€]
1	Isolamento della muratura a cassetta tramite insuflaggio (poliuretano)	9707,02
2	Coibentazione della copertura	29849,68
3	Coibentazione estradosso portici	4289,48
4	Sostituzione del generatore di calore	6000
5	Installazione impianto PV	30000
TOTALE		79846,18

Intervento N. 1: Prestazioni energetiche stagionali

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Prestazione energetica per il riscaldamento	EP _{h,nren}	kWh/m ² anno	36,38	33,54	2,83	7,8
Prestazione energetica per produzione acs	EP _{w,nren}	kWh/m ² anno	0,21	0,21	0	0
Prestazione energetica per il raffrescamento	EP _{c,nren}	kWh/m ² anno	10,39	10,5	-0,11	-1,1
Prestazione energetica per la ventilazione	EP _{v,nren}	kWh/m ² anno	0	0	0	0
Prestazione energetica per l'illuminazione	EP _{l,nren}	kWh/m ² anno	16,97	16,97	0	0
Prestazione energetica per il trasporto	EP _{t,nren}	kWh/m ² anno	0	0	0	0
Prestazione energetica globale	EP _{gl,nren}	kWh/m ² anno	63,94	61,22	2,72	4,3

Intervento N. 1: Analisi economica

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Spesa annua per riscaldamento	Sh	€/anno	11171,77	10302,4	869,35	7,8
Spesa annua per acqua calda sanitaria	Sw	€/anno	62,14	62,14	0	0
Spesa annua per raffrescamento	Sc	€/anno	3057,24	3089,62	-32,38	-1,1
Spesa annua per ventilazione	Sv	€/anno	0	0	0	0
Spesa annua per illuminazione	Sl	€/anno	4993,69	4993,69	0	0
Spesa annua per trasporto	St	€/anno	0	0	0	0
Spesa annua globale	Sgl	€/anno	19284,85	18447,9	836,97	4,3

Tempo di ritorno: 11.6 anni

Intervento N. 2: Prestazioni energetiche stagionali

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Prestazione energetica per il riscaldamento	EPh,nren	kWh/m²anno	36,38	23,6	12,78	35,1
Prestazione energetica per produzione acs	EPw,nren	kWh/m²anno	0,21	0,21	0	0
Prestazione energetica per il raffrescamento	EPc,nren	kWh/m²anno	10,39	10,75	-0,37	-3,5
Prestazione energetica per la ventilazione	EPv,nren	kWh/m²anno	0	0	0	0
Prestazione energetica per l'illuminazione	EPl,nren	kWh/m²anno	16,97	16,97	0	0
Prestazione energetica per il trasporto	EPl,nren	kWh/m²anno	0	0	0	0
Prestazione energetica globale	EPgl,nren	kWh/m²anno	63,94	51,53	12,41	19,4

Intervento N. 2: Analisi economica

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Spesa annua per riscaldamento	Sh	€/anno	11171,77	7247,87	3923,9	35,1
Spesa annua per acqua calda sanitaria	Sw	€/anno	62,14	62,14	0	0
Spesa annua per raffrescamento	Sc	€/anno	3057,24	3165,12	-107,88	-3,5
Spesa annua per ventilazione	Sv	€/anno	0	0	0	0
Spesa annua per illuminazione	Sl	€/anno	4993,69	4993,69	0	0
Spesa annua per trasporto	St	€/anno	0	0	0	0
Spesa annua globale	Sgl	€/anno	19284,85	15468,8	3816,03	19,8

Tempo di ritorno: 7.8 anni

Intervento N. 3: Prestazioni energetiche stagionali

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Prestazione energetica per il riscaldamento	EPh,nren	kWh/m ² anno	36,38	29,34	7,03	19,3
Prestazione energetica per produzione acs	EPw,nren	kWh/m ² anno	0,21	0,21	0	0
Prestazione energetica per il raffrescamento	EPc,nren	kWh/m ² anno	10,39	11,52	-1,13	-10,9
Prestazione energetica per la ventilazione	EPv,nren	kWh/m ² anno	0	0	0	0
Prestazione energetica per l'illuminazione	EPl,nren	kWh/m ² anno	16,97	16,97	0	0
Prestazione energetica per il trasporto	EPT,nren	kWh/m ² anno	0	0	0	0
Prestazione energetica globale	EPgl,nren	kWh/m ² anno	63,94	58,04	5,9	9,2

Intervento N. 3: Analisi economica

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Spesa annua per riscaldamento	Sh	€/anno	11171,77	9012,09	2159,68	19,3
Spesa annua per acqua calda sanitaria	Sw	€/anno	62,14	62,14	0	0
Spesa annua per raffrescamento	Sc	€/anno	3057,24	3389,52	-332,28	-10,9
Spesa annua per ventilazione	Sv	€/anno	0	0	0	0
Spesa annua per illuminazione	Sl	€/anno	4993,69	4993,69	0	0
Spesa annua per trasporto	St	€/anno	0	0	0	0
Spesa annua globale	Sgl	€/anno	19284,85	17457,4	1827,41	9,5

Tempo di ritorno: 2.3 anni

Intervento N. 4: Prestazioni energetiche stagionali

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Prestazione energetica per il riscaldamento	EPh,nren	kWh/m ² anno	36,38	36,38	2,89	7,9
Prestazione energetica per produzione acs	EPw,nren	kWh/m ² anno	0,21	0,21	0	0
Prestazione energetica per il raffrescamento	EPc,nren	kWh/m ² anno	10,39	10,39	0	0
Prestazione energetica per la ventilazione	EPv,nren	kWh/m ² anno	0	0	0	0
Prestazione energetica per l'illuminazione	EPl,nren	kWh/m ² anno	16,97	16,97	0	0
Prestazione energetica per il trasporto	EPT,nren	kWh/m ² anno	0	0	0	0
Prestazione energetica globale	EPgl,nren	kWh/m ² anno	63,94	61,05	2,89	4,5

Intervento N. 4: Analisi economica

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di	Scenario	Miglioramento	Variazione %
-------------	---------	------	----------	----------	---------------	--------------

			fatto			
Spesa annua per riscaldamento	Sh	€/anno	11171,77	9854,64	1317,13	11,8
Spesa annua per acqua calda sanitaria	Sw	€/anno	62,14	62,14	0	0
Spesa annua per raffrescamento	Sc	€/anno	3057,24	3057,24	0	0
Spesa annua per ventilazione	Sv	€/anno	0	0	0	0
Spesa annua per illuminazione	Sl	€/anno	4993,69	4993,69	0	0
Spesa annua per trasporto	St	€/anno	0	0	0	0
Spesa annua globale	Sgl	€/anno	19284,85	17967,7	1317,13	6,8

Tempo di ritorno: 4.6 anni

Intervento N. 5: Prestazioni energetiche stagionali

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Prestazione energetica per il riscaldamento	EPh,nren	kWh/m²anno	36,38	36,03	0,35	1,0
Prestazione energetica per produzione acs	EPw,nren	kWh/m²anno	0,21	0,01	0,21	97,2
Prestazione energetica per il raffrescamento	EPc,nren	kWh/m²anno	10,39	1,17	9,22	88,8
Prestazione energetica per la ventilazione	EPv,nren	kWh/m²anno	0,00	0,00	0,00	0,0
Prestazione energetica per l'illuminazione	EPl,nren	kWh/m²anno	16,97	0,46	16,50	97,3
Prestazione energetica per il trasporto	EPT,nren	kWh/m²anno	0,00	0,00	0,00	0,0
Prestazione energetica globale	EPgl,nren	kWh/m²anno	63,94	37,66	26,28	41,1

Intervento N. 5: Analisi economica

Descrizione	Simbolo	U.M.	Stato di fatto	Scenario	Miglioramento	Variazione %
Spesa annua per riscaldamento	Sh	€/anno	11171,77	11069,37	102,40	0,9
Spesa annua per acqua calda sanitaria	Sw	€/anno	62,14	1,72	60,43	97,2
Spesa annua per raffrescamento	Sc	€/anno	3057,24	343,03	2714,21	88,8
Spesa annua per ventilazione	Sv	€/anno	0,00	0,00	0,00	0,0
Spesa annua per illuminazione	Sl	€/anno	4993,69	136,34	4857,34	97,3
Spesa annua per trasporto	St	€/anno	0,00	0,00	0,00	0,0
Spesa annua globale	Sgl	€/anno	19284,85	11550,47	7734,38	40,1

Tempo di ritorno: 3.9 anni

2.4 Conclusioni

Per quanto riguarda il Municipio, il calcolo effettuato ha permesso di evidenziare alcuni deficit prestazionali dell'involucro. La muratura in trachite, i solai di copertura e la chiusura orizzontale verso il porticato hanno valori di trasmittanza elevata se confrontata con gli attuali limiti di legge. Gli infissi, per quanto sostituiti durante gli interventi di ristrutturazione succedutesi nel tempo, comunque non rispettano i limiti attuali pur avendo il vetrocamera. Attualmente i valori di conducibilità del materiale sono stati desunti dalla letteratura, ma si fa presente che è allo studio un'apparecchiatura per il test in laboratorio dei materiali locali. Le parti impiantistiche, almeno per quanto riguarda il sistema di generazione, dimostrano invece una maggior efficienza. Il sottosistema di distribuzione appare invece obsoleto ed è stato assunto un rendimento di distribuzione necessariamente penalizzante nei calcoli.

La proposta degli interventi migliorativi ha necessariamente tenuto conto dei vincoli architettonici e conservativi. Le proposte analizzate riguardano la coibentazione del solaio di copertura, la coibentazione del solaio verso il porticato e la sostituzione degli infissi. Sia per ragioni legate alla ridotta possibilità di intervento, sia perché l'edificio, nel complesso, non ha una classificazione energetica estremamente bassa allo stato attuale, i miglioramenti ottenibili con questi interventi non sono significativi. Si è quindi proceduto, nell'ottica dell'avvicinamento ad un modello NZEB, ad analizzare l'inserimento di fonti rinnovabili oltre a quelle già presente (pompa di calore). Al riguardo ci si è riferiti ad una proposta progettuale già presa in considerazione dall'Amm.ne comunale, ovvero quella di installare un impianto fotovoltaico sulla copertura dell'edificio del bocciodromo, di proprietà del comune e nelle vicinanze del municipio. In questo caso il contributo della tecnologia è significativo e comporterebbe un sensibili avvicinamento al target NZEB (da 53,17 a 7,46 kWh/m²anno). Questo in conseguenza della presenza di energia elettrica come unico vettore energetico.

Per quanto riguarda l'edificio ex uffici giudiziari sono state rilevate criticità su elementi dell'involucro edilizio quali: alta trasmittanza del solaio verso il piano pilotis e del solaio di copertura. La muratura in laterizio a cassa vuota è meno lontana dai limiti di legge. Anche in questo caso, come per l'edificio precedente, gli infissi sebbene non eccessivamente scadenti (hanno anche in questo caso il vetrocamera) non rispettano comunque i limiti di legge.

Sul lato impiantistico si rileva la presenza ancora della caldaia a gasolio per il riscaldamento. I dati di targa della medesima hanno permesso di stimare un rendimento di generazione non elevato.

In questo caso gli interventi migliorativi sull'involucro hanno dato risultati più interessanti che nel caso del Municipio. In particolare la coibentazione dei solai esterni e l'insufflaggio di materiale isolante nell'intercapedine della muratura presentano tempi di ritorno che variano dai 12 ai 3 anni. Intervento di sostituzione della caldaia avrebbe invece tempo di ritorno di circa 5 anni.

Anche sommando tutti gli interventi, però, si rimane lontani dal target NZEB, ragion per cui anche in questo caso è stato necessario valutare l'inserimento di fonti rinnovabili quali il fotovoltaico.

La possibilità di installazione in copertura è notevole e anche volendo usufruire solo della parte più alta della medesima, è possibile alloggiare più di un MWp di pannelli. Una tale potenzialità è sostanzialmente inutile per l'edificio in oggetto. È stata fatta una valutazione con 30 kWp ed il tempo di ritorno è di soli 3,9 anni a fronte di una copertura totale dei consumi energetici, che porta l'edificio in una classe A2. Vista l'ampia superficie ancora disponibile è di fatto possibile aumentare la potenzialità per coprire anche il fabbisogno invernale, a patto di sostituire il generatore a gasolio con una pompa di calore aria acqua. Lo scenario proposto, quindi, potrebbe decisamente diventare quello di NZEB, con una combinazione di interventi che può essere riproposta anche su altri edifici di pari caratteristiche.

2.5 Riferimenti bibliografici

1. A. Sanna, "Carbonia: progetto e costruzione dell'architettura e dello spazio pubblico nella città razionalista di fondazione", Tesi di Dottorato in Ingegneria Edile XVII ciclo – Università di Cagliari.

PARTE B: PROTOTIPO PER MISURAZIONI IN LABORATORIO DI PARAMETRI RELATIVI ALLE PRESTAZIONI TERMICHE DEI MATERIALI TIPICI DEL SULCIS

2.6 *Introduzione e Normativa*

Oggetto della presente relazione è lo **"studio e la proposta realizzativa di un prototipo di apparecchiatura per la misura in laboratorio delle prestazioni termiche dei materiali costruttivi locali, maggiormente ricorrenti nell'edificazione del patrimonio storico della città di Carbonia, e test di alcuni suoi componenti"**. Per inquadrare brevemente l'argomento si specifica che lo studio dei materiali in oggetto secondo le norme ISO 8301 e UNI-EN 12667 fanno riferimento agli edifici di cui sono componenti e il punto di vista è rivolto alle prestazioni energetiche degli edifici tradizionali, la cui diffusione e vasto utilizzo nei centri storici anche nel mondo attuale ne rende interessante lo studio anche in termini di risposta alle prospettive nazionali di riqualificazione e certificazione energetica degli edifici. Il sistema di misura, sarà dunque realizzato in applicazione delle norme ISO 8301 e UNI-EN 12667, e a seguito di uno studio bibliografico si propone lo schema funzionale con l'utilizzo di due unità termiche ad effetto Peltier che avranno il compito di creare e mantenere all'interno del provino un flusso di calore costante, uniforme e unidirezionale, misurato da due termoflussimetri, al fine di stabilirne la conducibilità termica alla temperatura media di prova e intervallo di lavoro a cui è sottoposto il materiale durante il suo normale utilizzo nella muratura.

- La normativa vigente europea e nazionale sul risparmio energetico nell'edilizia.

In materia di efficienza energetica la comunità europea indica la strada da percorrere ai Paesi membri attraverso la direttiva 2002/91/CE "Rendimento energetico nell'edilizia" e la direttiva 2006/32/CE "Efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici" e successive.

L'Italia risponde a questa chiamata a più riprese pubblicando diversi decreti legislativi (abbreviati DLgs) e per ultimo il DPR 59/09, ovvero il Decreto del Presidente della Repubblica del 2 aprile 2009 n.59 entrato in vigore il 25 Giugno 2009.

Possiamo dividere la situazione legislativa in due tempi: prima della direttiva europea 2002/91/CE e dopo. Prima della direttiva europea la legge 373/76 con il suo regolamento di applicazione, il DPR 1052/77, prescriveva per la prima volta l'isolamento termico degli edifici e i tempi di funzionamento del riscaldamento. La disposizione più rilevante era costituita dall'obbligo del calcolo delle dispersioni che dovevano essere contenute entro un valore massimo prestabilito attraverso l'isolamento termico dell'involucro.

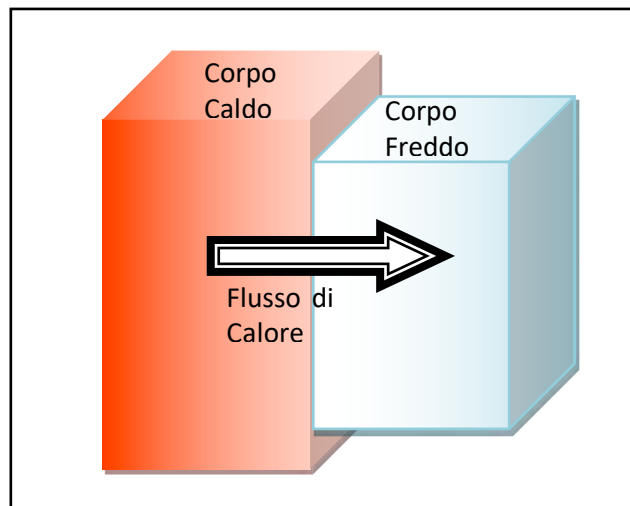
La Legge 10 del 9 gennaio 1991, con i suoi provvedimenti attuativi tra cui il D.P.R. 412/93 e 551/99, dettava le norme per il contenimento dei consumi di energia negli edifici pubblici e privati, qualunque ne sia la destinazione d'uso.

Le novità più rilevanti, rispetto al precedente provvedimento consistevano in:

- Calcolo dei consumi di energia del sistema integrato edificio-impianto.
- La certificazione energetica degli edifici (procedura di informazione dell'utente delle caratteristiche energetiche del sistema).

2.7 *Richiami teorici sulla trasmissione del calore*

Il calore è quella entità di scambio, assunta a forma di energia in base al primo principio della termodinamica, che viene scambiata fra due corpi quando fra di essi vi è una differenza di temperatura.



2.15 Schematizzazione del passaggio di calore tra due corpi a differente temperatura

L'esperienza mostra che tali corpi in contatto diatermico scambiano calore fino al raggiungimento delle condizioni di equilibrio. Tale processo avviene in accordo con i principi della termodinamica: il primo principio stabilisce l'equivalenza delle varie forme di energia, inoltre l'energia termica ceduta da un corpo è uguale a quella ricevuta dall'altro; il secondo principio afferma che il flusso di calore passa spontaneamente dal corpo più caldo a quello più freddo, fino al raggiungimento dell'equilibrio termico.

Si distinguono tre modi di trasmissione del calore: conduzione, convezione e irraggiamento.

Il più delle volte questi tre modi sono concomitanti, ma può succedere che uno dei tre sia prevalente, potendo così trascurare gli altri due. In realtà solo la conduzione ricade rigorosamente nella definizione di scambio termico perché è l'unico che dipende esclusivamente dalla differenza di temperatura. In questo breve documento si tratterà in modo particolare delle relazioni che regolano in particolare lo scambio energetico per conduzione.

2.7.1 Modello di trasmissione di calore monodimensionale in regime stazionario

La nostra analisi verrà condotta ipotizzando il flusso di calore monodimensionale, anche se in generale la trasmissione del calore avviene lungo le tre direzioni spaziali. Se per esempio consideriamo la parete di un edificio, abbiamo che il flusso di calore si sviluppa prevalentemente nella direzione perpendicolare alla parete stessa, ma è probabile che a causa della stratificazione dell'aria, la parte più alta della parete si trovi a temperatura maggiore causando un flusso di calore verso il basso, ma è anche possibile che la temperatura vari lungo la direzione orizzontale per effetto di ponti termici, generati per esempio da finestre.

In laboratorio è possibile realizzare le condizioni per avere un flusso di calore unidimensionale attraverso alcuni accorgimenti:

Imponendo una temperatura uniforme su tutta la superficie della parete, sia sul lato caldo che su quello freddo;

Facendo in modo che la struttura che accoglie il provino abbia spessore e resistenza termica nettamente superiore a quelli del materiale in esame, in modo che effettivamente il flusso di calore fluisca in una sola direzione;

Quando si parla di trasmissione di calore in regime stazionario o permanente si intende che al trascorrere del tempo, in uno specifico punto, le "condizioni" non varino. Per esempio riferendosi al caso della parete di un edificio, dovranno mantenersi costanti: le temperature interna ed esterna, il flusso di calore attraverso la parete, e qualunque altro fattore che possa influenzare la trasmissione di calore nei vari punti di misura.

Adesso limitandoci alla sola trasmissione di calore per conduzione, se non abbiamo pozzi o sorgenti di calore, il bilancio di energia per la parete vale:

Ovvero:
$$\left(\begin{matrix} \text{potenza termica} \\ \text{entrante} \end{matrix} \right) - \left(\begin{matrix} \text{potenza termica} \\ \text{uscente} \end{matrix} \right) = \left(\begin{matrix} \text{potenza termica} \\ \text{accumulata} \end{matrix} \right)$$

$$\dot{Q}_e - \dot{Q}_u = \frac{dE_{\text{parete}}}{dt}$$

Imporre le condizioni stazionarie significa che la potenza termica accumulata deve essere nulla per cui:

$$\frac{dE_{\text{parete}}}{dt} = 0$$

Ne risulta che il flusso termico entrante deve coincidere con quello uscente allora:

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_u,$$

e dal momento che la temperatura non varia nel tempo in nessun punto della parete, il flusso termico attraverso la parete deve essere costante $\dot{Q}_{\text{parete}} = \text{costante}$.

Per verificare in via sperimentale se il flusso di calore è in condizioni stazionarie, si posizionano i flussimetri, sia sul lato caldo che sul lato freddo, quindi quando il segnale delle due sonde è il medesimo, si sono raggiunte le condizioni stazionarie.

2.7.2 Scambio di calore per conduzione

Il fenomeno di trasporto di calore per conduzione può avvenire tra solido e solido, tra solido e fluido, tra fluido e fluido, negli ultimi due casi non si deve manifestare trasporto di massa. Nel caso dei solidi la conduzione è legata alla vibrazione delle molecole all'interno del reticolo e al trasporto di energia da parte degli elettroni liberi, nel caso dei liquidi e dei gas è dovuta agli urti elastici tra le molecole nel loro movimento casuale.

La potenza termica trasmessa attraverso una parete piana di spessore Δx di un materiale omogeneo ed isotropo in regime permanente in condizioni di flusso mono dimensionale vale [Riff. 18]:

$$\dot{Q} = \lambda A \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad [W]$$

Dove :

$\dot{Q}$ la potenza termica trasmessa

λ è la conducibilità termica (caratteristica intrinseca del materiale) $[W/m^\circ C]$

A è la superficie normale alla direzione della trasmissione del calore $[m^2]$

Δx è lo spessore di materiale considerato $[m]$

Δt è la differenza di temperatura attraverso lo spessore $[^\circ C]$.

Più in generale per $\Delta x \neq 0$ per materiali omogenei e isotropi vale la forma:

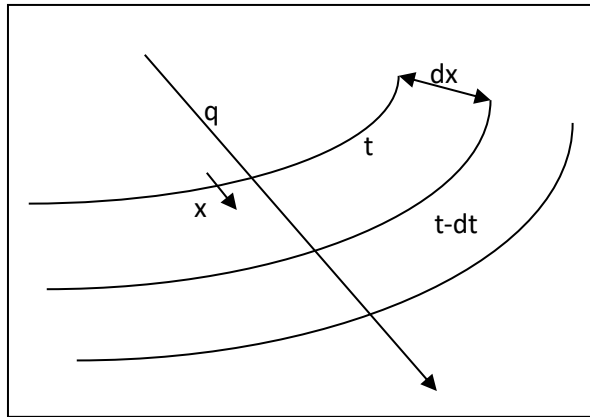
$$q = \frac{\dot{Q}}{A} = -\lambda \frac{dt}{dx} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Nota come il postulato di J. Fourier per la trasmissione del calore per conduzione dove:

λ è ancora la conducibilità

$$\frac{dt}{dx}$$

è il gradiente di temperatura nella direzione x del flusso $[^\circ C/m]$.



2.16 Schematizzazione di un campo termico e delle linee di flusso del calore

Il segno negativo deriva dal fatto che il calore si propaga spontaneamente nel verso delle temperature decrescenti come imposto dal II Principio della Termodinamica; quindi per convenzione sui segni il gradiente diminuisce (è negativo) nel senso delle x crescenti.

Quindi in termini finiti l'equazione si può scrivere come [Riff. 18]:

$$\int_0^L \dot{Q} dx = - \int_{t_{calda}}^{t_{fredda}} \lambda A dt$$

che integrando e ridistribuendo vale:

$$\dot{Q} = \lambda A \frac{(t_{calda} - t_{fredda})}{L}$$

Il rapporto $R_t = \frac{L}{\lambda A} \left[\frac{W}{K} \right]$ è detto resistenza Termica e rappresenta la "resistenza" che lo strato del

materiale oppone al flusso di calore mentre il suo inverso $C_t = \frac{1}{R_t}$ è detto conduttanza.

Si è soliti esprimere la Conduttanza Termica Unitaria, per unità di superficie [Riff. 18]:

$$C = \frac{\lambda}{L} = \frac{1}{R} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Si ha analogia tra il flusso di calore e il flusso di corrente elettrica, infatti la legge di Ohm $I = \frac{1}{R_e} \Delta V$ e la legge

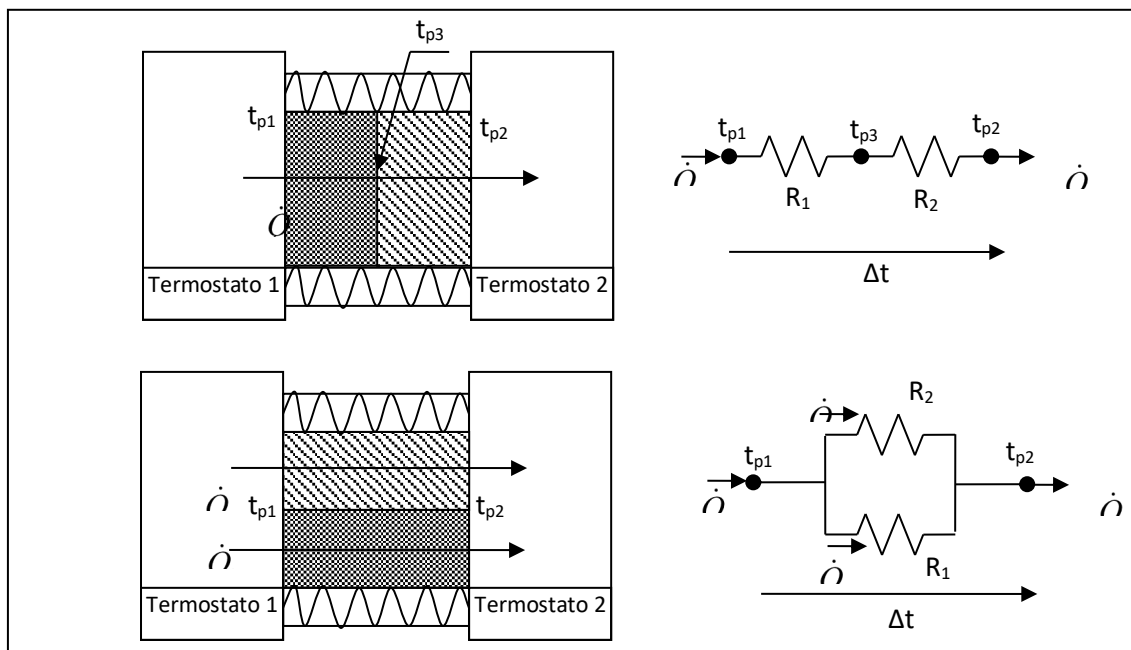
di Fourier $\dot{Q} = \frac{1}{R_t} \Delta t$ sono formalmente simili:

I e $\dot{Q}$ rappresentano il flusso rispettivamente elettrico e termico

ΔV e Δt sono i potenziali, cioè ciò che genera la forza motrice rispettivamente nel sistema elettrico e termico

$R_e = \frac{\rho L}{A}$ e $R_t = \frac{L}{\lambda A}$ sono le resistenze elettriche e termiche dove A è la sezione L è la lunghezza del filo nel sistema elettrico oppure lo spessore del materiale nel sistema termico, mentre ρ è la resistività elettrica e $1/\lambda$ la resistività termica.

Questa analogia permette di applicare al sistema termico il concetto di circuito termico mutuandolo dal sistema elettrico; nello specifico per il caso di pareti multistrato la condizione resistenze in serie e parallelo rispetto al flusso di calore.



2.17 Analogia termoelettrica per la conduzione di calore in assenza di fenomeni capacitivi.

Nel caso serie di resistenze termiche di figura sopra il calore fluente risulta:

$$\dot{Q} = \frac{A}{R_1} (t_{p1} - t_{p3}) = \frac{A}{R_2} (t_{p3} - t_{p2}) = \frac{A}{R_{eq}} (t_{p1} - t_{p2})$$

Dove la resistenza equivalente vale:

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

Generalizzando la conduttanza termica unitaria di una parete multistrato con elementi in serie di sezione uniforme vale:

$$C = \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n R_i} = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{s_k}{\lambda_k} + \sum_{j=1}^m \frac{1}{C_j}}$$

dove

R_i è la resistenza dello strato i-esimo.

s_k lo spessore dello strato k-esimo

λ_k la conducibilità

C_j la conduttanza del j-esimo strato.

Nel caso di resistenze in parallelo di figura precedente il calore fluente vale:

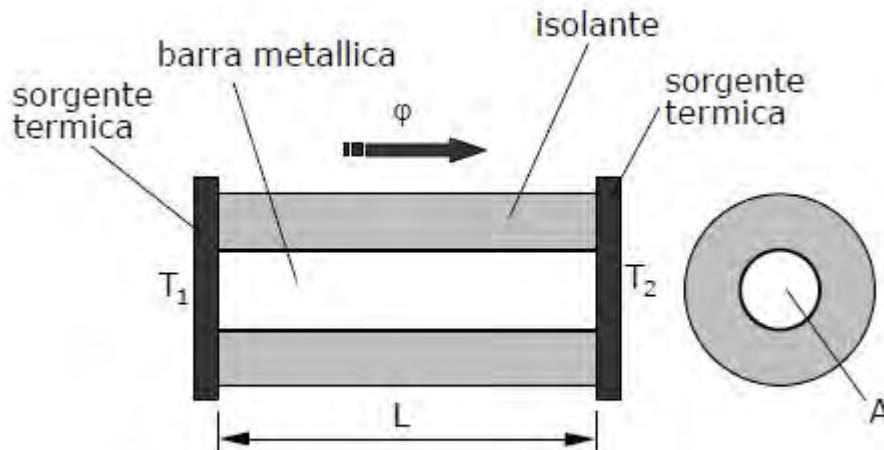
$$\dot{Q} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 = \left(\frac{A_1}{R_1} + \frac{A_2}{R_2} \right) (t_{p1} - t_{p2})$$

Nel caso semplice di aree uguali la resistenza equivalente vale:

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

2.7.3 Il regime stazionario

Si considera una barra di materiale omogeneo di lunghezza L e sezione A , avente superficie laterale adiabatica e sottoposta ad una differenza di temperatura $T_1 - T_2$ tra le estremità tale che $T_1 > T_2$. Le temperature T_1 e T_2 sono imposte uniformi sulle estremità.

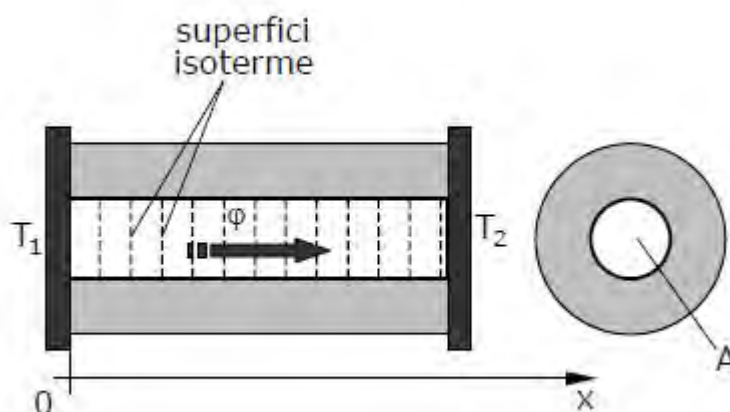


In condizioni di regime stazionario (la temperatura misurata in qualunque punto della barra è costante nel tempo) sperimentalmente si osserva quanto segue:

1. si osserva che su qualunque sezione trasversale della barra la temperatura risulta uniforme, e le superfici isoterme sono superfici piane e parallele tra loro e disposte ortogonalmente all'asse del provino.

Pertanto:

- la temperatura è funzione solo della coordinata x : $T = T(x)$;
- dato che il flusso termico si propaga in direzione normale alle superfici isoterme, risulta monodimensionale in direzione x .



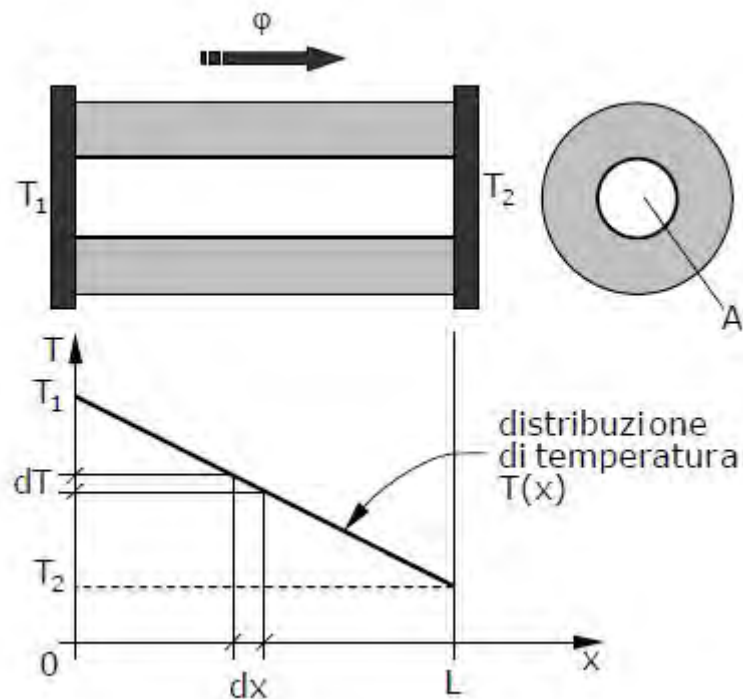
2. si osserva che la quantità di calore Q trasmessa attraverso la barra nell'intervallo di tempo DT è direttamente proporzionale alla differenza di temperatura $(T_1 - T_2)$, all'area A della sezione trasversale e inversamente proporzionale alla lunghezza L :

$$Q = \lambda A \frac{T_1 - T_2}{L} \Delta \tau \quad [J]$$

λ = conducibilità termica $\left[\frac{W}{mK} \right]$

Flusso termico $\varphi = \frac{Q}{\Delta \tau} = \lambda A \frac{T_1 - T_2}{L} \quad [W]$

Flusso termico specifico $\varphi' = \frac{\varphi}{A} = \lambda \frac{T_1 - T_2}{L} \left[\frac{W}{m^2} \right]$



Considerando un tratto infinitesimo di lunghezza dx , vale la legge di Fourier:

$$\varphi = -\lambda A \frac{dT}{dx} \quad [W]$$

$$\varphi' = -\lambda \frac{dT}{dx} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Il flusso termico è una grandezza vettoriale:

$$\vec{\varphi} = \varphi_x \vec{i} + \varphi_y \vec{j} + \varphi_z \vec{k}$$

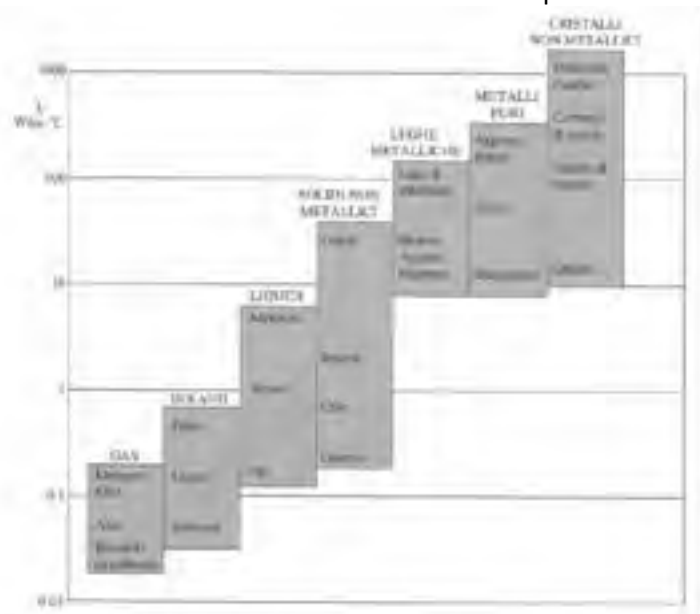
considerandolo monodimensionale in direzione x :

$$\vec{\varphi} = \varphi \vec{i} = -\lambda A \frac{dT}{dx} \vec{i}$$

In regime stazionario, conoscendo il flusso termico che si trasmette attraverso la barra e le temperature T_1 e T_2 alle sue estremità si può ricavare la conducibilità termica del materiale

$$\lambda = \frac{\varphi L}{A(T_1 - T_2)}$$

In figura sotto è mostrata la conducibilità termica di alcuni materiali a temperatura ambiente

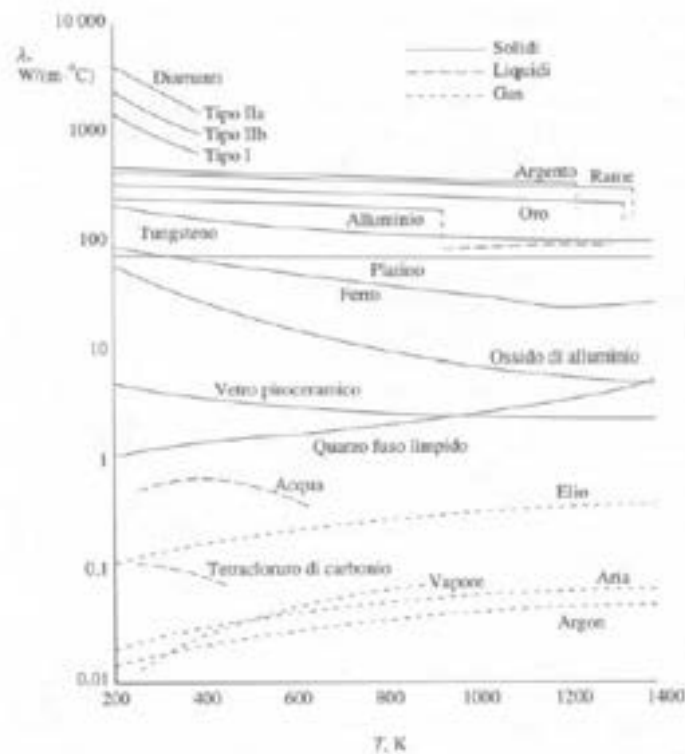


λ elevato $\Rightarrow$ il materiale è un *buon conduttore* di calore.

λ basso $\Rightarrow$ il materiale è un *cattivo conduttore* di calore (*isolante termico*).

2.18 Conducibilità termiche di alcuni materiali a temperatura ambiente

La conducibilità termica dei materiali varia con la temperatura, quindi $\lambda = \lambda(T)$ come evidenziato in figura sotto.

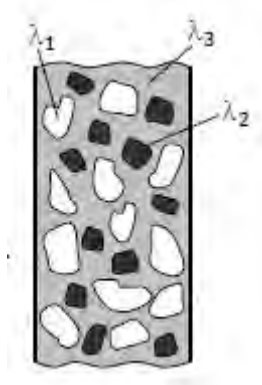


2.19 variazione della conducibilità termica con la temperatura per alcuni materiali

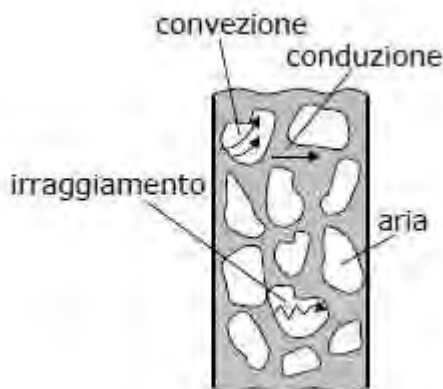
Considerare $\lambda = \lambda(T)$ complica notevolmente lo studio dei problemi di conduzione termica e in prima approssimazione è lecito considerare $\lambda = \text{cost.}$ E' buona norma infatti definire la temperatura alla quale è riferita la conducibilità misurata.

2.7.4 Materiali non omogenei

Un materiale non omogeneo può essere trattato come omogeneo introducendo la conducibilità termica apparente o equivalente λ_{eq} . Nel nostro caso verranno analizzati materiali da tradizionali, che possono essere visti come agglomerati di sostanze diverse, in essi la conducibilità varia da punto a punto e la conducibilità termica apparente tiene conto delle diverse conducibilità termiche dei materiali che costituiscono il conglomerato.

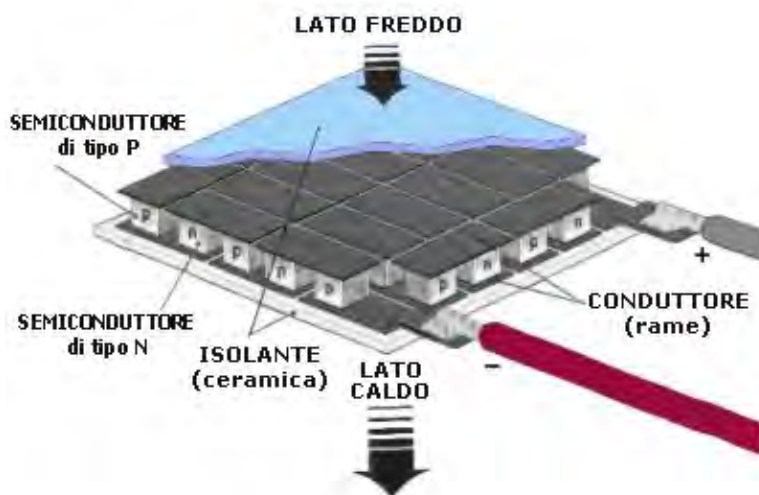


Gli isolanti termici si ottengono mescolando fibre, polveri o fiocchi di materiali a bassa conducibilità termica, come l'aria nel caso del polistirolo. All'interno di un materiale poroso i tre meccanismi di scambio termico intervengono simultaneamente, e tramite la conducibilità termica equivalente si tiene conto di essi nel loro complesso.



2.8 *La scelta della cella di Peltier*

I moduli termoelettrici, in particolare le celle di Peltier, possono essere considerate delle pompe di calore allo stato solido che operano sfruttando l'effetto Peltier. Sono costituiti da una matrice di elementi semiconduttori di tipo P e di tipo N, fortemente drogati con elementi vettori di carica elettrica. Gli elementi sono collegati elettricamente in serie tramite delle lamelle di rame, ma termicamente invece sono collegati in parallelo. Se si applica al tipo N una tensione positiva e al tipo P una tensione negativa, vedremo che la lamella superiore si raffredderà, mentre quella inferiore si riscalerà.



2.20 Lo schema di una cella Peltier

La matrice viene quindi racchiusa tra due substrati di ceramica. La figura sotto mostra l'aspetto di una cella di piccole dimensioni e potenza

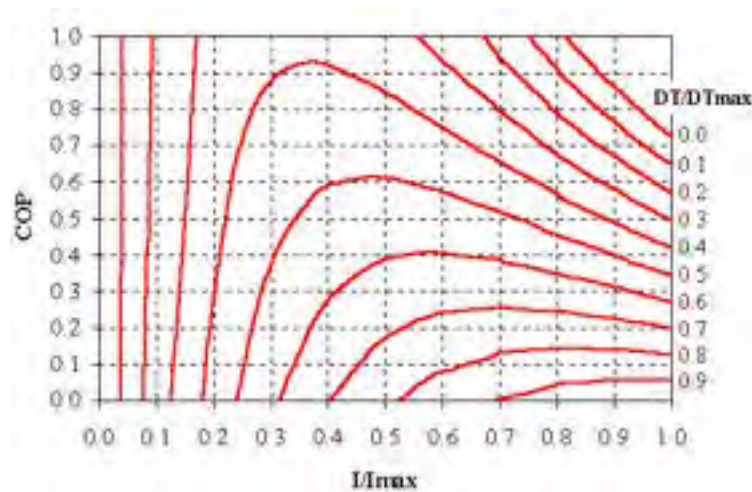


2.21 Una cella Peltier di piccole dimensioni

Il semiconduttore di tipo P è drogato con atomi di elementi che hanno meno elettroni del necessario per completare i legami atomici all'interno del reticolo cristallino. Quando viene applicata una tensione gli elettroni di conduzione si muovono per completare i legami atomici. Nelle posizioni lasciate libere dagli elettroni si formano quindi delle buche (hole), che in sostanza sono gli atomi all'interno del reticolo cristallino che ora hanno carica positiva. Gli elettroni quindi si muovono di buca in buca, comportandosi come vettori

di carica elettrica. Gli elettroni si muovono molto facilmente in materiali conduttori come il rame, ma non nei semiconduttori. Quando gli elettroni lasciano l'elemento di tipo P ed entrano nel rame sul lato freddo, si creano le buche in quanto gli elettroni saltano fuori ad un livello di energia superiore, raggiungendo lo stato di elettroni di conduzione. L'energia extra che serve deriva dall'assorbimento di calore. Nel frattempo le nuove buche create si muovono verso il basso, in direzione del rame caldo. Gli elettroni presenti in questo strato vanno ad occupare le buche, rilasciando la loro energia sotto forma di calore. Il semiconduttore di tipo n invece è drogato con elementi che hanno più elettroni del necessario per completare i legami del reticolo. Quando viene applicata una tensione questi elettroni vengono facilmente spostati nella banda di conduzione. Tuttavia è necessaria energia supplementare per fare sì che gli elettroni del tipo N raggiungano lo stesso livello di quelli che arrivano dal lato freddo, e tale energia deriva dall'assorbimento di calore dall'esterno. Infine, quando gli elettroni lasciano il lato caldo della zona N, possono muoversi liberamente attraverso il rame, liberando così il calore scendendo ad un livello di energia inferiore. Per riassumere, il calore è sempre assorbito sul lato freddo degli elementi di tipo P ed N, e il calore è poi rilasciato nella parte calda, come avviene appunto nelle pompe di calore. L'efficienza del processo è proporzionale alla corrente che attraversa la cella, e dipende da fattori geometrici, dal numero di giunzioni, dalle proprietà dei materiali. Invertendo la tensione, viene invertito anche il processo, e lo spostamento di energia termica cambierà di verso.

In commercio esistono celle Peltier isolate e altre non isolate: le prime sono rivestite sopra e sotto da materiale ceramico e garantiscono rendimenti maggiori delle seconde. Dovendo produrre lavoro per trasferire calore contro il secondo principio della termodinamica, ovvero creare una differenza di temperatura, le celle Peltier assorbono necessariamente un gran quantitativo di corrente elettrica. Ad esempio una cella di dimensioni $30 \times 30 \times 4$ mm da 25 W, presenta una caduta di tensione ai suoi capi di 8,5 V ed assorbe 2,1 A. Inoltre, a causa della curva tensione-corrente caratteristica per la giunzione, usualmente si alimenta il dispositivo in limitazione di corrente (a corrente costante). Solitamente il rendimento di una pompa di calore si misura facendo il rapporto tra la quantità di lavoro fornita dalla macchina e la potenza assorbita da essa, per i moduli termoelettrici si è soliti usare il termine "coefficiente di prestazione" piuttosto che parlare di efficienza. Il COP è la quantità di calore "pompato" diviso per la quantità di energia elettrica fornita al dispositivo. Esso dipende dal carico termico, dalla potenza in ingresso e dalla differenza di temperatura richiesta. Solitamente è compreso tra 0,3 e 0,7 per moduli a singolo strato. Tuttavia il COP può raggiungere valori superiori all'unità quando il dispositivo si trova ad operare con differenze di temperatura positive, ossia quando devono asportare calore da un oggetto che è più caldo dell'ambiente in cui si trova. In figura sotto è rappresentato un grafico normalizzato del COP in relazione al rapporto I/I_{max} e al dT/dT_{max}



2.22 Il grafico normalizzato del COP

2.9 *Descrizione della proposta progettuale*

La determinazione della conducibilità termica, per materiali con resistenza termica non inferiore a $0,5 \frac{m^2 \cdot K}{W}$, può essere eseguita secondo i criteri dettati dalle norme UNI EN 12667:2001 e ISO 8301. Il metodo si applica in linea di principio a qualunque temperatura media di prova, anche se nel nostro caso quest'ultima sarà quella ambiente, quindi intorno ai 20°C. Essendo la conducibilità termica funzione della temperatura, è necessario specificare sempre la temperatura media alla quale è stata effettuata la misurazione.

Il metodo è basato sull'applicazione della legge di Fourier per la conduzione termica, approssimata al caso di flusso di calore uniforme, costante e unidirezionale. La misura ottenuta sarà tanto più corretta quanto più si riescono a realizzare queste condizioni al contorno. Naturalmente occorre grande precisione anche nel misurare le altre grandezze necessarie, quali temperature, flusso di calore e caratteristiche dimensionali dei provini. Una volta che il sistema avrà raggiunto le condizioni di regime il valore di conducibilità termica misurato sarà quello corretto.

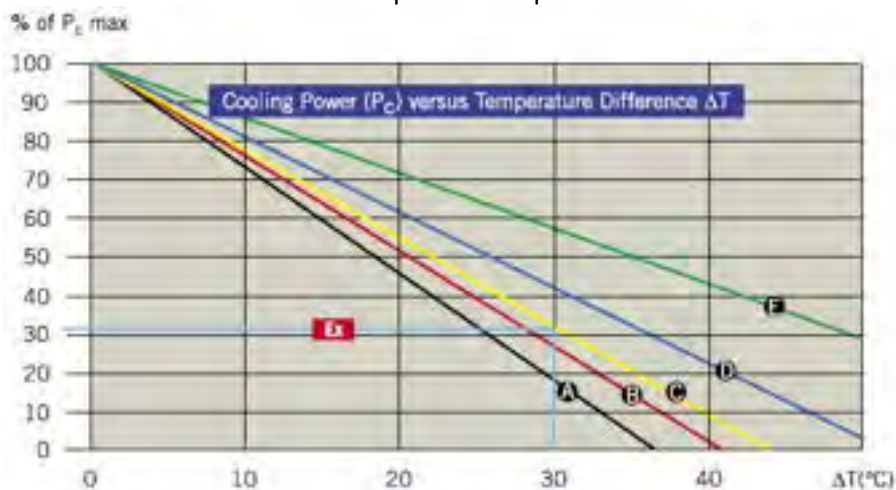
Nelle norme vengono descritti due procedimenti: piastra calda con anello di guardia e metodo del termo flussimetro. Per questo progetto è stato scelto il metodo del termoflussimetro.

- Schema apparato

La densità di flusso di calore viene misurata tramite uno o due termo flussimetri disposti sulle facce del provino a seconda della configurazione adottata. Le configurazioni possibili variano a seconda del numero di provini, di unità termiche e di termo flussimetri adoperati.

- Unità termiche

In riferimento alla modalità di scambio termico, diretta da una parte, tramite una piastra di alluminio, e convettiva dall'altra, tramite dissipatore alettato e ventola. Il cuore del dispositivo sarà costituito da due celle di Peltier da 50W ciascuna, collegate elettricamente in serie e alimentate quindi da una tensione di 24V e corrente massima assorbita di 7,7A. Il costruttore fornisce anche un grafico che mette in relazione la potenza termica disponibile in base alla differenza di temperatura imposta.



Il grafico del costruttore

In ascisse troviamo il ΔT rispetto alla temperatura ambiente, mentre in ordinate viene data la potenza termica in percentuale rispetto a quella massima disponibile. La lettura va fatta in base alla curva C, corrispondente al dispositivo selezionato. Nel grafico è presente anche un esempio: ipotizzando una temperatura ambiente di 32°C e una di lavoro di 2°C, quindi con un ΔT di 30°C, si ha a disposizione il 32% della potenza massima, quindi circa 22,7w.

Il dispositivo ha una superficie attiva di scambio termico di 120x60mm, corrispondente all'area effettiva occupata dalle due celle con le quali è a contatto. L'intero apparato sarà dunque dimensionato secondo una superficie di contatto rettangolare di 230x122mm, quindi si è pensato di realizzare due piastre di alluminio

fresato di tale dimensione da fissare a quella della cella, per aumentare la superficie di scambio termico. Per garantire la minore resistenza termica possibile fra le due sarà applicato uno strato di pasta termoconduttiva per applicazioni elettroniche. Di conseguenza i provini dovranno avere proprio dimensione 230x122mm. Le due piastre di alluminio dello spessore di 10 mm, serviranno sia da superficie di scambio termico che da supporto/alloggiamento per gli strumenti di misura: per via della asimmetria una delle due alloggerà le sonde di temperatura e il termoflussimetro e l'altra, solo i fori per le sonde di temperatura. Allo scopo dovranno essere eseguite delle lavorazioni con macchine utensili a controllo numerico per ricavare l'alloggiamento per i termoflussimetri e per le sonde di temperatura.

Inoltre dovranno essere eseguite delle asole per il passaggio dei cavi e i fori per le viti di fissaggio. La conduttività termica dell'alluminio per le piastre, sia quelle di partenza che quelle aggiuntive, è di $130 \frac{W}{mK}$.

Il volume rimasto libero tra le piastre e il dispositivo dovrà essere riempito con provino di test.

Per garantire l'isolamento delle superfici laterali di piastre e provino dall'ambiente esterno dovrà essere realizzato un involucro isolante,

- Il controller temperatura

Per pilotare le unità termiche sono stati scelti dei controller elettronici dedicati per celle di Peltier. Dopo aver visionato diversi prodotti è stato deciso di acquistare due controller della OEM-Instruments, modello FG-541-201 OEM.



2.23 Il controller temperatura

Questo controller integra sia la parte di controllo, svolta da un regolatore di tipo PID, che quella di potenza, ed è in grado di pilotare celle di Peltier con alimentazione variabile da 0 a 48V e correnti fino a 20A. L'interfacciamento col pc avviene tramite interfaccia seriale, ma è stato necessario anche l'utilizzo di un convertitore seriale-usb, dato che ormai tale porta non è più presente sui personal computer attuali. La parte di potenza è realizzata tramite un modulatore PWM. Per il feedback della temperatura utilizza un termistore con resistenza di 10000Ω a 25°C, ed è anche possibile collegarne un secondo da utilizzare come monitoraggio o allarme. In dotazione viene fornito un termistore con precisione di $\pm 1^\circ C$, che sarà sostituito con un altro da $\pm 0,1^\circ C$.

- Alimentatore

Per l'alimentazione delle unità termiche e delle due schede di controllo si utilizzerà un alimentatore switching Microset PL 530, regolabile in tensione con range 4-30V e capace di fornire 40 A in CC, dotato inoltre di amperometro e voltmetro.

- Termoflussimetro

Per la misura del flusso di calore verrà utilizzato un termoflussimetro della Hukseflux. Questo è costituito da una piastra in materiale plastico-ceramico a bassissima resistenza termica, e da un'uscita in tensione proporzionale al flusso di calore che lo attraversa. Nello specifico la nostra unità fornisce una tensione di $63,9 \frac{\mu V}{W \cdot m^{-2}}$ e può misurare flussi fino a $\pm 2000 \frac{W}{m^2}$ con un range di temperatura che da -30 a 70°C. La sua resistenza termica è minore di $6,25 \cdot 10^{-3} \frac{K \cdot m^2}{W}$. L'elemento sensibile è costituito da una termopila che genera un segnale in mV proporzionale alla differenza di temperatura rilevata tra le due facce del sensore. Considerando stabile il flusso, costante la conducibilità termica del corpo in misura e trascurabile l'influenza del sensore sulle modalità di propagazione del flusso stesso, il segnale di uscita del sensore è proporzionale alle sole variazioni di flusso che lo attraversano. La lettura del segnale di uscita può essere effettuata con l'impiego di un voltmetro di precisione o con i più comuni datalogger. Per convertire la misura in tensione in flusso di calore è sufficiente dividere il valore rilevato per la costante di calibrazione.

- Sonde temperatura

Per la rilevazione della temperatura delle piastre si è pensato di utilizzare delle termoresistenze PT100 che utilizza un controller a quattro canali dedicato.

Le sonde di temperatura saranno collegate al controller della Elmed IBRM-04.



2.24 Il controller Pt100

Il modulo IBRM04 permette la conversione di quattro valori di temperatura rilevati tramite sonde PT100, in altrettanti rispettivi segnali di tensione. La curva di risposta del segnale viene linearizzata tramite moduli ibridi (TLC05) permettendo un interfacciamento molto semplice. Il modulo è tarato in fabbrica per il range di temperatura 0-100°C al quale corrisponde una tensione in uscita di 0-10V, con risposta lineare. Per l'alimentazione del modulo è necessaria una sola alimentazione anche non stabilizzata. Il modulo è alloggiato in un contenitore plastico montabile su guida DIN. Saranno utilizzati elementi Pt100 racchiusi in un involucro di acciaio inox del diametro di 4 mm e lungo 50 mm, in modo da poter essere inseriti nelle sedi ricavate sulle piastre in modo da non rischiare di danneggiarli. Anche qua verrà utilizzata la pasta termoconduttiva per tenere sotto controllo la resistenza termica di contatto.

- L'acquisizione e l'elaborazione dati

Si prevede lo sviluppo in ambiente Labview (molto utilizzato in ambito di ricerca) di un programma per l'acquisizione e la registrazione dei segnali provenienti dai sensori di temperatura e dal termoflussimetro e inoltre per realizzare la gestione delle due unità a cella di Peltier, gestione finalizzata al raggiungimento degli andamenti di temperatura e di flussi di calore desiderati sul provino sotto test. Tutti i dati saranno raccolti, elaborati e visualizzati tramite il software Labview installato su un pc (che non sarà fornito). I segnali elettrici provenienti dai vari sensori saranno acquisiti mediante due schede di acquisizione usb della National

Instruments (che non saranno fornite) e in dotazione presso il DICAAR. La prima, che riceve i dati dal controller Elmed, è la NI USB-6211 che possiede: 16 canali in ingresso e 2 in uscita analogici (16-bit, 250 kS/s); 4 canali in ingresso e 4 in uscita digitali, oltre a un contatore digitale. Tramite questa scheda, la tensione generata dal controller Elmed viene acquisita e trasdotta in una temperatura dal software.

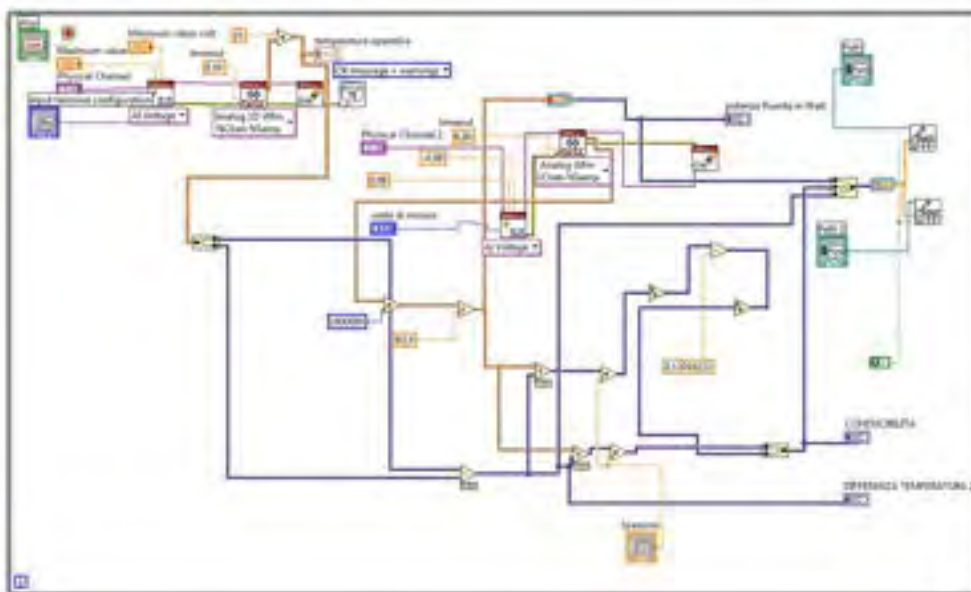
La seconda scheda è una NI USB-9211A, che possiede 4 ingressi a 24bit per termocoppie e termopile. Tramite questa interfaccia viene acquisito il segnale in tensione del termoflussimetro, che viene poi elaborato dal software per avere il dato del flusso di calore in $\frac{W}{m^2}$.



2.25 Le due schede di acquisizione

Per l'elaborazione dei dati sarà scritto, tramite Labview, un software che applicando la legge di Fourier fornirà il valore della conducibilità termica. Sarà possibile inoltre visualizzare a monitor anche gli altri dati che acquisiti.

Al momento sono state testate le due celle a effetto Peltier e si sta procedendo alla verifica del sistema di controllo della OEM-Instruments attraverso il software di cui sotto si riporta lo schema funzionale in LabView che sta fornendo i risultati attesi.



2.26 Schema funzionale del software di controllo dell'apparecchiatura

Gli sviluppi futuri della ricerca prevedono, per la seconda annualità, la realizzazione completa del prototipo con l'assemblaggio dei componenti finora progettati e testati. Una volta realizzata questa fase, verranno eseguiti i test sui materiali da costruzione locali di cui alla PARTE A della presente relazione.