



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche

Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

ANALISI DEL COMFORT IN AMBIENTI SCOLASTICI PROGETTATI ALLA
LUCE DEI NUOVI CAM 2017

COMFORT ANALYSIS OF SCHOOL BUILDINGS DESIGNED BASED ON
THE 2017 CAM

Relatore: Ing. Fabio Serpilli

Correlatore: Ing. Valerio D'Alessandro

Tesi di Laurea di:

Jacopo Pancaldi

Anno Accademico 2018-2019

INDICE

Capitolo 1. Introduzione	4
Capitolo 2. Legislazione di riferimento.....	6
2.1 Legislazione internazionale: il protocollo Kyoto.....	6
2.2 La legislazione dell'Unione Europea.....	9
2.3 La legislazione nazionale italiana	12
2.4 La normativa della Regione Marche	13
2.5 Criteri ambientali minimi (CAM)	13
2.5.1 Struttura del documento	15
2.5.2 Diagnosi energetica	18
2.5.3 Prestazione energetica	18
2.5.4 Approvvigionamento energetico	19
2.5.5 Risparmio idrico	19
2.5.6 Qualità ambientale interna	19
2.6 Definizione di comfort	25
2.6.1 Indici del benessere termoigrometrico.....	26
2.6.2 Indici di discomfort locali	29
2.7 Scuole innovative	32
2.7.1 Linee guida scuola innovative	32
2.7.2 Efficienza energetica nelle scuole	40
2.7.3 Il progetto ZEMedS	45
2.7.4 Le motivazioni del progetto ZEMedS.....	46
2.7.5 Gli obiettivi del progetto ZEMedS	46
2.7.6. I requisiti delle scuole nZEB	47
2.7.7 Benefici del progetto nZEB.....	48
Capitolo 3. Software di simulazione dinamica	52
3.1 Introduzione.....	52
3.2 Storia dei software di simulazione energetica	53
3.3. Complessità dei fenomeni da analizzare	54
3.4. Conduzione in regime transitorio	54
3.5 Irraggiamento	55
3.6 Flussi d'aria	56



3.7 Impianti di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria (HVAC).....	57
Capitolo 4. Costruzione del modello ed interfaccia grafica	59
4.1 File climatico.....	61
Capitolo 5. Il Caso studio	62
5.1 Descrizione del fabbricato	63
Capitolo 6. Simulazione dinamica	67
6.1 Creazione del modello su Design Builder	67
6.2 Dati inseriti nel modello	68
6.2.1 Implementazione dati HVAC	79
6.3 HVAC dettagliato	82
6.3.1 Progetto di riscaldamento invernale	89
6.3.2 Progetto di raffrescamento estivo.....	90
6.4 Simulazioni energetiche.....	92
6.4.1 Confronto dei consumi mensili con un edificio realizzato nel 2016	100
Capitolo 7. Verifica dei criteri ambientali minimi CAM	103
7.1 Illuminazione naturale.....	103
7.2 Aerazione naturale e ventilazione meccanica controllata.....	107
7.2.1 Aerazione naturale	107
7.2.2 Ventilazione meccanica controllata	108
7.3 Dispositivi di protezione solare	110
7.4 Inquinamento elettromagnetico indoor.....	111
7.5 Verifica emissioni dei materiali.....	112
7.6 Verifica comfort termo-igrometrico.....	114
Risultati analisi di comfort periodo invernale (9-12 Gennaio).....	114
Risultati analisi di comfort periodo estivo (5-8 Giugno).....	118
7.7 Radon.....	121
7.8 Piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti/piano di gestione	122
Capitolo 8. Valutazione comfort acustico	124
8.1 Tecniche di misurazione e strumentazione	127
8.1.1 Descrizione delle misurazioni	129
8.2 Risultati delle prove ed aule utilizzate	132
Capitolo 9. Conclusioni	138



Capitolo 1. Introduzione

In Italia la maggior parte degli edifici pubblici, in particolare il patrimonio edilizio scolastico, sono stati costruiti prima del 1976 [1]; anno in cui è entrata in vigore la prima legge sul consumo energetico. Per questo motivo la maggior parte del patrimonio edilizio italiano presenta gravi insufficienze su più fronti. Spesso troviamo edifici con vecchi materiali da costruzione, caratterizzati da alte dispersioni energetiche. Hanno gravi mancanze per quanto riguarda la sicurezza, un basso comfort interno e alti consumi con conseguenti aumenti dei costi di manutenzione negli anni. Inoltre, spesso, ci troviamo di fronte ad impianti obsoleti, poco efficienti e senza le adeguate normative di sicurezza. L'obiettivo che ci si è posto dopo la Legge Kyoto, è stato l'abbattimento di queste problematiche. Le scuole dovrebbero essere un modello da seguire in tutto e per tutto per gli studenti, ma a causa della mancanza di fondi rientrano raramente nei piani di ristrutturazione. L'11/10/2017 sono stati emanati i CAM (criteri ambientali minimi) [2], i quali sostituiscono la normativa del 26/06/2015. Il decreto CAM fornisce i criteri ambientali minimi e alcune indicazioni di carattere generale, sull'affidamento dei servizi di progettazione e sui lavori per la nuova costruzione, la ristrutturazione, la manutenzione di edifici. Le stazioni appaltanti devono tener presente tutte le specifiche tecniche e le clausole contrattuali definite nel documento per il 100% del valore a base d'asta. Il progettista deve garantire, laddove possibile, il recupero di edifici esistenti, il riutilizzo di aree dismesse, la localizzazione dell'opera in aree già urbanizzate/degradate/impermeabilizzate, invece di realizzare una nuova costruzione. Il progetto deve garantire risparmio idrico, illuminazione naturale e approvvigionamento energetico da fonti rinnovabili. Inoltre, deve essere garantito l'inserimento naturalistico paesaggistico, la sistemazione delle aree verde e il mantenimento della permeabilità dei suoli. Allo scopo di ridurre l'impiego di risorse non rinnovabili e di aumentare il riciclo dei rifiuti, il progetto deve prevedere:

- L'uso di materiali composti da materie prime rinnovabili
- Una distanza minima per l'approvvigionamento dei prodotti da costruzione
- Il miglioramento delle prestazioni ambientali dell'edificio

La tesi ha l'obiettivo di verificare le caratteristiche termodinamiche, termo-igrometriche ed il comfort di una scuola sita nel comune di Ancona. In particolare si è concentrato il lavoro sulla verifica dei nuovi criteri ambientali minimi emanati l'11/10/2017, rispetto a quanto realizzato nell'edificio di nuova costruzione, progettato nel 2016, in epoca antecedente al nuovo decreto. In particolare sono valutati i criteri relativi al comfort. Per la valutazione di alcune grandezze, sono stati simulati i consumi energetici, non avendo a disposizione dati reali essendo di nuova costruzione la scuola. Inoltre si è proceduto alla misurazione del comfort acustico, essendo in questo caso possibile effettuare valutazioni in situ, in quanto indipendenti dall'utilizzo degli impianti.



La metodologia eseguita ha preso spunto dalla letteratura scientifica ed in particolare da due casi simili di edifici scolastici situati rispettivamente a Monaco, nel sud della Germania, e un complesso scolastico a Torino. Mediante l'accesso a Google Scholar, è stato possibile visualizzare i documenti relativi ad entrambi i progetti, il primo è molto simile per vari aspetti a quello oggetto di studio. La scuola si chiama FOS/BOS Technik. I principali step eseguiti per la sua progettazione sono:

- Valutazione dello stato di fatto
- Analisi dei materiali utilizzati, dell'impiantistica presente e del comfort attuale
- Un progetto di miglioramento per l'efficienza energetica e di rinforzo strutturale.

Un progetto analogo è quello a Torino, in particolare è stato oggetto di riqualificazione energetica il complesso scolastico a Cesana Torinese; realizzato dallo studio "Ahora Architettura". Un edificio costituito in tre blocchi, che ha subito una riqualificazione globale. L'obiettivo di entrambi i progetti è stato sempre ottenere una riduzione dei consumi energetici, un abbattimento dei costi di manutenzione ed assicurare alla futura scuola un'efficiente impermeabilizzazione ed un'elevata durabilità nel tempo. In questi due progetti sono stati utilizzati due software differenti, in quello tedesco è stato usato BES mentre in quello italiano CASACLIMA. Due programmi diversi ma che hanno permesso la realizzazione del progetto.



Capitolo 2. Legislazione di riferimento

2.1 Legislazione internazionale: il protocollo Kyoto

Il Protocollo di Kyoto è un accordo internazionale per contrastare il riscaldamento climatico, fenomeno ambientale mai messo in dubbio dalla scienza.

Il trattato è stato sottoscritto l'11 Dicembre 1997 [3] durante la Conferenza delle parti di Kyoto (la COP3) ma è entrato in vigore solo il 16 febbraio 2005 grazie dalla ratifica del Protocollo da parte della Russia.

Infatti, perché il trattato potesse entrare in vigore, era necessario che fosse ratificato da almeno 55 Nazioni. Esse dovevano rappresentare un valore pari o uguale al 55% delle emissioni serra globali: un obiettivo raggiunto proprio grazie alla sottoscrizione della Russia. La motivazione della nascita del Protocollo di Kyoto, risiedeva nel contrasto al riscaldamento climatico globale causato dalle grandi quantità di emissioni di CO₂ da parte dell'uomo. Il Protocollo di Kyoto impegnava i Paesi sottoscrittori ad una significativa riduzione delle proprie emissioni di gas ad effetto serra (i così-detti gas climalteranti, che riscaldano il clima terrestre) rispetto ai propri livelli di emissione del 1990, in percentuale diversa da Stato a Stato. Per attuare questa metodologia, le Parti sono tenute a realizzare un sistema nazionale di monitoraggio delle emissioni ed assorbimenti di gas ad effetto serra da aggiornare annualmente. Questo documento è chiamato "Inventario Nazionale delle emissioni e degli assorbimenti dei gas a effetto serra". Di seguito è riportato un grafico rappresentate l'aumento della CO₂ dal 1880 agli anni 2000, in rapporto all'aumento della temperatura globale. Il primo ha subito un aumento di circa il 30%, il secondo invece di circa 2°F.

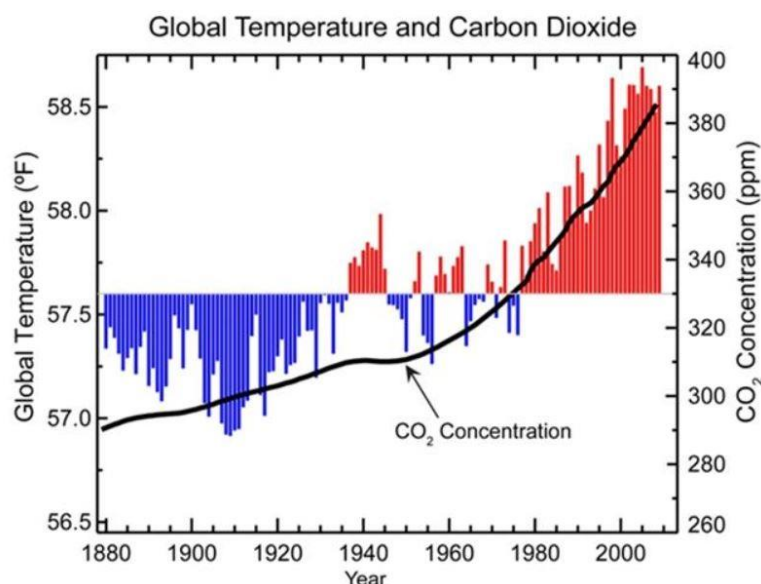


Immagine n°1: aumento CO₂ e temperatura

Un altro grafico indicativo è rappresentato dall'emissione di CO₂ da parte di tutti i continenti del

globo terrestre. In particolare il consumo dell'Asia nel 2011 aveva un valore di 35 milioni di tonnellate, rispetto al 1965 che ne aveva solo 10.

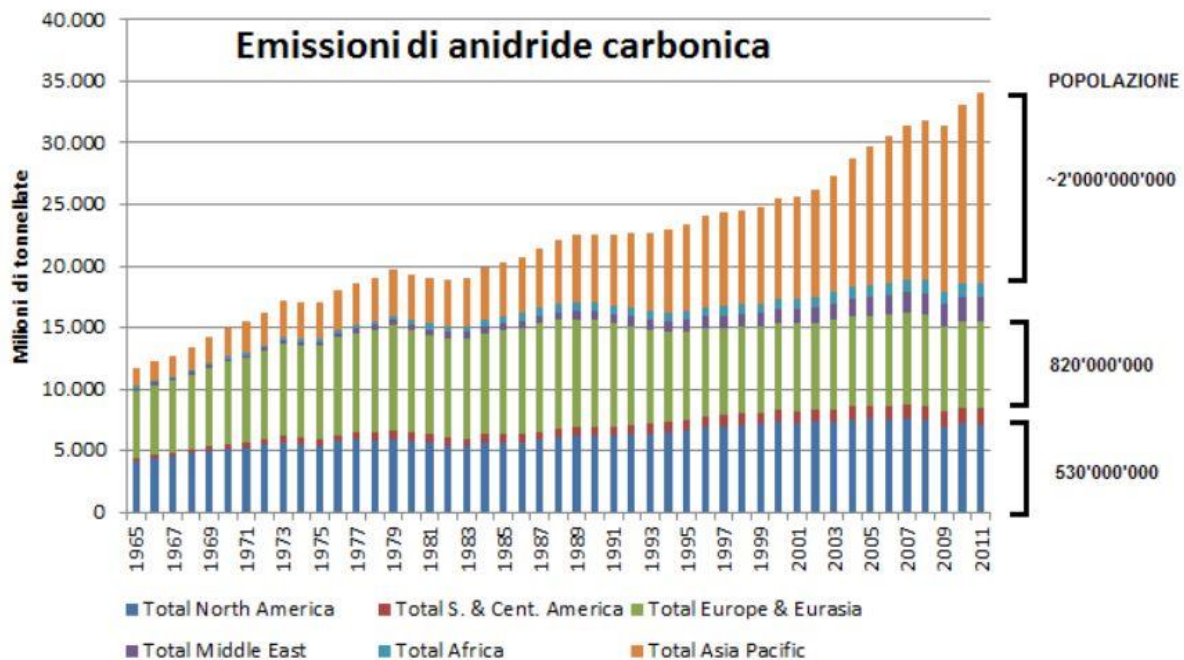


Immagine n°2: aumento CO₂ continenti

I gas climalteranti (GHG - GreenHouse Gases) oggetto degli obiettivi di riduzione sono:

- La CO₂ (anidride carbonica), prodotta dall'impiego dei combustibili fossili in tutte le attività energetiche e industriali oltre che nei trasporti
- Il CH₄ (metano), prodotto dalle discariche dei rifiuti, dagli allevamenti zootecnici e dalle coltivazioni di riso
- L'N₂O (protossido di azoto), prodotto nel settore agricolo e nelle industrie chimiche
- Gli HFC (idrofluorocarburi), impiegati nelle industrie chimiche e manifatturiere
- I PFC (perfluorocarburi), impiegati nelle industrie chimiche e manifatturiere
- L'SF₆ (esafluoruro di zolfo), impiegato nelle industrie chimiche e manifatturiere.

Attualmente però, la CO₂ è il principale e più rilevante gas che contribuisce per oltre il 55% all'effetto serra odierno. Quando si parla degli obiettivi di riduzione emissiva, si fa sempre riferimento ai valori espressi in termini di CO₂eq (CO₂ equivalente). Essa è un'unità di misura che considera la somma ponderata della capacità serra di tutti i 6 diversi gas (o famiglie di gas) oggetto del Protocollo di Kyoto. Questo protocollo ha terminato la sua validità il 31/12/2012, prevedeva una riduzione emissiva per gli Stati del 5% (rispetto alla baseline emissiva del 1990), da conseguire entro il 2012. Alcuni stati Europei già nel 2009 avevano superato il proprio target di riduzione emissiva, questo è segno che non si trattava di obiettivi impossibili e che ha determinato riscontri positivi sulla loro economia. Nell'ambito del Protocollo di Kyoto, l'Italia aveva sottoscritto

un obiettivo di riduzione emissiva del -6,5%: tale obiettivo era stato identificato sulla base delle indicazioni di Enti di ricerca nazionali, che lo avevano quantificato come risultato necessario per l'ammodernamento del Paese e per lo stimolo dell'economia nazionale. A partire dall'obiettivo sottoscritto nell'ambito del Protocollo di Kyoto, in Italia sono stati storicamente realizzati diversi strumenti normativi di recepimento ed attuazione del medesimo, di seguito sono illustrati i principali:

- Delibera CIPE 137/08 del 19.12.1998 [4] - "Linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra"
- Legge n. 120/02 del 02.06.2002 [5] - "Ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997" (Legge di ratifica nazionale del Protocollo di Kyoto)
- Delibera CIPE 123/02 del 19.12.2002 [6] - Approvazione del "Piano Nazionale per la riduzione delle emissioni di gas responsabili dell'effetto serra, 2003-2010", quale revisione delle linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra (Legge 120/2002).

Si trattava di una serie di documenti che complessivamente definiscono e ripartiscono l'obiettivo di riduzione nazionale a ciascun settore del Paese, da conseguire entro il termine del secondo periodo d'impegno (cioè la fine del 2012). Purtroppo però, l'Italia non ha raggiunto questo obiettivo. Per quanto riguarda lo scenario italiano, secondo i dati storici nel periodo 1990-2012 per il Rapporto "Italian Greenhouse Gas Inventory" - ISPRA 2014 si evidenzia che le emissioni nazionali di CO₂eq sono diminuite dell'11,4%. In seguito furono considerati anche gli assorbimenti di carbonio da parte di boschi e delle foreste, si arrivò così ad un risultato ancora migliore del -14,3%. Considerando invece gli specifici obiettivi del Protocollo di Kyoto, la media di riduzione delle emissioni nel periodo d'impegno 2008-2012 rispetto all'anno base 1990 è stata "solo" del -4,6%, a fronte di un impegno nazionale di riduzione del -6,5%. Secondo il NIR 2014, le emissioni nazionali al 2012 erano così strutturate:

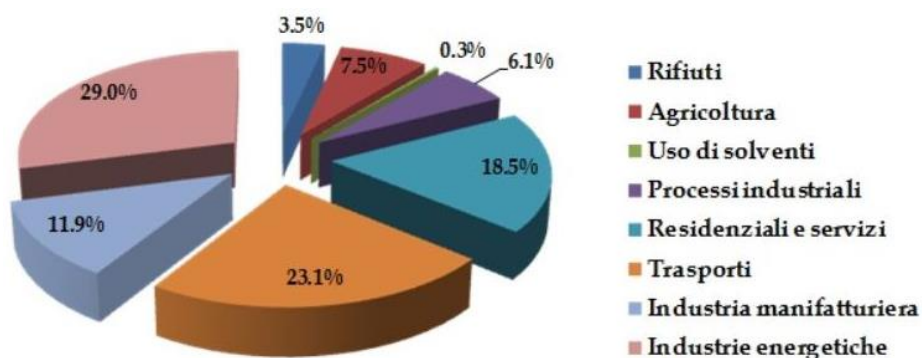


Immagine n°3: emissioni nazionali

2.2 La legislazione dell'Unione Europea

Gli stati europei hanno un ruolo fondamentale nella tutela dell'ambiente. L'Unione Europea ha svolto un ruolo da protagonista nella lotta alla salvaguardia dell'ambiente. Infatti, molte politiche promosse finora hanno avuto un buon impatto sull'ambiente garantendo qualche speranza in più. Sia la Commissione che il Parlamento Europeo hanno delle sezioni incentrate esclusivamente sulla tutela del territorio come ad esempio l'Agenzia Europea dell'Ambiente, nata nel 1994 con sede a Copenaghen, che aiuta con dati e ricerche sempre aggiornati.

Una delle tematiche principali affrontate dai governi europei riguarda la lotta alle emissioni dei gas dannosi per l'ambiente, dove si è cercato di agire intraprendendo diverse politiche in campo ambientale ed energetico affinché si giungesse ad una razionalizzazione dei consumi finali di energia, ma soprattutto si potesse arrivare alla diversificazione delle fonti energetiche, con la massima propensione possibile verso quelle rinnovabili.

I primi passi verso una presa di coscienza comunitaria avvennero già negli anni '50 con i trattati istitutivi della Comunità Europea (i cosiddetti trattati di Roma del '57), che non prevedono alcuna forma normativa per la tutela ambientale. In quella fase, infatti, le parti contraenti non ritennero necessaria una politica ambientale comune: il pericolo non era ancora tangibile e ben più urgenti furono ritenute altre politiche, come quella agricola e quella industriale. Nel 1972, di fronte alle nuove emergenze ambientali, fu riconosciuta l'urgenza di istituire delle regole comuni in materia ambientale: da allora sono entrate in vigore più di 200 disposizioni legislative comunitarie sull'argomento. I primi atti furono finalizzati al controllo e all'etichettatura di sostanze chimiche pericolose, alla protezione delle acque di superficie, nonché al monitoraggio degli agenti inquinanti. Le prime fasi della politica ambientale sono caratterizzate da un approccio di tipo verticale, consistente nell'adozione di singoli interventi settoriali. La graduale integrazione della questione ambientale nel complesso delle politiche sociali ed economiche dell'Unione diventa l'unico sentiero da seguire per proseguire ad uno sviluppo durevole e sostenibile. A partire da una sentenza del 7 febbraio 1985 della Corte di Giustizia delle Comunità Europee, che aveva affermato il carattere prioritario della protezione dell'ambiente, i passi successivi portarono sempre verso una maggior integrazione. L'Atto Unico Europeo (1987) inserisce nel Trattato Comunitario un vero e proprio Titolo dedicato all'ambiente, si fissano tre obiettivi principali in materia. Tutela dell'ambiente, protezione della salute umana, utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali. Nel 1992 con il trattato di Maastricht, il concetto di sviluppo sostenibile è inserito nella legislazione dell'Unione Europea nell'articolo 130 paragrafo 2 che stabilisce che "le esigenze connesse con la tutela dell'ambiente devono essere integrate nella definizione e nell'attuazione delle altre politiche comunitarie" e le competenze europee in campo ambientale sono ulteriormente ampliate; fino a diventare, con il trattato di Amsterdam del 1997 uno degli obiettivi prioritari dell'UE. Il compito dell'UE si limita all'emanazione delle direttive. All'interno delle direttive sono specificati quali sono gli obiettivi da raggiungere ed entro quanto tempo occorra farlo. Spetta poi alle varie legislazioni



nazionali elaborare la metodologia ed i mezzi da utilizzare con l'UE che lascia totale autonomia poiché le condizioni socio-economiche, ma anche ambientali e climatiche, possono variare di Stato in Stato in maniera significativa. Di solito i termini per raggiungere gli obiettivi prefissati possono variare da un minimo di sei mesi ad un massimo di due anni.

Di seguito sono riportate le direttive più importanti emanate negli anni:

- Direttiva 2001/77/CE [7], che andava a promuovere un maggior contributo delle fonti energetiche rinnovabili alla produzione di elettricità nel relativo mercato in-terno e pone le basi per il futuro quadro comunitario in materia.
- Direttiva 2002/91/CE [8]: promuove un maggiore contributo delle fonti energetiche rinnovabili alla produzione di elettricità nel relativo mercato interno e pone le basi per un futuro quadro comunitario in materia.
- Direttiva 2002/91/CE: promuove il miglioramento del rendimento energetico degli edifici nella comunità, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni per quanto riguarda il clima degli ambienti in-terni e l'efficacia sotto il profilo dei costi.
- Direttiva 2004/8/CE [9] l'intento è di accrescere l'efficienza energetica e migliorare la sicurezza dell'approvvigionamento creando un quadro per la promozione e lo sviluppo della cogenerazione ad alto rendimento di calore ed energia, basata sulla domanda di calore utile e sul risparmio di energia primaria, nel mercato in-terno, tenendo conto delle specifiche situazioni nazionali, in particolare riguardo alle condizioni climatiche ed economiche.
- Direttiva 2006/32/CE [10]: fornisce un nuovo quadro per l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici, indicando un obiettivo medio di risparmio energetico da conseguire a livello nazionale per ciascun Paese entro il 2015 (9%); viene redatto un elenco di misure che consentono il miglioramento dell'efficienza energetica negli usi finali. Tale direttiva abrogata la 93/76/CEE del Consiglio.
- Decisione 2007/74/CE [11]: stabilisce valori di rendimento di riferimento armonizzati per la produzione separata di elettricità e di calore (in applicazione della 2004/8/CE)
- Direttiva 2008/1/CE [12]: promuove la prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento. Essa prevede misure intese a evitare oppure, qualora non sia possibile, a ridurre le emissioni delle suddette tre attività nell'aria, nell'acqua e nel suolo, comprese le misure relative ai rifiuti, per conseguire un livello elevato di protezione dell'ambiente nel suo complesso.
- Direttiva 2009/28/CE [13]: promuove l'uso dell'energia da fonti rinnovabili, reca modifiche e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE [2] e 2003/30/CE.
- Direttiva 2009/31/CE [14]: relativa allo stoccaggio geologico di biossido di carbonio e recante modifica della direttiva 85/337/CEE del Consiglio, delle direttive del Parlamento europeo e del Consiglio 2000/60/CE, 2001/80/CE, 2004/35/CE, 2006/12/CE, 2008/1/CE e del regolamento (CE) n. 1013/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio.
- Decisione n. 406/2009/ CE [15]: stabilire il contributo minimo degli Stati membri all'adempimento dell'impegno assunto dalla Comunità di ridurre, per il periodo dal 2013 al 2020, le emissioni di gas a effetto serra disciplinare dalla presente decisione, né norme per la realizzazione di tali contributi e per la valutazione del rispetto di questo impegno e stabilisce disposizioni per la valutazione e l'attuazione di un impegno più rigoroso della Comunità in materia di riduzioni, superiore al 20%, da applicare previa approvazione da parte della Comunità di un accordo internazionale che conduca a riduzioni delle emissioni superiori a quelle previste all'articolo 3, come risulta dall'impegno di



riduzione del 30% approvato dal consiglio europeo del marzo 2007.

- Direttiva 2009/72/CE [16]: stabilisce norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica e abroga la direttiva 2003/54/CE.

- Direttiva 2009/73/CE [17]: stabilisce norme comuni per il mercato interno del gas naturale e che abroga la direttiva 2003/55/CE.

- Direttiva 2010/30 UE [18]: istituisce "un quadro" per l'armonizzazione delle misure nazionali sull'informazione degli utilizzatori finali, realizzate in particolare mediante etichettature e informazioni uniformi sul prodotto, sul consumo di energia e, se del caso, di altre risorse essenziali durante l'uso d'informazioni complementari per i prodotti connessi all'energia, in modo che gli utilizzatori finali possano scegliere prodotti più efficienti; si applica ai prodotti che hanno un notevole impatto diretto o indiretto sul consumo di energia.

- Direttiva 2010/31/UE [19]: promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici all'interno dell'Unione, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi.

- Direttiva 2012/27/UE [20]: che stabilisce un quadro comune di misure per la promozione dell'efficienza energetica nell'Unione Europea al fine di garantire in con-seguimento dell'obiettivo principale dell'Unione relativo all'efficienza energetica del 20 % entro il 2020 e di gettare le basi per ulteriori miglioramenti dell'efficienza energetica al di là di tale data. Essa stabilisce norme atte a rimuovere gli ostacoli sul mercato dell'energia e a superare le carenze del mercato che frenano l'efficienza nella fornitura e nell'uso dell'energia e prevede la fissazione di obiettivi nazionali indicativi in materia di efficienza energetica per il 2020. Modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

- Direttiva sul rendimento energetico degli edifici (EPBD): L'EPBD prevede diversi requisiti, tra cui la necessità che gli edifici pubblici siano a energia quasi zero entro il 2019 e tutti i nuovi edifici entro il 2021. La direttiva EPBD impone inoltre agli Stati membri di fissare dei requisiti minimi di rendimento energetico per i nuovi edifici e per quelli oggetto di ristrutturazione, al fine di raggiungere livelli ottimali di costo.

- Direttiva sull'efficienza energetica (EED): L'EED contiene una serie di misure obbligatorie volte a offrire un risparmio energetico in tutti i settori e prescrive agli Stati membri di stabilire una strategia a lungo termine per la mobilitazione degli investimenti nella ristrutturazione di edifici residenziali e commerciali.

- Direttiva sulle energie rinnovabili (RED): La RED è un atto legislativo di guida sulla diffusione delle energie rinnovabili, sulle soluzioni per gli edifici e sulla loro integrazione nelle infrastrutture energetiche locali.

Nella Direttiva sul rendimento energetico nell'edilizia (EPBD), all'articolo 2, definisce il significato di NZEB: "Un edificio che ha una prestazione energetica molto alta. La quasi zero o molto bassa quantità di energia necessaria dovrebbe essere coperta in misura molto significativa da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze". La stessa direttiva stabilisce che "gli Stati membri entro il 31 dicembre 2020 dovranno assicurare che tutti i nuovi edifici siano a energia quasi zero, e che dopo il 31 Dicembre 2018 i nuovi edifici occupati e di



proprietà di autorità pubbliche siano a energia quasi pari a zero".

2.3 La legislazione nazionale italiana

La discussione sulla salvaguardia dell'ambiente causata dall'utilizzo delle fonti non rinnovabili e dalle loro emissioni dannose ha avuto inizio già negli anni '70, con l'emanazione delle prime leggi a seguito della prima grande crisi petrolifera. Infatti, la legge 373/76 [21] introduce dei requisiti minimi di isolamento termico, è da intendersi come una logica conseguenza agli effetti della crisi petrolifera degli anni Settanta più che un tentativo credibile di riduzione dei consumi. Negli anni seguenti si sono susseguite una serie di leggi sempre più sensibili al tema ambientale fino ad arrivare all'ultima, ovvero il D.lgs. 4 luglio 2014 n.102 la quale recepisce la direttiva 2012/27/CE [22] i punti salienti sono:

- stabilisce un quadro di misura per il miglioramento dell'efficienza energetica;
- si propone di rimuovere gli ostacoli all'efficienza negli usi finali dell'energia sul mercato;
- viene quantificato l'obiettivo nazionale di riduzione dei consumi energetici, fissato pari a 20 Mtep per usi finali entro il 2020, conteggiato a partire dal 2010;
- viene ripetuto il ruolo fondamentale della Pubblica Amministrazione nella riduzione dei consumi sia per quanto riguarda il potenziale risparmio energetico degli edifici di proprietà, sia per le attività che svolge la comunità civile;
- viene stabilito l'obbligo di conseguire la riqualificazione energetica dell'immobile della P.A. dal 2014 al 2020 pari almeno al 3% annuo della superficie coperta utile climatizzata o che realizzi un risparmio nello stesso periodo pari a 0.040 Mtep;
- viene stabilito che mediante il meccanismo dei certificati bianchi venga garantito un risparmio energetico di almeno il 60% dell'obiettivo di risparmio nazionale.

Inoltre in Italia sono presenti altre tre importanti normative:

- la Legge n. 90, 3 ago 2013 adotta la Direttiva EPBD 2010/31/UE [23] e introduce il concetto di edifici nZEB. Tuttavia, mancano ancora diversi decreti, tra cui il decreto che definisce la metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici (allegato 1 della direttiva 2010/31 / UE - EPBD)
- Il regolamento vigente, D.lgs. 311/06 [24], prescrive soglie per il consumo di riscaldamento e le caratteristiche termiche dell'involucro. Definisce l'Energetic Performance Index e i valori massimi di trasmittanza per costruire l'involucro a seconda delle zone climatiche e della superficie in rapporto al volume.
- Il piano italiano NREAP 2010 afferma che per i nuovi edifici e le ristrutturazioni importanti esistenti, il 50% del consumo di energia previsto per acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffreddamento deve essere coperto da fonti rinnovabili. Ci sarà un graduale aumento di



tale percentuale fino al 2017.

2.4 La normativa della Regione Marche

Il Piano Energetico Ambientale Regionale (PEAR 2020) è stato approvato dall'Assemblea Legislativa Regionale con Delibera Amministrativa n. 42 del 20 dicembre 2016 [25]. Il Piano Energetico Ambientale Regionale (PEAR) individua le linee di programmazione e d'indirizzo della politica energetica ambientale nel territorio regionale consentendo alla Regione Marche di rispettare:

- La normativa "Burden Sharing" (DM 15 marzo 2012 e DM 11 maggio 2015) [26].
- Normativa attuativa della Strategia Europea 20.20.20 in materia di clima ed energia e, in particolare, del D.lgs. 28/2011 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili [25].
- Rispettare la "condizionalità ex ante" per l'utilizzo dei fondi strutturali.
- Settore energia, così come stabilito dal POR Marche e dal Piano di Sviluppo Rurale (PSR) 2014-2020 [27].

2.5 Criteri ambientali minimi (CAM)

I criteri ambientali minimi (CAM) sono, secondo il Ministero dell'Ambiente per la tutela del territorio e del mare, "i requisiti ambientali definiti per le varie fasi del processo di acquisto, volti a individuare la soluzione progettuale, il prodotto o il servizio migliore sotto il profilo ambientale lungo il ciclo di vita, tenuto conto della disponibilità di mercato". I CAM sono stati introdotti per la prima volta con l'art. 18 della L. 221/2015 [28]. Questo documento è parte integrante del Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della pubblica amministrazione. I criteri ambientali minimi sono applicati in base alle categorie di forniture ed affidamenti individuate nel documento chiamato PAN GPP [29] e definite "prioritarie" in base alla maturità del settore di riferimento, al volume di spesa pubblica e alle potenzialità in termini di riduzione degli impatti ambientali. Inoltre, tiene conto di quanto contenuto nelle Comunicazioni su Consumo e produzione sostenibile (COM 397-2008) [30] e GPP (COM 400-2008) [31] adottate dal Consiglio Dei Ministri dell'Unione Europea. "Obiettivo Nazionale" del PAN-GPP e della Comunicazione COM 400-2008, era quello di raggiungere entro il 2015 la quota del 50% di appalti "verdi" sul totale degli appalti aggiudicati per le forniture di questa categoria di prodotti. Il PAN-GPP inoltre contribuisce in modo sostanziale al raggiungimento dell'obiettivo nazionale di risparmio energetico di cui all'art.3 del Decreto legislativo 4 Luglio 2014, n.102 [32]. Questi criteri si definiscono "minimi" in quanto, devono, tendenzialmente, permettere di dare un'indicazione omogenea agli operatori economici in modo da garantire, da un lato, un'adeguata risposta da parte del mercato alle richieste formulate dalla pubblica amministrazione e, dall'altro, di rispondere agli obiettivi ambientali che la Pubblica Amministrazione intende raggiungere tramite gli appalti pubblici. Pertanto, tenuto conto di quanto detto, le stazioni appaltanti che vogliono qualificare come



“verde” la propria gara d’appalto, ai sensi del PAN-GPP, devono recepire almeno le indicazioni contenute nelle sezioni specifiche tecniche, clausole contrattuali/condizioni di esecuzione, selezione dei candidati. I CAM vengono aggiornati periodicamente come per esempio con l’art. 34 recante i criteri di sostenibilità energetica e ambientale del D.lgs. 50/2016 Codice degli appalti (modificato dal D.lgs. 56/2017) [33], ne ha reso obbligatoria l’applicazione da parte di tutte le stazioni appaltanti. Questo obbligo consente di avviare una politica nazionale in materia di appalti pubblici verdi con l’obiettivo di ridurre gli impatti ambientali. Un modo per promuovere modelli di produzione e consumo più sostenibile. L’attuale normativa vigente è quindi quella dell’11/10/2017 per definire completamente le scelte progettuali effettuate nello specifico caso, il progetto deve comprendere la redazione di un capitolato speciale d’appalto per la realizzazione dell’opera e di una esaustiva relazione metodologica. A tal fine, la stazione appaltante può trovare utile selezionare i progetti sottoposti ad una fase di verifica valida per la successiva certificazione dell’edificio secondo uno dei protocolli di sostenibilità energetica ed ambientale degli edifici (rating systems) di livello nazionale o internazionale (alcuni esempi di tali protocolli sono: Breeam, Casaclima, Itaca, Leed, Well). Questi protocolli sono diversi tra loro e non contengono tutti i criteri presenti in questo documento. Quando li contengono, non richiedono sempre gli stessi livelli di qualità e prestazione presenti nel documento dei CAM. Perciò la stazione appaltante potrà usare tali protocolli per verificare la rispondenza ad un criterio solo se, per l’assegnazione della certificazione, sono compresi i requisiti di cui ai criteri inseriti nel presente documento di CAM con livelli di qualità e prestazioni uguali o superiori. Allo scopo di ridurre l’impatto ambientale dell’edificio/insediamento nella fase d’uso, molto importante in relazione alla durata di vita media dei manufatti, è opportuno che il progetto definisca anche i principali criteri e modalità per la gestione degli stessi, che dovranno essere rispettati dall’organizzazione che se ne farà carico. Il decreto del 2017 è in linea con le strategie di lotta contro l’inquinamento ambientale ed i cambiamenti climatici promosse a livello mondiale per promuovere la ricerca del minore impatto possibile sull’ambiente. Introduce importanti riferimenti al tema della sostenibilità in particolare focalizzandosi sul processo di selezione dei fornitori e rafforzando l’obbligo per le stazioni appaltanti di scegliere coloro che rispettano i criteri ambientali minimi. I CAM riportano delle indicazioni generali volte ad indirizzare l’ente verso una razionalizzazione dei consumi e degli acquisti e forniscono delle “considerazioni ambientali” collegate alle diverse fasi delle procedure di gara (oggetto dell’appalto, specifiche tecniche, caratteristiche tecniche premianti collegati alla modalità di aggiudicazione all’offerta economicamente più vantaggiosa, condizioni di esecuzione dell’appalto), volte a qualificare dal punto di vista ambientale sia le forniture che gli affidamenti lungo l’intero ciclo di vita del servizio/prodotto. L’applicazione dei CAM in modo sistematico ed omogeneo consente di diffondere le tecnologie ambientali ed i prodotti preferibili dal punto di vista ambientale. Questo comporta un effetto leva sul mercato, inducendo gli operatori economici meno virtuosi ad adeguarsi alle nuove richieste della pubblica amministrazione. Oltre alla valorizzazione



della qualità ambientale e al rispetto dei criteri sociali, l'applicazione dei criteri ambientali minimi risponde anche all'esigenza della pubblica amministrazione di razionalizzare i propri consumi, riducendone ove possibile la spesa.

2.5.1 Struttura del documento

La struttura del documento si articola nei punti seguenti del capitolo 2 (vengono tuttavia esplicitati solamente i punti riguardanti le specifiche tecniche per singoli edifici, utili per il nostro caso studio):

Selezione dei candidati: sistemi di gestione ambientale

Nel caso di appalto integrato o di sola esecuzione l'appaltatore deve dimostrare la propria capacità di applicare misure di gestione ambientale durante l'esecuzione del contratto in modo da arrecare il minore impatto possibile sull'ambiente, attraverso l'adozione di un sistema di gestione ambientale, conforme alle norme di gestione ambientale basate sulle pertinenti norme europee o internazionali e certificato da organismi riconosciuti.

Specifiche tecniche per gruppi di edifici

- 2.2.1 Territorio e ambiente: comprende regolamenti e restrizioni atti a garantire la conservazione degli habitat presenti nell'area d'intervento; indicazioni per la scelta di piante, tecniche di manutenzione del territorio e controlli, affinché possano perdurare gli effetti positivi conseguenti all'adozione dei criteri ambientali adottati in sede progettuale. Specifica le caratteristiche del progetto di nuovi edifici (o di riqualificazione di aree edificate esistenti) e la necessità di mantenere il profilo morfologico esistente.
- 2.2.2 Approvvigionamento energetico: chiarisce che il progetto di nuovi edifici deve prevedere un sistema di approvvigionamento energetico, sia elettrico che termico, in grado di coprire in parte o in toto il fabbisogno della struttura.
- 2.2.3 Riduzione dell'impatto sul microclima e dell'inquinamento atmosferico: fornisce indicazioni per la realizzazione di soluzioni che permettano di ridurre le emissioni in atmosfera e limitare gli effetti della radiazione solare.
- 2.2.4 Riduzione dell'impatto sul sistema idrografico superficiale e sotterraneo: elenca le prestazioni da garantire e gli interventi idonei a conseguirle.
- 2.2.5 Infrastruttura primaria: espone le caratteristiche necessarie da rispettare in termini di viabilità, raccolta e riuso delle acque meteoriche, irrigazione delle aree a verde pubblico, aree di raccolta e stoccaggio di materiali e rifiuti, impianto d'illuminazione pubblica e sottoservizi/canalizzazioni per infrastrutture tecnologiche.
- 2.2.6 Infrastrutture secondaria e mobilità sostenibile: descrive, in funzione delle dimensioni del progetto, i servizi che devono essere assicurati (scuole, edifici residenziali, sistemi di



collegamento e trasporto).

- 2.2.7 Rapporto sullo stato dell'ambiente: documento che deve essere prodotto dal progettista, nel caso di nuovi edifici o ristrutturazione di quelli esistenti, per una valutazione sullo stato dell'ambiente (chimico, fisico-biologico, vegetazionale compreso anche lo stato dell'ambiente fluviale se presente) completo dei dati di rilievo (anche fotografico) e del programma d'interventi di miglioramento ambientale del sito d'intervento. Questi ultimi sono obbligatori. Per dimostrare la conformità al criterio il progettista deve presentare il Rapporto sullo stato dell'ambiente in Comune.

Specifiche tecniche per singoli edifici

- 2.3.1 Diagnosi energetica: documento che deve essere redatto per progetti di ristrutturazione importante di primo livello e per progetti di ristrutturazione importante di secondo livello per edifici con superficie utile di pavimento uguale o superiore a duemilacinquecento metri quadrati. Tale documento (oltre all'APE ove richiesta dalle leggi vigenti) viene redatto per individuare la prestazione energetica dell'edificio e poter individuare eventuali azioni da intraprendere per la riduzione del fabbisogno energetico dell'edificio. Tale diagnosi dovrà includere la valutazione dei consumi effettivi dei singoli servizi energetici degli edifici oggetto d'intervento.
- 2.3.2 Prestazione energetica: definisce le prescrizioni e i requisiti minimi da rispettare, in termini di indice di prestazione energetica, capacità termica areica e classe energetica.
- 2.3.3 Approvvigionamento energetico: impone che tutti gli interventi di nuova costruzione e di ristrutturazione rilevante, garantiscano che il fabbisogno energetico complessivo dell'edificio sia soddisfatto da impianti a fonti rinnovabili o con sistemi alternativi con una produzione di energia all'interno del sito stesso.
- 2.3.4 Risparmio idrico: prevede regole di comportamento per la raccolta di acque piovane e specifiche apparecchiature da installare per garantire il rispetto di tale criterio.
- 2.3.5 Qualità ambientale interna: impone di considerare prescrizioni e norme in termini d'illuminazione naturale, areazione naturale e ventilazione meccanica controllata, dispositivi di protezione solare, inquinamento elettro-magnetico indoor, inquinamento indoor causato da emissioni di materiali, comfort acustico, comfort termo-igrometrico e presenza di radon.
- 2.3.6 Piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti: prevede la verifica dei livelli prestazionali (qualitativi e quantitativi) dell'edificio in riferimento alle prestazioni ambientali. Il piano di manutenzione generale deve prevedere un programma di monitoraggio e controllo della qualità dell'aria interna all'edificio.
- 2.3.7 Fine vita: definisce per gli interventi di nuova costruzione, demolizione e ricostruzione un piano per il disassemblaggio e demolizione selettiva dell'opera a fine vita che permetta il



riutilizzo o il riciclo dei materiali, componenti edilizi e degli elementi prefabbricati utilizzati.

Specifiche tecniche dei componenti edilizi

Vengono esposti i criteri di costruzione e uso di materiali per ridurre l'impatto ambientale sulle risorse naturali, favorire l'uso di materiali riciclati aumentando così il recupero dei rifiuti, con particolare riguardo ai rifiuti da demolizione e costruzione. Per soddisfare tale criterio il progettista deve fornire la documentazione tecnica necessaria e prescrivere che in fase di approvvigionamento l'appaltatore si accerti della rispondenza a tali criteri comuni tramite la documentazione indicata.

Specifiche tecniche comune a tutti i componenti edilizi

Vengono descritti criteri comuni tra i vari componenti in termini di: disassemblabilità, materia recuperata o riciclata, sostanze pericolose, criteri specifici per i componenti edilizi, calcestruzzi confezionati in cantiere e preconfezionati, elementi prefabbricati in calcestruzzo, laterizi, sostenibilità e legalità del legno, per ghisa ferro e acciaio, componenti in materie plastiche, murature in pietrame e miste, tramezzature e controsoffitti, isolanti termici ed acustici, pavimenti e rivestimenti, pitture e vernici, impianti di illuminazioni, impianti di riscaldamento e condizionamento ed infine impianti idrici-sanitari.

Specifiche tecniche del cantiere

Impone regole da rispettare in tutte le fasi del cantiere come la demolizione e la rimozione dei materiali, riguardo le prestazioni ambientali, fino al personale di cantiere ed ai rinterri.

Criteri di aggiudicazione (specifiche tecniche premianti)

Elenca una serie di condizioni e situazioni per le quali vengono attribuiti punteggi premianti al progetto in termini di: capacità tecnica dei progettisti, miglioramento prestazionale del progetto, sistema di monitoraggio dei consumi energetici, materie rinnovabili, distanza di approvvigionamento dei prodotti da costruzione e bilancio materico.

Condizioni di esecuzione (clausole contrattuali)

Comprende le clausole contrattuali riguardanti il progetto, clausole sociali, garanzie e specifiche indicazioni sull'uso di oli per veicoli e macchinari di cantiere. In particolare, sono stati approfonditi i temi relativi alle specifiche tecniche per i singoli edifici. Di seguito sono descritti in maniera più approfondita i criteri sopraelencati.



2.5.2 Diagnosi energetica

Per progetti di ristrutturazione importante di primo livello e per progetti di ristrutturazione importante di secondo livello di edifici con superficie utile di pavimento uguale o superiore a 2500 metri quadrati, deve essere condotta o acquisita (oltre all'APE ove richiesta dalle leggi vigenti) una diagnosi energetica per individuare la prestazione energetica dell'edificio e le azioni da intraprendere per la riduzione del fabbisogno energetico dell'edificio. Tale diagnosi dovrà includere la valutazione dei consumi effettivi dei singoli servizi energetici degli edifici oggetto di intervento ricavabili dalle bollette energetiche riferite ad almeno i tre anni precedenti o agli ultimi tre esercizi adeguatamente documentati. In caso di utilizzo dell'edificio da meno di tre anni o di indisponibilità di bollette dei tre anni precedenti o riferite agli ultimi tre esercizi, la diagnosi energetica può essere redatta sulla base di una stima dei consumi dalle bollette energetiche riferite all'ultimo anno (per il riscaldamento in base ai gradi giorno). Tali consumi devono essere normalizzati per tenere conto dell'andamento climatico dell'ultimo anno. In caso di inutilizzo della struttura per oltre 5 anni, la diagnosi energetica può essere redatta sulla base di una stima dei consumi.

2.5.3 Prestazione energetica

I progetti degli interventi di nuova costruzione, inclusi gli interventi di demolizione e ricostruzione e quelli di ampliamento di edifici esistenti che abbiano un volume lordo climatizzato superiore al 15% di quello esistente o comunque superiore a 500 m³, e degli interventi di ristrutturazione importante di primo livello, ferme restando le norme e i regolamenti più restrittivi (es. regolamenti urbanistici e edilizi comunali, etc.), devono garantire le seguenti prestazioni:

- il rispetto delle condizioni di cui all'allegato 1 par. 3.3 punto 2 lett. b) del decreto ministeriale 26 giugno 2015 [34] prevedendo, fin d'ora, l'applicazione degli indici che tale decreto prevede, per gli edifici pubblici, soltanto a partire dall'anno 2019.
- Adeguate condizioni di comfort termico negli ambienti interni, attraverso una progettazione che preveda una capacità termica areica interna periodica (Cip) riferita ad ogni singola struttura opaca dell'involucro esterno, calcolata secondo la UNI EN ISO 13786:2008 [35], di almeno 40 kJ/m²K oppure calcolando la temperatura operante estiva e lo scarto in valore assoluto valutato in accordo con la norma UNI EN 15251 [36].

I progetti degli interventi di ristrutturazione importante di secondo livello e di riqualificazione energetica riguardanti l'involucro edilizio devono rispettare i valori minimi di trasmittanza termica contenuti nelle tabelle 1-4 di cui all'appendice B del decreto ministeriale 26 giugno 2015 e s.m.i, relativamente all'anno 2019 per gli edifici pubblici. I valori di trasmittanza delle precedenti tabelle si considerano non comprensivi dell'effetto dei ponti termici. In caso d'interventi che prevedano



l'isolamento termico dall'interno o l'isolamento termico in intercapedine, indipendentemente dall'entità della superficie coinvolta, deve essere mantenuta la capacità termica areica interna periodica dell'involucro esterno precedente all'intervento o in alternativa va calcolata la temperatura operante estiva in accordo con la UNI 10375 [37] e lo scarto in valore assoluto valutato in accordo con la norma UNI EN 15251 rispetto a una temperatura di riferimento.

2.5.4 Approvvigionamento energetico

I progetti degli interventi di nuova costruzione e degli interventi di ristrutturazione rilevante, inclusi gli interventi di demolizione e ricostruzione, ferme restando le norme e i regolamenti più restrittivi (es. regolamenti urbanistici e edilizi comunali, etc.), devono garantire:

- Conformità a quanto previsto dal CAM "servizi energetici" di cui al DM 07 marzo 2012 (G.U. n.74 del 28 marzo 2012) [38] e s.m.i.

- Il fabbisogno energetico complessivo dell'edificio sia soddisfatto da impianti a fonti rinnovabili o con sistemi alternativi ad alta efficienza (cogenerazione o trigenerazione ad alto rendimento, pompe di calore centralizzate etc.) che producono energia all'interno del sito stesso dell'edificio per un valore pari ad un ulteriore 10% rispetto ai valori indicati dal decreto legislativo 28/2011, allegato 3 [39], secondo le scadenze temporali ivi previste.

2.5.5 Risparmio idrico

I progetti degli interventi di nuova costruzione ,inclusi gli interventi di demolizione e ricostruzione e degli interventi di ristrutturazione importante di primo livello, ferme restando le norme e i regolamenti più restrittivi (es. regolamenti urbanistici ed edilizi comunali, etc.), deve prevedere: la raccolta delle acque piovane per uso irriguo e/o per gli scarichi sanitari, attuata con impianti realizzati secondo la norma UNI/TS 11445 [40] «Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano - Progettazione, installazione e manutenzione» e la norma UNI EN 805 [41] «Approvvigionamento di acqua - Requisiti per sistemi e componenti all'esterno di edifici» o norme equivalenti. Nel caso di manutenzione/ristrutturazione di edifici tale criterio é applicato laddove sia tecnicamente possibile; l'impiego di sistemi di riduzione di flusso, di controllo di portata, di controllo della temperatura dell'acqua; l'impiego di apparecchi sanitari con cassette a doppio scarico aventi scarico completo di massimo 6 litri e scarico ridotto di massimo 3 litri. Per gli edifici non residenziali deve essere inoltre previsto un sistema di monitoraggio dei consumi idrici.

2.5.6 Qualità ambientale interna

I progetti degli interventi di nuova costruzione, inclusi gli interventi di demolizione e ricostruzione e



degli interventi di ristrutturazione importante di primo livello, ferme restando le norme e i regolamenti più restrittivi devono rispettare i seguenti requisiti: illuminazione naturale, areazione naturale e ventilazione meccanica controllata, dispositivi di protezione solare, inquinamento elettromagnetico indoor, emissioni dei materiali, comfort acustico, comfort termo-igrometrico, radon.

2.5.6.1 Illuminazione naturale

L'illuminazione naturale è un aspetto molto importante, il quale incide sul risparmio energetico dell'edificio e sul benessere psico-fisico dell'individuo. La norma afferma che nei locali regolarmente occupati deve essere garantito un fattore medio di luce diurna maggiore del 2% facendo salvo quanto previsto dalle norme vigenti su specifiche tipologie edilizie e facendo salvi gli interventi di ristrutturazione edilizia o restauro conservativo per i quali è prevista la conservazione dei caratteri tipologici e di prospetto degli edifici esistenti per effetto di norme di tutela dei beni architettonici (decreto legislativo 42/2004 [42]) o per effetto di specifiche indicazioni da parte delle Soprintendenze. Qualora l'orientamento del lotto e/o le preesistenze lo consentano le superfici illuminanti della zona giorno (soggiorni, sale da pranzo, cucine abitabili e simili) dovranno essere orientate a sud-est, sud o sud-ovest. Le vetrate con esposizione sud, sud-est e sud-ovest dovranno disporre di protezioni esterne progettate in modo da non bloccare l'accesso della radiazione solare diretta in inverno. Prevedere l'inserimento di dispositivi per il direccionamento della luce e/o per il controllo dell'abbagliamento in modo tale da impedire situazioni di elevato contrasto che possono ostacolare le attività.

2.5.6.2 Aerazione naturale e ventilazione meccanica controllata

Deve essere garantita l'aerazione naturale diretta in tutti i locali in cui sia prevista una possibile occupazione da parte di persone anche per intervalli temporali ridotti. È necessario garantire l'aerazione naturale diretta in tutti i locali abitabili, tramite superfici apribili in relazione alla superficie calpestabile del locale (almeno 1/8 della superficie del pavimento), con strategie allocative e dimensionali finalizzate a garantire una buona qualità dell'aria interna. Il numero di ricambi deve essere quello previsto dalle norme UNI10339 [43] e UNI13779 [44]. Per destinazioni d'uso diverse da quelle residenziali i valori dei ricambi d'aria dovranno essere ricavati dalla normativa tecnica UNI EN ISO 13779:2008. In caso di impianto di ventilazione meccanica (classe II, low polluting building, annex B.1) occorre fare riferimento alla norma UNI 15251:2008. I bagni secondari senza aperture dovranno essere dotati obbligatoriamente di sistemi di aerazione forzata, che garantiscano almeno 5 ricambi l'ora. Nella realizzazione di impianti di ventilazione a funzionamento meccanico controllato (VMC) si dovranno limitare la dispersione termica, il rumore, il consumo di energia, l'ingresso dall'esterno di agenti inquinanti (ad es. polveri, pollini, insetti etc.) e di aria calda nei mesi estivi. È auspicabile che tali impianti prevedano anche il recupero di calore



statico e/o la igroregolabilità dell'aria e/o un ciclo termodinamico a doppio flusso per il recupero dell'energia contenuta nell'aria estratta per trasferirla all'aria immessa (pre-trattamento per riscaldamento e raffrescamento dell'aria, già filtrata, da immettere negli ambienti).

2.5.6.3 Dispositivi di protezione solare

Al fine di controllare l'immissione nell'ambiente interno di radiazione solare diretta, le parti trasparenti esterne degli edifici sia verticali che inclinate, devono essere dotate di sistemi di schermatura e/o ombreggiamento fissi o mobili verso l'esterno e con esposizione da sud-sud est (SSE) a sud-sud ovest (SSO). Il soddisfacimento del requisito può essere raggiunto anche attraverso le sole e specifiche caratteristiche della componente vetrata (ad esempio i vetri selettivi e a controllo solare). Per i dispositivi di protezione solare di chiusure trasparenti dell'involucro edilizio è richiesta una prestazione di schermatura solare di classe 2 o superiore come definito dalla norma UNI EN 14501:2006 [45]. Il requisito va verificato dalle ore 10 alle ore 16 del 21 dicembre (ora solare) per il periodo invernale (solstizio invernale) e del 21 giugno per il periodo estivo (solstizio estivo). Il requisito non si applica alle superfici trasparenti dei sistemi di captazione solare (serre bioclimatiche, etc.), solo nel caso che siano apribili o che risultino non esposte alla radiazione solare diretta perché protetti, ad esempio, da ombre portate da parti dell'edificio o da altri edifici circostanti.

2.5.6.4 Inquinamento elettromagnetico indoor

Al fine di ridurre il più possibile l'esposizione indoor a campi magnetici a bassa frequenza (ELF) indotti da quadri elettrici, montanti, dorsali di conduttori etc., la progettazione degli impianti deve prevedere che: il quadro generale, i contatori e le colonne montanti siano collocati all'esterno e non in adiacenza a locali con permanenza prolungata di persone; la posa degli impianti elettrici sia effettuata secondo lo schema a «stella» o ad «albero» o a «lisca di pesce», mantenendo i conduttori di un circuito il più possibile vicini l'uno all'altro. Effettuare la posa razionale dei cavi elettrici in modo che i conduttori di ritorno siano affiancati alle fasi di andata e alla minima distanza possibile. Al fine di ridurre il più possibile l'esposizione indoor a campi magnetici ad alta frequenza (RF) dotare i locali di sistemi di trasferimento dati alternativi al wi-fi, es. la connessione via cavo o la tecnologia Powerline Communication (PLC).

2.5.6.5 Emissione dei materiali

Ogni materiale elencato di seguito deve rispettare i limiti di emissione esposti nella successiva tabella:

- pitture e vernici;
 - tessuti per pavimentazioni e rivestimenti;



- laminati per pavimenti e rivestimenti flessibili;
- pavimentazioni e rivestimenti in legno;
- altre pavimentazioni (diverse da piastrelle di ceramica e laterizi);
- adesivi e sigillanti;
- pannelli per rivestimenti interni (es. lastre in cartongesso).

Limite di emissione ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) a 28 giorni	
Benzene Tricloroetilene (trielina) di-2-etilesil-falato (DEHP) Dibutilfalato (DBP)	1 (per ogni sostanza)
COV totali (22)	1500
Formaldeide	<60
Acetaldeide	<300
Toluene	<450
Tetracloroetilene	<350
Xilene	<300
1,2,4-Trimetilbenzene	<1500
1,4-diclorobenzene	<90
Etilbenzene	<1000
2-Butossietanolo	<1500
Stirene	<350

Immagine n°4: emissioni materiali

2.5.6.6 Comfort acustico

I valori dei requisiti acustici passivi dell'edificio devono corrispondere a quelli della classe II ai sensi delle norme UNI 11367 [46] e UNI 11444 [47]. Di seguito è riportata la tabella corrispondente.

Descrittore	Classe II
Isolamento di facciata $D_{2m,nT,w}$ [dB]	≥ 40
Isolamento ai rumori tra unità immobiliari R'_w [dB]	≥ 53
Livello di rumori da calpestio L'_{nw} [dB]	≤ 58
Livello di rumore impianti continui L_{ic} [dBA]	≤ 28
Livello di rumore impianti discontinui L_{id} [dBA]	≤ 33

Immagine n°5: requisiti UNI 11367 e UNI11444 per classe II

Gli ospedali, le case di cura e le scuole devono soddisfare anche il livello "prestazione superiore" riportato nei prospetti A.1 e A.2 dell'Allegato 1 alla norma UNI 11367. Sono riportati di seguito i valori limiti di riferimento per i requisiti acustici di ospedali e scuole, appendice A.

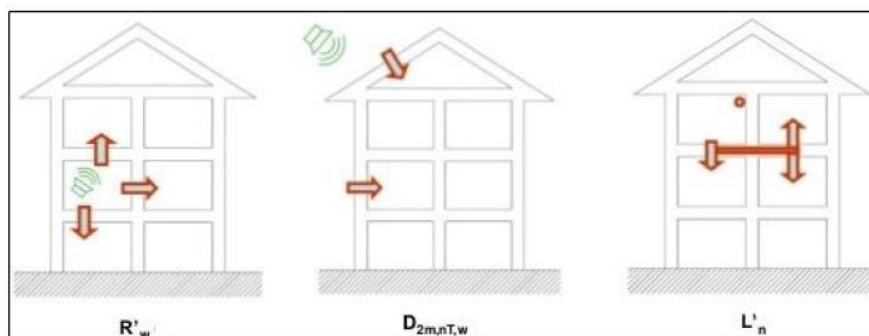
	Prestazione di base	Prestazione superiore
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di facciata, $D_{2m,nT,w}$ [dB]	38	43
Descrittore del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti di differenti unità immobiliari, R'_w [dB]	50	56
Descrittore del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti di differenti unità immobiliari, L'_{nw} [dB]	63	53
Livello sonoro corretto immesso da impianti a funzionamento continuo, L_{1c} in ambienti diversi da quelli di installazione [dB(A)]	32	28
Livello sonoro massimo corretto immesso da impianti a funzionamento discontinuo, L_{1d} in ambienti diversi da quelli di installazione [dB(A)]	39	34
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni fra ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare, $D_{nT,w}$ [dB]	50	55
Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato di partizioni i fra ambienti adiacenti della stessa unità immobiliare, $D_{nT,w}$ [dB]	45	50
Descrittore del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato fra ambienti sovrapposti della stessa unità immobiliare, L'_{nw} [dB]	63	53

Immagine n°6: requisiti richiesti appendice A per UNI 11367

I valori presi in considerazione in questa tabella sono:

- Potere fonoisolante apparente di partizioni verticali e orizzontali: R'_w
- Isolamento acustico normalizzato di facciata: $D_{2m,nT,w}$
- Livello di pressione sonora di calpestio normalizzato: L'_{nw}

Il loro significato può essere descritto da questa rappresentazione:



- Immagine n°7: significato parametri R'_w , $D_{2m,nT,w}$, L'_{nw}

Devono essere anche rispettati i valori caratterizzati come “prestazione buona” nel prospetto B.1 dell’Allegato B alla norma UNI 11367 ed essere idonei al raggiungimento dei valori indicati per i descrittori acustici riportati nella norma UNI 11532:2014 [48] (T minore o uguale a 0,7 s per aule scolastiche, ospedali e case di cura). Di seguito vengono riportati i valori per l’isolamento acustico normalizzato rispetto ad ambienti accessori di uso comune o collettivo dell’edificio collegati mediante accessi o aperture, appendice B.

Livello prestazionale	Descrittore dell'isolamento acustico normalizzato rispetto ad ambienti di uso comune o collettivo collegati mediante accessi o aperture ad ambienti abitativi $D_{nT,W}$ (dB)	
	Ospedali e scuole	Altre destinazioni d'uso
Prestazione ottima	≥ 34	≥ 40
Prestazione buona	≥ 30	≥ 36
Prestazione di base	≥ 27	≥ 32
Prestazione modesta	≥ 23	≥ 28

Immagine n°8: requisiti richiesti prospetto B per UNI 11367

Gli ambienti adibiti al parlato (aule scolastiche, ambienti espositivi, sale da conferenza, mense, ecc.) e gli ambienti adibiti ad attività sportive (palestre, piscine, ambienti per lo sport in genere) devono inoltre rispettare i valori contenuti nel prospetto C.1 dell'allegato C alla norma UNI 11367 ed essere idonei al raggiungimento dei valori indicati per i descrittori acustici riportati nella norma UNI 11532:2014 (T minore o uguale a 0,7 s per aule scolastiche, ambienti espositivi, sale da conferenza, mense, ospedali e T minore o uguale a 1,5 s per piscine e palestre). In quest'allegato si parla quindi di riverberazione. Fra i parametri acustici che hanno rilevanza per caratterizzare la qualità acustica degli ambienti, si considera quindi anche il tempo di riverberazione per alcuni tipi di ambienti. Il suo valore ottimale è definito in base alla loro destinazione d'uso e alle loro dimensioni. In particolare per aule scolastiche di volume inferiore ai 250 m³ la norma fornisce un valore ottimale del tempo di riverberazione (T ott) misurato ad aula vuota in presenza di arredi, espresso come valore medio delle bande di ottava a 500 Hz e 1000 Hz, compreso tra 0,5 e 0,8 sec. La riverberazione interna all'ambiente è importante anche per il controllo del rumore generato dagli occupanti. Può risultare che un'eccessiva riverberazione provochi condizioni critiche sia per l'insegnante, sia per gli alunni. Si può generare un brusio amplificato, il quale comporta una qualità acustica del parlato, da parte dell'insegnante, negativa. Situazione amplificata soprattutto nelle posizioni di ascolto più lontane. Per garantire una trasmissione efficace del suono, la riverberazione deve essere contenuta ed equilibrata alle diverse frequenze. Oltre a questo, la buona ricezione del segnale vocale necessita di riflessioni efficaci del suono, che mettano in risalto la voce diretta dell'insegnante rendendola più nitida e quindi più comprensibile. Tali riflessioni provengono dalle pareti laterali e dal soffitto e devono raggiungere tutte le posizioni di ascolto dopo il suono diretto. La mancanza di queste riflessioni, o il loro eccessivo ritardo, penalizza la trasmissione del segnale e in alcuni casi può essere causa di eco. Questo ovviamente peggiorerebbe le condizioni di comprensione della parola. L'apporto delle prime riflessioni e del riverbero alla ricezione del parlato viene qualificato tramite specifici indicatori acustici. Nello specifico, nella norma UNI 11367, Appendice C, sono espressi due indicatori per gli ambienti scolastici: il primo è l'"indice di chiarezza della parola", C50, definito dalla norma UNI 3382 – Parte 1 per il quale si richiede di rispettare un valore maggiore o uguale a 0 dB; il secondo è il "Speech

Transmission Index” (STI) o “indice di trasmissione del parlato”, definito dalla norma CEI EN 60268 – Parte 16 che deve risultare maggiore o uguale a 0,6. Tali valori di riferimento verranno descritti più approfonditamente nel capitolo 9. Sono forniti alcuni valori di riferimento.

	C ₅₀ (dB)	STI	T ₆₀
Ambienti adibiti al parlato	≥0	≥0,6	0,5<T ₆₀ <0,8

2.5.6.7 Comfort termo-igrometrico

Al fine di assicurare le condizioni ottimali di benessere termo-igrometrico e di qualità dell'aria interna bisogna garantire condizioni conformi almeno alla classe B secondo la norma ISO 7730:2005 [49] in termini di PMV (Voto medio previsto) e di PPD (Percentuale prevista d'insoddisfatti). Inoltre, bisogna garantire la conformità ai requisiti previsti nella norma UNI EN 13788 [50] ai sensi del decreto ministeriale 26 giugno 2015 [51] anche in riferimento a tutti i ponti termici sia per edifici nuovi che per edifici esistenti.

2.5.6.8 Radon

Nel caso che l'area di progetto sia caratterizzata da un rischio di esposizione al gas Radon secondo la mappatura regionale, devono essere adottate strategie progettuali e tecniche costruttive atte a controllare la migrazione di Radon negli ambienti confinati e deve essere previsto un sistema di misurazione e avviso automatico della concentrazione di Radon all'interno degli edifici. Il progettista deve verificare che i componenti utilizzati abbiano documentazione specifica in merito all'eventuale mitigazione di radon negli ambienti interni.

2.5.6.9 Piano di manutenzione dell'opera

Il progetto dell'edificio deve prevedere la verifica dei livelli prestazionali (qualitativi e quantitativi) in riferimento alle prestazioni ambientali di cui alle specifiche tecniche e ai criteri premianti. Il piano di manutenzione generale deve prevedere un programma di monitoraggio e controllo della qualità dell'aria interna all'edificio, tenendo conto che tale programma è chiaramente individuabile soltanto al momento dello start-up dell'impianto, con l'ausilio di personale qualificato professionalmente a questo fine.

2.6 Definizione di comfort

Si definisce comfort ambientale quella particolare condizione di benessere determinata, in funzione delle percezioni sensoriali di un individuo inserito in un ambiente, da temperatura, umidità dell'aria e livello di rumorosità e luminosità rilevati all'interno dell'ambiente. Da tale definizione si ha una distinzione tra benessere termo-igrometrico, acustico e luminoso. Mentre, il comfort ambientale si



definisce come il benessere psicofisico delle persone che vivono un ambiente (casa, ufficio) ed è una sensazione dipendente da determinate condizioni ambientali che sono in gran parte pianificabili. Questi sono tutti aspetti trattati nella progettazione di un green building. Il benessere termo-igrometrico è definito dall'American Society of Heating Ventilation and Air-conditioning Engineers (ASHRAE) come quel particolare stato della mente che esprime soddisfazione con l'ambiente circostante. Gli studi ed esperimenti condotti dal danese P. Ole Fanger, hanno messo in evidenza come in edifici residenziali con scadenti condizioni di comfort termo-igrometrico il rischio di malattie polmonari è molto alto. Gli studi condotti su edifici per uffici dimostrano che il discomfort termo-igrometrico crea un decisivo abbattimento del grado di attenzione e il conseguente rendimento. Secondo gli studi e le teorie di Fanger il benessere termo-igrometrico in un edificio si raggiunge a seconda delle relazioni che si instaurano tra le variabili soggettive e quelle ambientali. Più recenti studi sul comfort negli edifici mettono in evidenza che oltre alle suddette variabili la sensazione di comfort è strettamente connessa ad aspetti psicologici, culturali e sociali dell'individuo, è funzione del tempo e della capacità di adattamento dell'individuo rendendo quindi non semplice quantificare lo stato di benessere che dovrebbe almeno tenere conto del sesso, dell'età delle persone e del relativo stato di salute.

Variabili soggettive

Con riferimento al benessere termo-igrometrico, le variabili soggettive sono relative all'attività che l'individuo svolge all'interno dell'ambiente e al tipo di vestiario indossato. L'attività metabolica di un individuo trasforma l'energia chimica prodotta dall'assunzione del cibo in energia termica. La potenza metabolica viene riferita all'unità di superficie corporea W/m^2 e normalmente l'attività metabolica di un individuo è espressa in met. 1 met corrisponde a $58,2 W/m^2$. I valori met per diverse attività fisiche sono indicati nella norma UNI EN ISO 7730.

Variabili ambientali

Sono le quattro variabili che dipendono dalle condizioni climatiche esterne ed interne all'edificio e che influenzano il benessere termo-igrometrico:

- Temperatura dell'aria: si misura in $^{\circ}C$
- Umidità relativa dell'aria interna: indica il rapporto tra la quantità di vapore contenuto da una massa d'aria e la quantità massima che ne può contenere quella massa d'aria nelle stesse condizioni di temperatura e pressione. Si misura quindi in percentuale %.
- Temperatura media radiante: espressa in $^{\circ}C$, si calcola come media delle temperature delle pareti interne all'ambiente, compresi soffitto e pavimento.
- Velocità dell'aria: espressa in m/s

2.6.1 Indici del benessere termo-igrometrico



Si tratta di indici di livelli di comfort che nascono dalle relazioni tra il funzionamento del corpo umano e la sensazione di benessere termico. La norma UNI EN ISO 7730 li definisce come indici di FANGER e sono il PMV e il PPD.

- Il Predicted Mean Vote PMV, ovvero Voto Medio Previsto, è un indice di valutazione dello stato di benessere di un individuo e tiene conto delle variabili soggettive e ambientali.

Si tratta quindi di una funzione matematica che dà come risultato un valore numerico su una scala con range -3 (indice di sensazione di troppo freddo) a +3 (indice di sensazione di troppo caldo), dove lo zero rappresenta lo stato di benessere termico. Essendo un indice medio riferito ad un gruppo d'individui, il raggiungimento del PMV pari a zero non significa che l'intero gruppo ha raggiunto le condizioni di benessere. Viene definito sulla scala a 7 valori riportata nella tabella seguente.

Voto	Sensazione termica
3	Molto caldo
2	Caldo
1	Abbastanza caldo
0	Né caldo né freddo
-1	Abbastanza freddo
-2	Freddo
-3	Molto freddo

La norma UNI EN ISO 7730 per definire un ambiente in Classe A è necessario un PMV compreso tra $-0,2 < PMV < 0,2$. Per un ambiente in Classe B, un PMV tra $-0,5 < PMV < 0,5$ e per un ambiente in Classe C un PMV tra $-0,7 < PMV < +0,7$. Il PMV prevede il valore medio dei voti di sensazione termica espressi da un gran numero di persone esposte allo stesso ambiente; i voti individuali sono quindi dispersi intorno a questo valore medio. Per prevedere il numero di persone che hanno una sensazione non confortevole di caldo o di freddo è possibile calcolare la percentuale prevista di insoddisfatti (PPD).

- Il Percentage of Person Dissatisfied PPD, esprime la percentuale di persone insoddisfatte in un determinato ambiente.

La relazione che Fanger instaura tra il PMV e il PPD è così stretta che l'uno risulta calcolabile dall'altro e viceversa a partire dalla seguente relazione:



$$PPD = 100 - 95 \exp [-(0.03353 PMV^4 + 0.2179 PMV^2)]$$

Per PMV pari a zero ci sarà circa il 5% di soggetti insoddisfatti, i quali dichiareranno di sentire caldo o freddo. Tale fatto è ben conosciuto dai progettisti, che una volta realizzato un impianto, hanno a che fare con una percentuale di malcontento. Quindi il massimo ottenibile su base statistica è il soddisfacimento del 95% delle persone. La UNI EN ISO 7730 prescrive un PPD massimo del 10%, ai limiti dell'intervallo di benessere, con un PMV tra $-0,5 < PMV < 0,5$ che corrisponde alla Classe B. I CAM al paragrafo 2.3.5.7 "Comfort termo-igrometrico" indicano che "bisogna garantire condizioni conformi almeno alla classe B secondo la norma ISO 7730:2005 in termini di PMV (Voto Medio Previsto) e di PPD (Percentuale Prevista di Insoddisfatti)". Inoltre "bisogna garantire la conformità ai requisiti previsti nell'UNI EN 13788 ai sensi del DM 26 giugno 2015 anche in riferimento a tutti i ponti termici". Si può pertanto attribuire la scelta di 20°C come temperatura di comfort invernale e 25°C come temperatura di comfort estivo. Infatti, nel modello sono state impostate delle temperature in fase invernale tra i 19 ed i 22°C, mentre nella fase estiva tra i 24 ed i 26°C. Nel grafico successivo si mostra la dipendenza del PPD dal PMV.

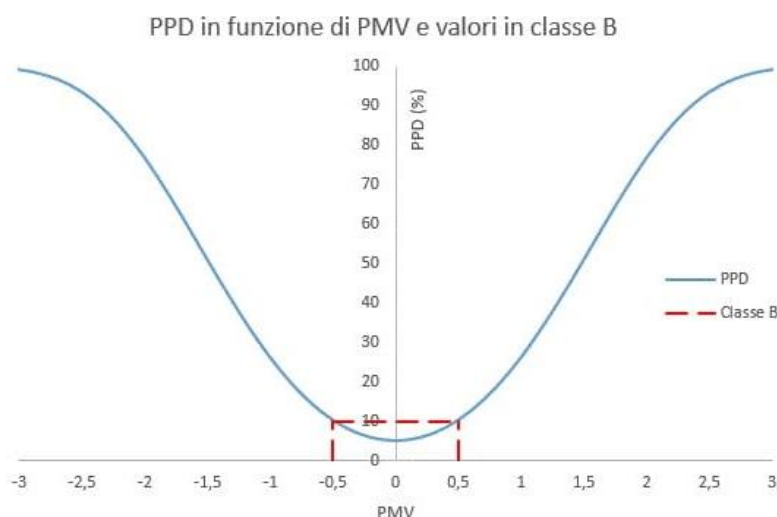


Immagine n°9: relazione PMV con PPD

Il PMV ed il PPD esprimono il confort termico per il corpo umano nel suo complesso. Tuttavia l'insoddisfazione termica può essere causata anche da un disagio termico di una parte del corpo. Nella UNI EN ISO 7730 sono indicati i seguenti discomfort locali possibili:

- 1) Corrente d'aria
- 2) Differenza verticale della temperatura dell'aria
- 3) Pavimenti caldi o freddi
- 4) Asimmetria radiante

La UNI EN ISO 7730 in appendice A aggrega il comfort globale con il confort locale ed estrapola le seguenti categorie di classificazione dell'ambiente in funzione di determinati valori di PPD, PMV e discomfort termico locale.

Categoria	Stato termico complessivo		Discomfort termico locale			
	PPD (%)	PMV	Corrente d'aria	Differenza temp. verticale	Pavimenti caldi o freddi	Asimmetria radiante
			DR (%)	PD (%)	PD (%)	PD (%)
Classe A	<6	-0,2 < PMV < +0,2	<10	<3	<10	<5
Classe B	<10	-0,5 < PMV < +0,5	<20	<5	<10	<5
Classe C	<15	-0,7 < PMV < +0,7	<30	<10	<15	<10

Foto n°10: classificazione ambiente

2.6.2 Indici di discomfort locali

1) Corrente d'aria

Il modello per la determinazione della percentuale d'insoddisfatti per correnti d'aria presente nella UNI EN ISO 7730 si applica a persone che svolgono attività leggera, soprattutto sedentaria con sensazione termica globale vicina alla neutralità. Il disagio per correnti d'aria è minore per attività a metabolismo energetico più alto della sedentarietà e per soggetti che avvertono una sensazione di caldo. Il disagio dipende dalla temperatura, dalla velocità media e dall'intensità. Questo modello prevede bene il rischio da corrente d'aria al collo, invece potrebbe sovrastimare la previsione di disagio per braccia e piedi. La UNI EN ISO 7730 propone per la Classe B una percentuale d'insoddisfatti minore del 20%.

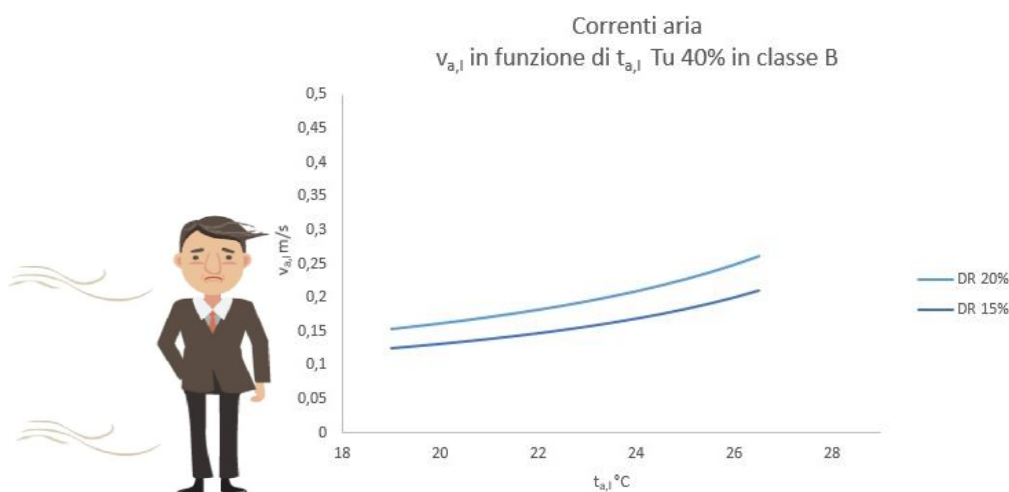


Immagine n°11: discomfort per corrente d'aria

Legenda grafico:

V_a = velocità dell'aria (m/s)

t_a = temperatura dell'aria (°C)

2) Discomfort per differenza verticale della temperatura dell'aria

Il modello per la determinazione della percentuale d'insoddisfatti per differenza verticale di temperatura dell'aria presente nella UNI EN ISO 7730 è valido per differenze di temperatura tra testa e piedi inferiori agli 8°C. All'aumentare della differenza di temperatura aumenta in maniera non lineare anche la percentuale d'insoddisfatti. La UNI EN ISO 7730 propone come limite un gradiente di 3°C/m (Classe B) che corrisponde ad una percentuale d'insoddisfatti minore del 5%.

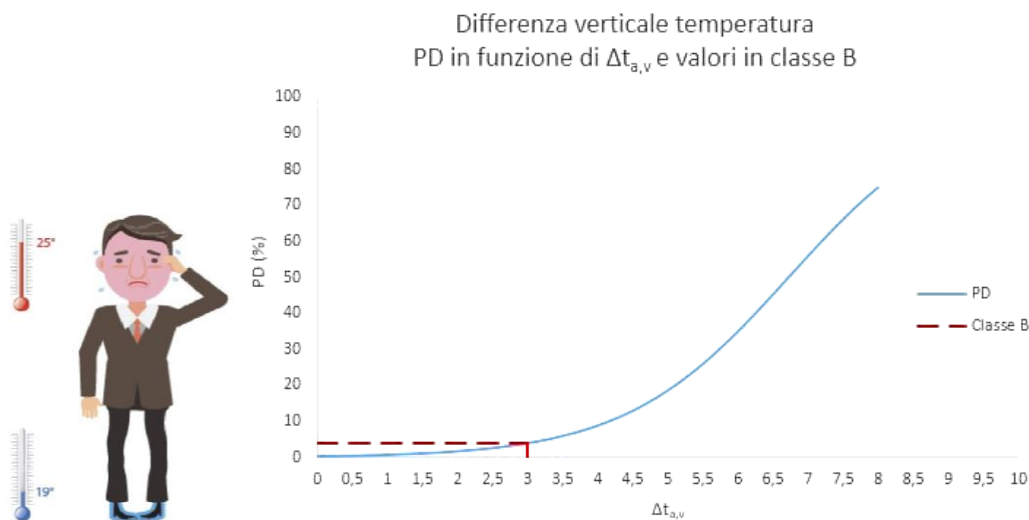


Immagine n°12: discomfort per differenza verticale della temperatura dell'aria

Legenda grafico:

PD= _Percentage of Person Dissatisfied (%)

Δt = differenza di temperatura dell'aria (°C)

3) Discomfort per pavimenti caldi o freddi

Questo disagio è causato dallo scambio termico tra corpo e pavimento attraverso i piedi. I fattori che lo influenzano sono la temperatura del pavimento, la conducibilità termica e la capacità termica del materiale da cui è rivestito il pavimento, il tipo di calzature indossate e il tempo trascorso. Il modello per la determinazione della percentuale di insoddisfatti per pavimenti caldi e freddi, presente nella UNI EN ISO 7730, è stato ricavato da studi su persone in piedi e/o in stato sedentario con calzature. In soggetti che indossano calzature e che si trovano in stato di neutralità termica, il benessere dipende principalmente dalla temperatura più che dal materiale di cui il pavimento è ricoperto. I limiti di temperatura proposti dalla UNI EN ISO 7730, in inverno, vanno tra 19°C e 29°C (Classe B) che corrispondono ad una percentuale d'insoddisfatti minore del 10%. Per la stagione estiva non esistono limiti.

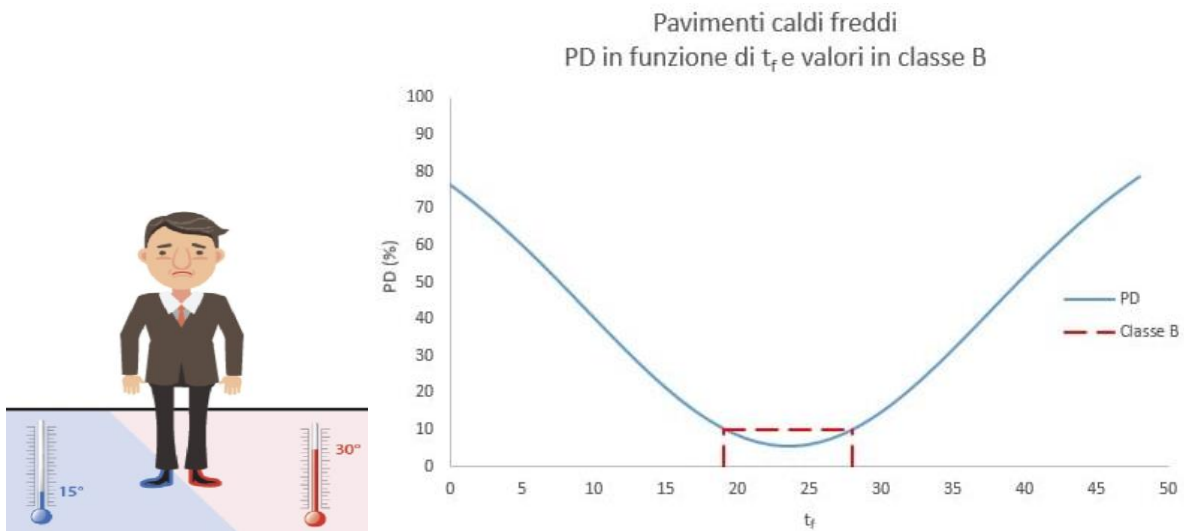


Immagine n°13: discomfort per pavimenti caldi o freddi

Legenda grafico:

PD= Percentage of Person Dissatisfied (%)

T_f = temperatura pavimento (°C)

4) Discomfort per asimmetria radiante

Il disagio per asimmetria radiante può derivare dalla presenza di superfici con temperatura differente da quella ambientale come ad esempio vetrate, pareti non isolate, macchinari, pannelli caldi o freddi su pareti o soffitto. La UNI EN ISO 7730 propone quattro modelli per coprire tutti i casi di discomfort da asimmetria radiante:

- Soffitto caldo, valido per temperatura radiante asimmetrica $<23^{\circ}\text{C}$
- Parete fredda, valido per temperatura radiante asimmetrica $<15^{\circ}\text{C}$
- Soffitto freddo, valido per temperatura radiante asimmetrica $<15^{\circ}\text{C}$
- Parete calda, valido per temperatura radiante asimmetrica $<35^{\circ}\text{C}$

Questi modelli dipendono esclusivamente dal valore della temperatura radiante asimmetrica che è definita come la differenza tra la temperatura radiante planare di due superfici opposte. La temperatura radiante planare è la temperatura proveniente dalla direzione perpendicolare alla superficie di misura. La UNI EN ISO 7730 propone per la Classe B una percentuale d'insoddisfatti minore del 5%.

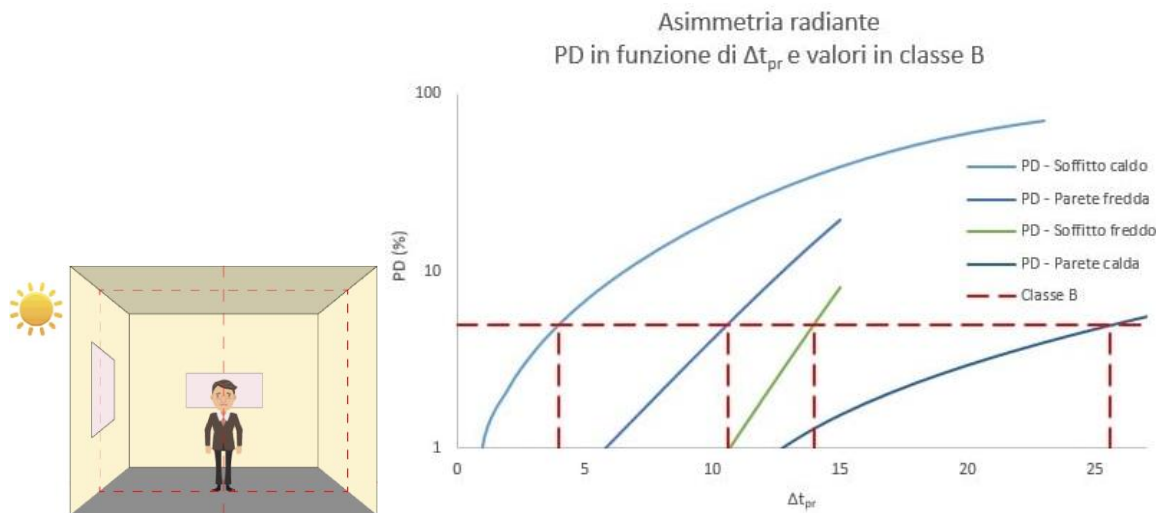


Immagine n°14: discomfort per asimmetria radiante

Legenda grafico:

PD= Percentage of Person Dissatisfied (%)

Δt_{pr} = differenza di temperatura (°C)

2.7 Scuole innovative

Per via del cambiamento climatico dobbiamo cercare di migliorare le prestazioni energetiche dei nostri edifici presenti sul territorio italiano. In particolare le scuole ne rappresentano una parte importante. Spesso ci troviamo di fronte ad edifici costruiti negli anni '60 o '70, con consumi elevatissimi a causa anche di materiali da costruzione con bassi standard energetici. Le scuole in particolar modo, dovrebbero essere prese come esempio per l'attenzione all'ambiente ed il risparmio energetico. Per questo motivo dovrebbero essere incentivati gli interventi di ristrutturazione e riqualificazione. Infatti, sono state emanate nuove linee guida dal MIUR per il rinnovo degli edifici scolastici. Le recenti normative hanno modificato significativamente l'approccio alla realizzazione di nuove scuole. In particolare è stata sviluppata una metodologia di costruzione sicuramente più all'avanguardia rispetto alle prime normative del 1975. Le nuove linee guida prevedono spazi modulabili alle esigenze di alunni e professori, un accesso garantito per le persone diversamente abili ed un approccio costruttivo che punti al risparmio energetico tutto nel rispetto di appropriate normative di sicurezza. I nuovi edifici scolastici dovranno prevedere, infatti, l'utilizzo di materiali che rispettino l'ambiente e metodologie per la produzione di energia elettrica come per esempio i pannelli solari.

2.7.1 Linee guida scuola innovative

Il documento di riferimento è "norme tecniche-quadro, contenenti gli indici minimi e massimi di funzionalità urbanistica, edilizia, anche con riferimento alle tecnologie in materia di efficienza e risparmio energetico e produzione da fonti energetiche rinnovabili, e didattica indispensabili a

garantire indirizzi progettuali di riferimento adeguati e omogenei sul territorio nazionale” [50]. La normativa si articola in sette macro-argomenti:

- 1) Gli spazi d'apprendimento e la loro modularità.
- 2) Gli aspetti urbanistici.
- 3) Gli spazi per le attività scolastiche.
- 4) Impianti tecnologici.
- 5) Materiali.
- 6) Sicurezza
- 7) Arredo

Nello specifico si va a vedere cosa dice la norma punto per punto.

- 1) Gli spazi d'apprendimento e la loro modularità:

1. Spazi d'apprendimento

Per molto tempo l'aula è stata vista come unico luogo fondamentale dell'istruzione scolastica. Tutti gli ulteriori spazi come i corridoi, i luoghi dedicati solo al transito degli studenti, o il laboratorio della scuola erano visti con minor importanza rispetto alla centralità dell'aula. Ogni spazio era pensato per un'unica attività e restava inutilizzato per tutto il resto del tempo. Oggi è emersa la necessità di vedere la scuola come un unico spazio integrato, nel quale tutti gli ambienti hanno la stessa importanza. L'ambiente scolastico deve essere in grado di accogliere in ogni momento persone offrendo caratteristiche di funzionalità, confort e benessere. La struttura scolastica presenta al suo interno alcuni punti di maggiore specializzazione, come i laboratori, alcuni di media specializzazione e maggiore flessibilità, come le classi e altri generici, cioè gli spazi connettivi che offrono diverse attività informali per piccoli gruppi. I momenti didattici che richiedono impostazioni differenti tra alunni-docente o alunni-alunni sono alla base di una diversa concezione di edificio scolastico. La quale deve essere in grado di garantire l'integrazione, la complementarità e l'interoperabilità tra i suoi spazi. Queste necessità hanno alla base un principio di autonomia di movimento per lo studente che solo uno spazio flessibile e polifunzionale può consentire. Questo modo di lavorare, valorizza le peculiarità e le diverse competenze di ciascuno. In questo particolare ambiente il docente non rimane sempre seduto ma si muove tra i vari tavoli offrendo il suo supporto. L'organizzazione dello spazio per l'apprendimento subisce sostanziali modifiche per via della necessità di un utilizzo diffuso delle tecnologie. La progettazione degli ambienti diventa una conseguenza della loro interoperabilità. La divisione dello spazio interno si basa su pareti mobili con un buon livello di isolamento acustico, oltre alla ottimizzazione della luce naturale. La struttura della scuola è pensata in modo da lasciare sempre una possibilità di variazione dello spazio a seconda dell'attività desiderata. Diventa fondamentale la flessibilità degli arredi e la polifunzionalità degli ambienti, la quale permette di aumentare il loro tempo di utilizzo. Poter



riconvertire un ambiente garantisce lo sfruttamento a pieno di quello spazio senza limiti di tempo. D'altra parte l'eliminazione degli spazi inutilizzati in favore di spazi sempre abitabili dalla comunità scolastica, permette di aumentare la vivibilità della scuola.

1.1 L'aula

L'aula moderna è uno spazio pensato per interventi frontali del docente e visto come un momento di apprendimento centrato sullo studente. In aula vengono introdotti nuovi temi e fornite indicazioni per le attività da svolgere. All'interno di questo spazio il ruolo del docente si fa più diretto ed importante, si pongono le basi per un percorso didattico complessivo.

1.2 Lo spazio di gruppo

L'organizzazione in gruppi di lavoro è una strategia didattica molto diffusa, in questo modo lo studente viene coinvolto in maniera attiva nel processo di apprendimento. In questo caso l'insegnante assume il ruolo di organizzatore delle attività, cercando di creare un ambiente di apprendimento utile a favorire la partecipazione ed il contributo di ogni studente in tutte le fasi del lavoro. Dovranno dunque essere pensati spazi opportuni per i lavori di gruppo, con arredi flessibili in modo tale da consentire configurazioni differenti che siano coerenti con l'alternanza delle fasi didattiche. Un ambiente di questa natura deve essere in grado di essere sufficientemente flessibile da consentire lo svolgimento di diverse attività in tempi differenti ma all'interno dello stesso spazio.

1.3 Lo spazio laboratoriale

Il laboratorio viene denominato "atelier", esso viene visto come lo "spazio del fare". Viene richiesto un ambiente nel quale lo studente possa muoversi in completa autonomia dove possa osservare, esplorare e produrre artefatti in maniera autonoma in completa sicurezza. In quest'ottica, lo spazio fisico diventa attrezzabile per accogliere strumenti e risorse per una migliore esperienza formativa. Lo spazio laboratoriale deve poter accogliere attività di diverso genere che spaziano da un lavoro di raccolte di dati o informazioni fino ad analisi attraverso attrezzature tecnologiche specifiche.

1.4 Lo spazio individuale

Lo studente ha bisogno di uno spazio individuale per lo studio, la lettura e la pianificazione delle proprie attività. Questo spazio risponderà alle esigenze dello studente, sarà separato dall'aula e garantirà l'accesso a informazioni mediante la possibilità di utilizzare strumenti tecnologici connessi alla rete. Questo è il luogo idoneo allo svolgimento di attività come lo studio individuale, attività in autoapprendimento (esercitazioni individuali, simulazioni...), ricerche, dialogo e confronto con il docente.

1.5 Lo spazio informale e di relax

Spazi che supportino l'apprendimento informale e il relax sono luoghi nei quali gli studenti possono



distaccarsi dalle attività didattiche strutturate e possano trovare occasioni per interagire con altre persone per rilassarsi. Lo spazio deve garantire un certo grado di privacy, definito da una serie di elementi fisici e non. Gli studenti devono godere di un adeguato comfort fisico dato da arredi e sedute comode con condizioni termo-igrometriche adeguate. Le attività che possono essere svolte in quest'area spaziano dall'accesso a libri, video e siti web, alla possibilità di eseguire giochi di gruppo fino a piccoli lavori manuali.

2) Gli aspetti urbanistici:

2.1 Localizzazione e qualità ambientale dell'area

In generale le aree scolastiche devono essere scelte in modo da diventare elementi di connessione nel tessuto urbano circostante. Devono essere individuate in zone salubri, poco rumorose e lontane da strade importanti. Il plesso scolastico può essere anche costituito da edifici situati in aree tra loro vicine ma non adianti, a condizione che siano ad una distanza ragionevole. In particolare devono essere ad un tempo di percorrenza l'uno con l'altro massimo di 4-5 minuti o essere distanti 250-300 metri. Il livello di inquinamento acustico dovrà essere valutato anche nelle aree esterne, secondo la normativa in vigore, ai sensi dell'art. 8 della legge 26 ottobre 1995, n. 447 [52]. Infatti, si dovrà tenere conto della qualità dei sistemi di attenuazione sonora eventualmente necessari e della loro capacità d'integrazione con l'ambiente circostante.

2.2 Accessibilità, parcheggi e depositi

Le scuole devono essere ben collegate con mezzi pubblici e l'accesso deve essere garantito sia dalla rete viaria che da piste ciclabili e percorsi pedonali sicuri. Dovranno essere previsti spazi di sosta per i mezzi di trasporto scolastico, in particolare la salita e la discesa dei bambini dovranno avvenire in uno spazio sicuro di adeguate dimensioni. Dovrà essere prevista una zona di carico e scarico per una sosta di 10-15 minuti per almeno 1/4 dei posti auto previsti. I posti auto necessari ad uso esclusivo del plesso scolastico sono definiti in funzione della superficie lorda dell'edificio, attribuendo 1 mq di superficie di parcheggio ogni 5 mq di superficie lorda edificata. Mentre il numero di posti auto, si ottiene dividendo la superficie destinata al parcheggio per 25 mq. Devono essere previsti posti auto riservati a persone diversamente abili con un numero pari o superiore ad 1 ogni 40 posti auto. Il numero dei posti auto deve essere corretto con opportuni parametri in funzione delle caratteristiche specifiche dei luoghi e della loro morfologia. Nell'area del plesso scolastico, devono essere previsti spazi coperti per il deposito di biciclette e ciclomotori.

3) Gli aspetti per le attività scolastiche:

La concezione della nuova scuola viene vista come un tessuto ambientale per l'apprendimento, questo implica una naturale fluidificazione degli spazi. Le qualità d'uso di una scuola vengono attribuite anche alle prestazioni di tipo acustico, di climatizzazione, luminoso e cromatico. Per



maggior chiarezza si decide di esporre i requisiti degli spazi dividendoli comunque in categorie.

1. Atrio
2. Spogliatoi e servizi igienici
3. Segreteria e Amministrazione, ambienti insegnanti, personale
4. Pazza-Agorà
5. Cucina e mensa
6. Sezione-spazio base (home base)
7. Atelier-laboratori e laboratori specialistici
8. Spazi di apprendimento informale
9. Spazi aggiuntivi
10. Impianti sportivi
11. Spazi a cielo aperto
12. Magazzini e archivi

4) Impianti tecnologici:

4.1. Flessibilità impiantistica

Il comfort ambientale è fondamentale, soprattutto in una scuola che prevede ambienti con pareti apribili, una densità di frequentazione che possa variare in modo sensibile ed una destinazione d'uso dei luoghi variabile. La flessibilità impiantistica risponde a due esigenze: una spaziale ed una che riguarda gli utenti. La prima viene innescata dal cambio di conformazione degli ambienti e dall'uso diversificato dei luoghi scolastici. Infatti, può accadere di accendere luci, riscaldare, raffrescare e attivare la sicurezza solo in una parte dell'edificio o in una sola stanza. La seconda invece riguarda la flessibilità impiantistica in funzione del numero di persone presenti. Infatti, è diverso climatizzare un ambiente frequentato da molti adulti rispetto alla presenza di pochi bambini. Gli impianti devono essere quindi impostati con la possibilità di spegnerli e accenderli a settori e regolarli separatamente.

4.2 Aspetti legati al modello educativo

Si elencano brevemente gli impianti, ponendo in evidenza aspetti legati al modello educativo.

4.2.1 Impianto elettrico-distribuzione principale e secondaria, FM e dati

L'impianto di distribuzione deve prevedere la possibilità di modificare il tipo di servizio fornito nei terminali, cioè le 'prese'. Utilizzare RJ45 o un'altra tecnica che consenta di definire a fine lavori se una presa fornisce dati o energia, favorisce la personalizzazione degli spazi e la loro capacità di adeguarsi ai cambi di uso.



4.2.2 Impianto elettrico-corpi illuminanti

Il progetto delle luci deve considerare tre elementi: la quantità di luce, la qualità della luce e la distribuzione dei corpi illuminanti. La combinazione di questi tre elementi deve generare un ambiente con un'illuminazione di base e corpi illuminanti che consentano la variazione delle condizioni di luce a seconda delle attività. La regolazione delle luci, la qualità della resa cromatica ed il controllo della temperatura, sono componenti fondamentali del progetto impiantistico-luminoso per un plesso scolastico. Per limitare i consumi e contenere i costi di gestione si possono utilizzare sorgenti luminose a basso consumo, sistemi di controllo della luminosità dei locali e sensori di presenza persone.

4.2.3 Impianto tecnologico-ventilazione e aria primaria

La qualità dell'aria primaria è una condizione di uso dello spazio. Mentre non sembra essere indispensabile nei nidi e nelle scuole dell'Infanzia, dove la dimensione dell'edificio, il tipo di uso e altri aspetti legati all'età dei bambini consigliano di usare sistemi di ventilazione naturali. Nelle scuole di ordine superiori deve essere una risorsa, uno strumento progettuale che faciliti l'organizzazione degli spazi ma non un requisito obbligatorio. La ventilazione in certi edifici, concepiti secondo criteri di sostenibilità, in determinate condizioni climatiche od orografiche, può essere anche naturale. Si tratta di verificare la qualità dell'aerazione e non la obbligatorietà del ricambio di aria primaria.

4.2.4 Impianto tecnologico-climatizzazione

La qualità del riscaldamento e del raffrescamento è un importante requisito ambientale. La necessità di prevederli entrambi dipende soprattutto dalle condizioni climatiche e dalle caratteristiche dell'involucro edilizio. Le differenti tecnologie con le quali progettare, vanno scelte in funzione della possibilità di regolazione della climatizzazione negli spazi a seconda della loro esposizione, orientamento, destinazione d'uso e capienza.

4.2.5 Impianto idrico

Si pone in risalto il valore pedagogico del riciclo delle acque piovane, sia per uso sanitario che irriguo, con la possibilità di renderne visibile e percepibile il recupero. Una perfetta ottimizzazione di questa risorsa sarebbe l'integrazione dell'impianto idrico e di gestione delle acque con le esigenze del territorio (dispersione in falda, uso dei pozzi, utilizzo di vasche di raccolta, di laminazione).

4.2.6 Generazione dell'energia

Negli edifici di nuova costruzione risiede l'obbligo dell'utilizzo di fonti rinnovabili a copertura di una quota del fabbisogno di energia termica ed elettrica. Geotermia, energia eolica, cogenerazione,



celle fotovoltaiche, teleriscaldamento e ogni forma di generazione dell'energia responsabile sono fattori positivi e pedagogici.

4.2.7 Dati e connessione

Elemento fondamentale di un nuovo sistema educativo è l'accessibilità alle informazioni, alle banche dati e la possibilità di elaborarle. Questo implica l'importanza di impostare una buona connessione dell'edificio alle reti dati e una buona accessibilità alle reti all'interno degli spazi. Di conseguenza la necessità di dotare l'edificio di ottima connessione alla rete sia via cavo che attraverso una Wi-Fi diffusa in tutti gli ambienti, oltre che molte prese elettriche per l'alimentazione delle dotazioni hardware.

4.3 Gestione impianti

4.3.1 Manutenzione

Sono da sottolineare due tipi di manutenzione impiantistica: la prima riguarda la gestione delle prestazioni telematiche, via remoto, un controllo dei problemi e delle riparazioni in tele-gestione (regolazione della temperatura, dell'umidità, dei parametri ambientali in generale e monitoraggio del funzionamento via rete). In questo caso la domotica guida le prestazioni impiantistiche dell'edificio. La seconda riguarda la manutenzione pratica e fisica dei componenti. Un'esigenza che si traduce in accessibilità delle reti impiantistiche e che ne faciliti la loro manutenzione nel tempo.

4.3.2 Monitoraggio

La domotica e i sistemi di contabilizzazione dei consumi consentono di monitorare il comportamento energetico dell'edificio, il funzionamento impiantistico, di gestire il controllo delle spese e di ripartirlo secondo necessità.

5) Materiali:

5.1 Materiali di finitura

La scelta dei materiali è fondamentale per definire la qualità di costruzione di un edificio. I bambini più piccoli, nella scuola d'infanzia, hanno processi cognitivi nei quali un senso attiva gli altri sensi. Per questo motivo hanno un approccio alla conoscenza che utilizza tutti e cinque i sensi. Il paesaggio materico, cromatico, luminoso deve caratterizzarsi per una marcata complessità e varietà. Si ritiene comunque importante mantenere un buon livello di qualità sensoriale nel progetto, allontanandosi dal paesaggio 'anemico' dal punto di vista sensoriale che caratterizza le scuole italiane.



5.2 Materiali da costruzione

La qualità dei materiali da costruzione generano un secondo livello di qualità delle prestazioni ambientali di un edificio scolastico, sia a livello delle singole prestazioni ma anche in base a come vengono miscelati, utilizzati e valorizzati. I materiali di una scuola devono avere una durata appropriata, devono essere protetti dalle intemperie o dall'uso se la durata può essere critica, devono avere una manutenzione facile, devono avere un costo adeguato all'investimento, non devono rilasciare sostanze tossiche, devono privilegiare una provenienza locale a favore della sostenibilità e della reperibilità futura, devono consentire assemblaggi e montaggi sostenibili, favorire un comportamento di contenimento energetico dell'edificio e rispondere ai requisiti prestazionali previsti dall'art. 3, comma 1, lettera e) della legge 26 ottobre 1995, n. 447/55

5.2 Gestione del tempo

I materiali scelti devono avere chiare procedure di manutenzione. Se il materiale utilizzato è innovativo o insolito, deve essere accompagnato dalle istruzioni di pulizia e manutenzione nel tempo: la sua vita non finisce a progetto completato e collaudato, ma inizia insieme all'uso. Sono inoltre da valutare le capacità d'invecchiamento dei materiali, sia a livello di permanenza della prestazione (di isolamento, di impermeabilizzazione...) che di prestazione estetica. Alcuni materiali invecchiano lentamente rimanendo quasi invariati (come il vetro, l'acciaio inox), altri invece che invecchiare si rovinano (come alcune plastiche). Non si tratta di scegliere materiali che non invecchiano mai, ma di considerare il passare del tempo come un elemento della scelta progettuale. Negli edifici di maggiori dimensioni saranno da prevedere piccoli laboratori per la piccola manutenzione e la conservazione dei materiali di ricambio.

6) Sicurezza

Lo spazio dei parcheggi ed i percorsi di accesso dovranno essere facilmente accessibili alle persone diversamente abili, nel rispetto della normativa esistente. Ogni parte dell'edificio scolastico sarà dotata ad ogni piano di servizio igienico a norma per disabili. Gli edifici dovranno rigorosamente rispettare la vigente normativa antisismica. La sicurezza dai rischi elettrici sarà affidata a differenziali ed alla suddivisione degli impianti. Le cucine saranno preferibilmente alimentate con energia elettrica e questo rappresenterà una sicurezza intrinseca per l'edificio rispetto ad un utilizzo di gas. I pavimenti delle zone che possono essere facilmente bagnate, come i servizi igienici, le cucine e le pavimentazioni esterne, dovranno essere realizzati con materiali aventi prestazioni antiscivolo appropriate e certificati. Per i parapetti si consiglia di mantenere una altezza superiore a quella minima di legge, ed è consigliabile utilizzare quote di cm 115-120. Gli infissi dovranno rispondere alla recente normativa europea ed essere realizzati con vetri antisfondamento sia all'interno che all'esterno dell'infisso, di classe 2B2, come prescritto dalla direttiva UNI EN 12600 [53], e di classe 1B1 per le superfici finestrate ad altezza parapetto fino a



cm 90 da terra. I progetti dovranno rispettare i criteri di sicurezza previsti dalla normativa vigente per quanto riguarda la resistenza al fuoco delle strutture, il dimensionamento delle vie di fuga, delle scale, delle zone sicure, rispettando la resistenza al fuoco prevista nella norma citata dei materiali, con particolare attenzione ad escludere quei materiali che bruciando producono fumi tossici. Gli edifici di un adeguato piano di sicurezza per la gestione delle emergenze.

7) Arredi

Gli arredi giocano un ruolo fondamentale in un'architettura flessibile e modificabile secondo le esigenze. Gli arredi sono l'interfaccia di uso tra gli utenti e lo spazio: hanno il compito di dare concretezza alle possibilità, di innescare le relazioni. In particolare i tavoli sostituiscono i banchi: consentono di lavorare a piccoli gruppi, fare ricerca, ma anche di guardare tutti insieme la lavagna o una proiezione. I modi di sedersi sono vari: dal tavolo, su sedie con tavolino, ad elementi morbidi o informali. Si prevede la moltiplicazione dei supporti di comunicazione (smartboard, lavagna tradizionale, tablet, pannelli con possibilità di riposizionare i materiali, boards, ecc..). Inoltre è prevista la smaterializzazione della cattedra, la quale viene sostituita da una serie di luoghi dove l'insegnante può usare gli strumenti, sedersi e depositare il materiale. Gli arredi consentono di creare spazi di gruppo, spazi laboratoriali, spazi individuali, spazi informali e di relax con componenti di reversibilità: valorizzano la capacità evolutiva della scuola e contribuiscono in modo determinante non solo al funzionamento ma anche alla definizione della sua identità estetica.

2.7.2 Efficienza energetica nelle scuole

Il 21 Aprile 2016 è stata presentata a Roma la "Guida sull'efficienza energetica negli edifici scolastici" [54]. La Guida è stata realizzata da ENEA in collaborazione con la Struttura di Missione per l'Edilizia Scolastica della Presidenza del Consiglio dei Ministri. L'obiettivo è quello di trasformare le scuole in edifici ad alte prestazioni energetiche. Esso è uno strumento operativo per tutti gli interventi di riqualificazione energetica nelle scuole, un manuale che è strutturato in due sezioni:

- *Sezione 1: come progettare l'intervento*

- 1.1. La scelta dell'intervento
- 1.2. Gli interventi sull'edificio
- 1.3. Gli interventi sull'impianto
- 1.4. La qualità degli interventi



- *Sezione 2: come finanziare l'intervento*

- 2.1. I finanziamenti nazionali ed i fondi europei

- 2.2. Il conto termico

- 2.3. Partecipazione dei privati: energy service company (ESCO)

L'efficienza energetica è uno dei pilastri del futuro del nostro Paese. Insieme alla diffusione delle fonti rinnovabili, è uno strumento importante per innovare il nostro sistema produttivo e dei consumi civili, rendendolo sempre più libero dal carbonio, più sicuro per quanto riguarda l'approvvigionamento e meno costoso per i costi dell'energia. Efficienza significa vantaggi per lo Stato, per l'ambiente, le imprese ed i cittadini. Questo ha effetti positivi sulle aziende per esempio, ad investire sull'ecosostenibilità del ciclo produttivo e contribuisce a far risparmiare le famiglie a causa dei costi più bassi delle bollette. Il Governo riaprì lo sportello per l'accesso ai finanziamenti agevolati ed in particolare parliamo dei fondi di "Kyoto", con il quale sono stati messi a disposizione circa 250 milioni di euro per l'efficienza energetica nelle scuole. L'ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile) ha deciso di produrre questo documento per ottenere edifici scolastici ad alte prestazioni energetiche. Questa implementazione rispetto al passato ha permesso di dare a studenti e docenti un ambiente più confortevole e produttivo. Questo è stato permesso grazie a soluzioni progettuali che prevedono l'utilizzo di sistemi ad alta efficienza energetica e l'integrazione con fonti rinnovabili. Aule spaziose, correttamente dimensionate e realizzate con particolare attenzione alla climatizzazione, all'illuminazione e alla ventilazione, hanno permesso di migliorare l'apprendimento dello studente. Il miglioramento dell'involucro edilizio per diminuire le dispersioni di calore nella stagione invernale è prioritario, in quanto va a ridurre il fabbisogno di energia primaria; tuttavia tale intervento richiede tempi lunghi di ritorno dell'investimento e deve essere valutato in relazione ai reali consumi energetici dell'edificio e alla zona climatica di appartenenza. D'altra parte, in alcuni casi, limitare gli interventi alla sola sostituzione degli impianti comporta il rischio di produrre calore in maniera ottimale per poi disperderlo attraverso un involucro a basse capacità. Lo strumento ideale per risolvere tali incertezze è la diagnosi energetica, una procedura di analisi coordinata del sistema edificio-impianto, che ha l'obiettivo di individuare gli interventi da realizzare, definisce le priorità e quantifica le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici. In generale, quando si decide di procedere alla riqualificazione energetica di un edificio per renderlo altamente performante, si devono prendere in considerazione i seguenti elementi chiave:

1. Involucro ad alte prestazioni energetiche. Un maggiore isolamento delle pareti di tamponamento e del solaio, aiuta a ridurre la perdita di calore nella stagione invernale e a migliorare il comfort.



Questi fattori contribuiscono a dimensionare correttamente il sistema di climatizzazione, riducendo così l'investimento iniziale ed i costi di manutenzione a lungo termine.

2. Finestre e daylighting. Un miglior utilizzo della luce naturale, aiuta a ridurre il consumo di energia elettrica per illuminazione e climatizzazione. Finestre ad alte prestazioni energetiche permettono di ridurre al minimo l'apporto di calore nei mesi più caldi e perdite di calore nei mesi più freddi.

3. Illuminazione e sistemi elettrici. I sistemi di illuminazione a LED e quelli di gestione automatica dei livelli di luce necessaria (dove le luci vengono spente automaticamente negli ambienti non occupati), rappresentano investimenti molto bassi con un immediato risparmio energetico.

4. Impianti di climatizzazione e ventilazione. La scelta di tipologia e dimensione dei sistemi di climatizzazione e ventilazione meccanica, è correlata agli elementi descritti in precedenza. Essa ha un'influenza diretta sui costi di esercizio e manutenzione. L'utilizzo di sistemi automatici per la regolazione della temperatura degli ambienti permette di ridurre gli sprechi di energia e di migliorare il comfort negli ambienti.

5. Sistemi alimentati ad energia rinnovabile. Tali sistemi possono integrare la fornitura di energia elettrica e termica dell'edificio. In relazione alle caratteristiche dell'edificio è possibile impiegare il fotovoltaico o l'eolico in combinazione con sistemi di accumulo per l'illuminazione di sicurezza, l'alimentazione d'emergenza o il solare termico per la produzione d'acqua calda sanitaria.

6. Sistemi di gestione dell'acqua. Sistemi di raccolta dell'acqua piovana in grado di consentire il riuso dell'acqua per i sanitari e l'irrigazione possono ridurre i costi di fornitura fino al 50%.

Il presupposto generale per la realizzazione d'interventi che generano risparmi energetici deve essere in ogni caso il soddisfacimento di tutte le norme che riguardano la stabilità strutturale e la sicurezza degli edifici, nonché il rispetto delle prescrizioni e dei requisiti minimi previsti dal D.M. 26 giugno 2015 (rif. Appendice "Le leggi e le normative sull'efficienza energetica").

Sezione 1: come progettare l'intervento

1.1. La scelta dell'intervento

In Italia la maggior parte degli edifici scolastici è stata costruita prima del 1976, anno in cui è entrata in vigore la prima legge sul contenimento del consumo energetico degli edifici. Ciò significa che la maggior parte dei nostri edifici scolastici ha pareti e finestre che disperdono verso l'esterno gran parte dell'energia fornita per riscaldare aule, uffici e ambienti annessi. Se a questo



aggiungiamo gli impianti ed i sistemi d'illuminazione poco efficienti, possiamo affermare che oltre il 50% dell'energia utilizzata per riscaldare gli edifici scolastici può essere risparmiata riqualificando energeticamente l'edificio. Possiamo intervenire su pareti, solai, tetti ed impianti. La riqualificazione energetica degli edifici scolastici può essere schematizzata in 5 steps.



Immagine n°15: step riqualificazione energetica

Solo gli edifici costruiti dopo il 2006 rispettano l'attuale normativa sul contenimento dei consumi energetici. Quindi, su tutti gli edifici costruiti prima di questa data è auspicabile intervenire. La scelta dovrebbe cadere su gli edifici più vecchi, che richiedono una ristrutturazione edilizia e impiantistica. Mentre la diagnosi energetica definirà una serie di interventi possibili che possono riguardare:

- la modifica dei contratti di fornitura dell'energia,
- il miglioramento della gestione degli impianti,
- interventi di ristrutturazione dell'edificio,
- la sostituzione o modifica degli impianti esistenti.

La scelta dell'intervento sarà quindi in funzione dello stato di conservazione dell'edificio, del potenziale risparmio conseguibile e soprattutto dalla disponibilità economica. Ovviamente occorrerà considerare la zona climatica d'appartenenza dell'edificio. Di seguito viene riportata la classificazione climatica dei comuni italiani.



Immagine n°16: zone climatiche d'Italia

1.2 Gli interventi sull'edificio.

Alcuni interventi possibili da realizzare sono:

- Isolamento delle pareti perimetrali (dall'interno, dall'esterno o nell'intercapedine)
- Isolamento delle coperture
- Isolamento dei solai
- Finestre

1.3 Gli interventi sull'impianto

L'impianto per il riscaldamento degli ambienti è un sistema atto a fornire l'energia necessaria all'edificio per mantenere nei locali interni le condizioni di comfort termico. Nei casi più diffusi l'impianto regola la temperatura dell'aria interna, ma talvolta vengono regolate anche altre variabili come ad esempio l'umidità relativa e la qualità dell'aria, pertanto è più corretto parlare di climatizzazione invernale. Sono impianti termici gli impianti di riscaldamento dotati di generatori di calore alimentati a gas, a gasolio, a biomassa, energia elettrica e fonti rinnovabili.

1.4 La qualità degli interventi

Per garantire il buon risultato degli interventi di efficienza energetica è necessario attivare un processo di qualità, prevedendo la definizione di standard prestazionali e prassi progettuali ed esecutive che siano in grado di garantire il rispetto dei requisiti richiesti a una scuola. Il controllo della qualità deve accompagnare tutte le fasi del processo edilizio e prevedere le seguenti fasi di verifica:

1. Verifica della qualità del progetto.

2. Verifica della qualità dell'esecuzione dei lavori mediante controlli in cantiere.
3. Verifica della qualità a fine lavori mediante misure e prove di collaudo.
4. Verifica della qualità della gestione mediante controlli periodici.

Questi controlli e verifiche risultano maggiormente legittimati dal punto di vista della trasparenza e della credibilità se affidate ad un ente terzo non coinvolto nel processo edilizio.

Sezione 2: come finanziare l'intervento

2.1 I finanziamenti nazionali ed i fondi europei

Le risorse finanziarie necessarie a svolgere interventi di edilizia scolastica devono essere reperite nei bilanci degli Enti Locali, come Comuni e Province, che possono impiegare risorse proprie o risorse che vengono trasferite dalle Regioni o direttamente dallo Stato, come ad esempio per gli interventi di adeguamento strutturale e antisismico. Indipendentemente dalla fonte di finanziamento, è sempre l'Ente locale proprietario dell'immobile che dovrà occuparsi della gara di appalto per lavori, servizi e/o forniture. I Fondi Strutturali dell'Unione Europea (FESR - Fondo Europeo di Sviluppo Regionale e FSE - Fondo Sociale Europeo) finanziano le politiche di sviluppo e coesione. L'attuazione di queste politiche avviene tramite i Programmi Operativi Nazionali (PON) e Regionali (POR). Per quanto riguarda l'edilizia scolastica, la gestione delle risorse per l'assegnazione dei fondi e della selezione dei progetti, viene affidata principalmente al MIUR e alle Amministrazioni regionali.

2.2 Il conto termico

Con la pubblicazione del DM 28/12/12 [55], conosciuto come "Conto Termico", si dà attuazione al regime di sostegno introdotto dal decreto legislativo 3 marzo 2011, n.28 [56] per l'incentivazione d'interventi di piccole dimensioni ed in particolare per l'incremento dell'efficienza energetica e la produzione di energia termica da fonti rinnovabili. Gli interventi incentivabili si riferiscono sia alla riqualificazione energetica dell'involucro di edifici esistenti (come la coibentazione di pareti e coperture o sostituzione serramenti) sia alla sostituzione d'impianti esistenti per la climatizzazione invernale con impianti a più alta efficienza (caldaie a condensazione) sia alla sostituzione o, in alcuni casi, alla nuova installazione d'impianti alimentati a fonti rinnovabili (pompe di calore, caldaie, stufe e camini a biomassa, impianti solari).

2.7.3 Il progetto ZEMedS

L'Unione Europea ha dato vita ad un progetto di internazionale che riguarda alcuni dei suoi Stati Membri: il progetto ZEMedS. Il progetto è co-finanziato dall'UE attraverso il Programma Energia Intelligente per l'Europa (EIE) e consiste nel garantire il supporto all'attuazione della politica energetica comunitaria che incoraggia le nazioni mediterranee partecipanti ad avviare la



riconversione energetica degli edifici scolastici, in modo da renderli ad energia quasi zero (nZEB). Questo documento propone alcuni requisiti per raggiungere gli obiettivi nZEB, al fine di promuovere gli edifici energeticamente efficienti e di migliorare il loro comfort. L'obiettivo nZEB può essere raggiunto solo se è supportato da un approccio globale, poiché alcune misure possono non essere convenienti se vengono considerate singolarmente. In un approccio a lungo termine, i benefici cominceranno a pareggiare i costi solo dopo qualche anno.

2.7.4 Le motivazioni del progetto ZEMedS

Il cambiamento climatico è la sfida principale che oggi-giorno dobbiamo affrontare ed il settore edile è in prima linea nella battaglia per ridurre al minimo le emissioni di carbonio. Le scuole rappresentano una parte importante del patrimonio edilizio pubblico. Nelle regioni mediterranee di Italia, Grecia, Spagna e Francia, ci sono circa 87.000 scuole. Nel campo del risparmio energetico degli edifici, l'interesse verso il settore scolastico è profondamente motivato: le scuole hanno standardizzato la domanda di energia, e dovrebbero essere garantiti alti standard ambientali. Agli edifici scolastici dovrebbe essere data la precedenza, in quanto influenzano la vita della maggior parte delle persone.

2.7.5 Gli obiettivi del progetto ZEMedS

- Sensibilizzare sui benefici di NZEB per le scuole esistenti.
- Aiutare progettisti e decisori politici a spianare la strada alle scuole ristrutturate a impatto zero come obiettivo finale.
- Fornire una guida per la valutazione del processo di rinnovamento.
- Evidenziare i passaggi chiave e le strategie del processo di ristrutturazione verso NZEB.
- Fornire ai decisori politici strumenti per la valutazione delle opportunità di attuazione delle misure di ristrutturazione NZEB.
- Consentire ai decisori politici di prendere decisioni informate sulla ristrutturazione NZEB.
- Dare indicazioni sul costo globale e informare circa i costi attuali per le misure NZEB.
- Fornire assistenza nella selezione dei meccanismi e dei canali esistenti di finanziamento ed esplorare politiche innovative di sostegno per aiutare i responsabili politici a istituirne di nuove.
- Promuovere un cambiamento nel settore dell'edilizia rafforzando il coinvolgimento della Pubblica Amministrazione.

Dal punto di vista energetico il progetto si pone l'obiettivo di ridurre la domanda di energia e aumentare l'apporto del fabbisogno energetico con fonti energetiche alternative. Mentre per quanto



riguarda la qualità ambientale interna (IEQ), punta ad assicurare una buona qualità dell'aria interna, un adeguato comfort visivo ed acustico. Inoltre dovrebbe essere garantito un adeguato ambiente termico, nello specifico: una temperatura operativa minima di stagione invernale tra i 19 ed i 21°C, una temperatura operativa massima nella stagione estiva tra 25 ed i 27°C. Dal punto di vista numerico questi obiettivi potrebbero essere rappresentati così:

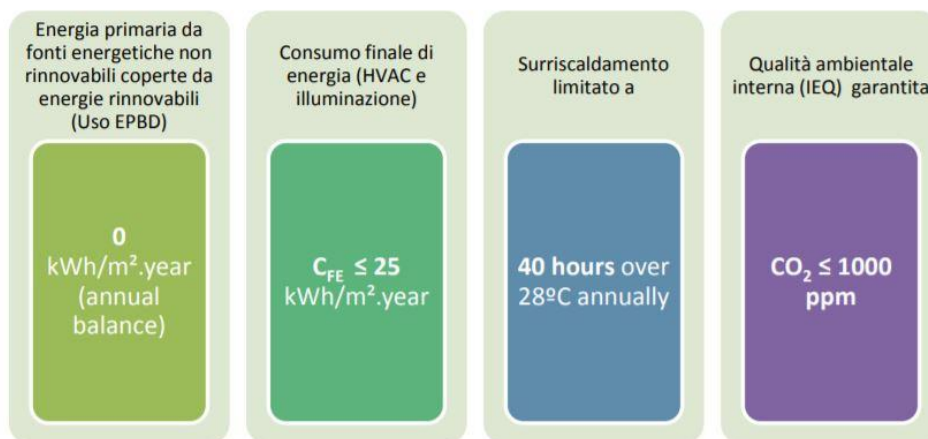


Immagine n°17: obiettivi progetto ZEMeds

2.7.6. I requisiti delle scuole nZEB

1) Una scuola è Net Zero Energy quando il bilancio energetico annuale delle fonti d'energia non rinnovabili è al massimo pari a zero

$$\text{CPE} - \text{ProdFonti energetiche alternative} \leq 0$$

CPE: Il consumo di energia primaria annuo per i seguenti usi: riscaldamento, raffreddamento, ventilazione, acqua calda sanitaria, illuminazione. I coefficienti di conversione sono quelli nazionali.

ProdFonti energetiche alternative: produzione di energia rinnovabile locale ogni anno in energia primaria.

2) Una scuola Net Zero Energy ha un consumo energetico finale massimo consentito di 25 kWh / m².year

$$\text{CFE} \leq 25 \text{ kWh/m}^2.\text{year}$$

CFE: Consumi finali di energia per riscaldamento, raffreddamento, ventilazione, acqua calda sanitaria, illuminazione. Riferimento Superficie: superficie utilizzata nel regolamento per il calcolo termico nazionale di regolamentazione. I valori massimi indicativi sono definiti per il consumo finale di energia per determinati utilizzi: Riscaldamento, raffreddamento, ventilazione CHVAC ≤ 20 kWh/m².year Illuminazione Clighting ≤ 5 kWh/m².year

3) Una scuola Net Zero Energy assicura un ambiente sano e confortevole per gli occupanti

dell'edificio.

Garanzia di qualità dell'aria interna: CO₂ ≤ 1000 ppm

Periodo estivo: Tempo massimo di surriscaldamento: T above 28 °C ≤ 40 hours/year durante l'utilizzazione. I decisori / responsabili politici e progettisti sono altamente incoraggiati a curare altri requisiti in materia di qualità dell'aria interna (ad esempio formaldeide HCHO, particella di materia PM, il rumore, la luce naturale, etc.).

2.7.7 Benefici del progetto nZEB

- 1) Energetici ed ambientali
- 2) Economici
- 3) Sicurezza e salute
- 4) Sociali
- 5) Educativi
- 6) Architettonici

I seguenti punti vengono approfonditi uno ad uno:

- 1) Energetici ed ambientali

Emissioni ridotte

Il potenziale di mitigazione delle emissioni dagli edifici è importante e ben l'80% dei costi operativi di nuovi edifici standard può essere risparmiato attraverso principi di progettazione integrata, spesso senza o con poco costo aggiuntivo.

Impegno delle istituzioni pubbliche in un nuovo paradigma energetico

Analizzando la situazione in una prospettiva macroeconomica, è importante che il settore pubblico s'impegno nello sviluppo di attività specifiche finalizzate alla modifica di un paradigma energetico ritenuto capace di generare significativi conflitti a causa della forte dipendenza dalle importazioni di energia della zona MED e la conseguente vulnerabilità alle crisi energetiche esterne e internazionali

- 2) Economici

Ridotta domanda di Energia

Le soluzioni NZEB si tradurranno in una riduzione della domanda di carburanti nei locali pubblici. L'ottimizzazione a lungo termine di soluzioni NZEB comporterà la riduzione delle bollette energetiche e un approccio energetico più sostenibile.

Effetto Spill-over



Il successo dell'attuazione delle soluzioni NZEB in edifici scolastici avrà un effetto domino su altri edifici pubblici. L'estensione ad altre aree pubbliche avrà un effetto significativo sul bilancio pubblico complessivo.

Innovazione dirompente

Si può presumere che il rinnovamento NZEB e gli strumenti utilizzati costituiscano un'innovazione dirompente che aiuterà la creazione e la promozione di un nuovo mercato per la ristrutturazione e l'adeguamento delle azioni, superando le tecnologie precedenti.

Mantenimento delle attività economiche

L'implementazione di soluzioni NZEB contribuirà alla conservazione di posti di lavoro.

3) Sicurezza e salute

Miglioramento della qualità dell'aria

La qualità dell'aria nelle scuole NZEB migliora rispetto a edifici costruiti secondo la prassi corrente. La qualità dell'aria migliorata porterà ambienti molto più sicuri e sani per gli alunni ed il personale.

Impatto ridotto di allergie e problemi respiratori

Secondo alcuni studi gli edifici dotati di sistemi di ventilazione di alimentazione e di recupero meccanico del calore di scarico mostrano una correlazione con allergie e problemi respiratori, i quali saranno ridotti con le soluzioni NZEB.

Riduzione della luce artificiale

La riduzione dell'uso della luce artificiale avrà un impatto positivo sul benessere degli studenti e del loro ambiente educativo.

Ridotto pericolo di formazione di muffe e funghi

Muffa e funghi tendono a crescere in luoghi critici in un ambiente molto umido. L'umidità è generalmente superiore in locali occupati da un numero significativo di persone, come è il caso delle scuole. Muffe e funghi possono essere prevenuti con un buon isolamento termico.

4) Sociali

Riduzione del fabbisogno di carburante

Uno dei principali benefici delle soluzioni NZEB deriva dalla necessità di ridurre la domanda di carburante. È importante notare che tra i benefici prodotti dalle soluzioni NZEB vi è il completo rimborso nel tempo.

Sviluppo di un nuovo modello del settore costruzioni



In una prospettiva più ampia lo sviluppo di un nuovo modello nella gestione degli edifici pubblici avrà un impatto sulle condizioni economiche e sociali della regione.

Rinforzo di un nuovo modello economico per il settore

NZEB potrebbe contribuire a superare gli attuali valori e comportamenti obsoleti in un settore così fondamentale per lo sviluppo economico e sociale; un processo in cui gli appalti pubblici dovrebbero fungere da acceleratore.

Rigenerazione delle condizioni di lavoro locali

L'implementazione e lo sviluppo di nuove competenze, tecniche e capacità nel settore della costruzione e della ristrutturazione avrà un impatto significativo sulla rigenerazione di un settore profondamente colpito dalla crisi economica degli ultimi anni

Innovazione sociale

Sostenere lo sviluppo di edifici NZEB è una dichiarazione circa la società che vogliamo per i nostri figli e sui valori ambientali e della comunità che vogliamo dare alle nuove generazioni.

5) Educativi

Promuovere l'educazione in ambienti eco-friendly

Permettere alle nuove generazioni di crescere e di essere educate in un ambiente eco-friendly, come quello delle scuole NZEB, avrà come risultato una sensibilizzazione radicata nei bambini, generando così un processo di acculturazione.

Promuovere la "normalità" di soluzioni di efficienza energetica tra i bambini

Promuovere la "normalità" di soluzioni di efficienza energetica entro i valori e i comportamenti dei giovani sarà uno dei più preziosi risultati di ogni azione mirata NZEB.

Consentire agli studenti di monitorare il loro consumo energetico

Nelle scuole ad alta efficienza energetica, gli studenti possono monitorare il consumo d'energia della loro scuola sulla base di dati energetici e avere l'opportunità di conoscere i benefici di gestione intelligente dell'energia.

Il maggiore benessere dello studente si tradurrà in un migliore rendimento scolastico

Il comfort termico è un fattore importante per le scuole, in quanto garantisce il benessere degli studenti.

6) Architettonici

Salvaguardia del patrimonio architettonico e culturale



Il boom edilizio sperimentato in alcuni dei paesi del Mediterraneo negli ultimi decenni, ha portato alla costruzione di nuovi edifici scolastici da zero. Anche se questi nuovi edifici sono stati costruiti seguendo i più alti standard tecnici ed energetici, si potrebbe sostenere che, nel processo, il vasto patrimonio architettonico e culturale della regione sia stato dimenticato.



Capitolo 3. Software di simulazione dinamica

3.1 Introduzione

La simulazione dinamica è un metodo di calcolo estremamente avanzato che permette di valutare le prestazioni energetiche di un edificio prendendo in considerazione gli effetti inerziali del suo involucro e dei suoi impianti. In pratica è necessario costruire una procedura di calcolo con tutti gli annessi algoritmi, inserire tutte le informazioni geometriche e termofisiche dell'edificio da simulare, nonché inserire tutte le informazioni prestazionali degli impianti, impostare le forzanti del sistema edificio-impianto (interne ed esterne) ed effettuare i calcoli. Oggi sono disponibili varie procedure di calcolo, utilizzando metodologie più o meno dettagliate in funzione delle necessità di simulazione, già pronte all'uso; così come sono disponibili numerosi software che implementano tali procedure. Per effettuare una simulazione energetica è quindi sufficiente, una volta selezionata la procedura più adatta ai propri scopi o il relativo software, inserire i dati necessari e lanciare i calcoli. Si possono distinguere procedure che si basano su metodologie di calcolo in regime stazionario o semi-stazionario e procedure che si basano su metodologie di calcolo in regime dinamico. Le differenze principali tra le due metodologie sono:

- la diversa entità dell'intervallo temporale di simulazione
- la diversa modalità di gestione delle forzanti
- la diversa modalità di calcolo del flusso di calore.

Nella simulazione energetica in regime dinamico, come per la simulazione energetica in regime stazionario o semi-stazionario, il flusso di calore segue l'analogia elettrotermica.

In aggiunta alle caratteristiche resistive dell'involucro sono però prese in considerazione anche le caratteristiche capacitive, ovvero si tiene conto anche della proprietà di immagazzinamento del calore degli elementi massivi dell'involucro. Si valorizza pertanto la cosiddetta inerzia termica dell'involucro edilizio opaco. Gli impianti seguono in maniera continuativa l'evoluzione dei parametri interni ai locali. L'impianto si attiva solo quando la temperatura di setpoint o di comfort non è soddisfatta, seguendo curve prestazionali e di rendimento in funzione delle condizioni operative proprie dell'intervallo di tempo di simulazione.

In sintesi è come avere un termostato all'interno del locale che attiva e disattiva l'impianto in funzione della temperatura ambientale. Le prestazioni di queste tipologie di impianti dipendono tanto dalla sua potenza quanto dalle condizioni in cui esso opera. Una simulazione energetica condotta in regime dinamico fornisce molte informazioni su come il sistema edificio-impianto risponde alle sollecitazioni (interne ed esterne). Ciò non toglie comunque che, integrando su tutto il periodo di simulazione i risultati energetici di dispersione attraverso l'involucro e di consumo di combustibile, sia possibile ottenere sia il fabbisogno energetico sia il consumo energetico (elettricità, gas naturale, ecc.) dell'edificio come si ha per i calcoli effettuati in regime



stazionario o semi-stazionario. In sintesi, i principali output di una simulazione dinamica sono:

- Stima dei consumi energetici termici stagionali
- Calcolo delle emissioni di CO2 del fabbricato
- Stima dei costi di gestione dell'edificio
- Verifica del comportamento termico/inerziale dell'involucro edilizio
- Ottimizzazione della forma geometrica dell'edificio
- Dimensionamento ottimale degli impianti termici e relativi sottosistemi
- Valutazione della produzione di energia da fonti rinnovabili
- Verifica di illuminamento naturale ed artificiale dei locali
- Valutazione delle condizioni di comfort termico per ciascun locale
- Verifica dell'efficacia di strategie di ventilazione naturale
- Analisi della generazione e rimozione degli inquinanti
- Valutazione dei consumi dell'impianto presente

3.2 Storia dei software di simulazione energetica

I software di simulazione energetica esistono da prima della crisi petrolifera del 1973 tuttavia, solo in seguito a tale episodio, sia nel settore pubblico che in quello privato se ne è incentivato lo studio e lo sviluppo. I primi software nascono dall'implementazione di procedure di tipo manualistico caratterizzate da uno schema semplificato operante in regime stazionario, forniscono pertanto dei risultati solamente indicativi. Successivamente si sono introdotti dei modelli che tengono conto parzialmente delle dinamiche energetiche che hanno luogo negli edifici. Questi applicativi si presentano difficili da utilizzare, anche a causa della mancanza di un'interfaccia grafica, e di impiego limitato poiché sono finalizzati alla risoluzione di problematiche specifiche come il dimensionamento dei canali d'aria oppure la determinazione dei carichi termici. Nell'attuale generazione, viene simulato il comportamento dell'intero complesso edificio-impianto accoppiando procedure, sia analitiche che numeriche, specifiche per la risoluzione dei vari quesiti; in particolare vengono risolti simultaneamente le modellazioni dei flussi termici, elettrici, luminosi, acustici e del comportamento degli occupanti. Questi software, sebbene presentino un'interfaccia grafica più facile ed intuitiva e siano state introdotte diverse funzioni per aiutare il processo di inserimento dei dati, richiedono un'esperienza non trascurabile da parte dell'utilizzatore. Al momento gli sforzi che si stanno compiendo in questo settore comprendono certamente lo studio e la formulazione di tecniche di modellazione più precise ed efficienti in termini computazionali, ma anche lo sviluppo di software più completi ed in grado di risolvere un più vasta gamma di situazioni sfruttando tecniche risolutive differenti; in quest'ottica va osservato il lavoro di scrittura del codice sorgente di EnergyPlus dove si è posta una particolare enfasi per quanto riguarda la modularità. Con la tabella seguente si vuole esprimere i passaggi che hanno portato all'evoluzione dei software di simulazione energetica nella storia.



Prima generazione	<ul style="list-style-type: none"> - Approccio da manuale - Semplificato - Utilizzo limitato a specifici campi 	<ul style="list-style-type: none"> - Risultati indicativi - Applicazioni limitate - Difficoltà d'uso
Seconda generazione	<ul style="list-style-type: none"> - Dinamica più importante - Meno semplificato - Ancora di utilizzo limitato 	
Terza generazione (attuale)	<ul style="list-style-type: none"> - Soluzione a seconda del tipo di problema (generalità d'impiego di un unico software) - Utilizzo di metodi numerici - Visione integrata dei sottosistemi energetici - Vengono considerati i flussi termici e massici - Interfaccia con l'utilizzatore migliorata - Integrazione parziale delle funzioni CABD 	
Generazione futura	<ul style="list-style-type: none"> - Totale integrazione delle funzioni CABD - Metodi numerici avanzati - Basato su una conoscenza intelligente (autoapprendimento) - Software ingegneristici avanzati 	

Immagine n°18: passaggi nell'evoluzione dei software

3.3. Complessità dei fenomeni da analizzare

L'ambiente interno degli edifici è determinato da diverse fonti energetiche. Le sorgenti principali possono essere identificate come:

- clima esterno, le cui variabili principali sono: temperatura dell'aria, temperatura radiante, umidità, radiazione solare, velocità e direzione del vento
- occupanti, che provocano un incremento dell'apporto energetico imprevedibile a causa del loro metabolismo, dell'utilizzo di apparecchiature elettriche e dell'aggiustamento delle impostazioni di regolazione
- sistemi ausiliari, che possono provvedere al riscaldamento, al condizionamento oppure alla ventilazione dell'ambiente interno.

3.4. Conduzione in regime transitorio

Il termine conduzione termica identifica il processo col quale una fluttuazione del flusso di calore all'estremità di un materiale si propaga verso l'altra estremità, essendo smorzata in intensità e sfasata nel tempo a causa dell'inerzia termica del materiale. In particolare nelle strutture edilizie, la conduzione in regime variabile è ovviamente funzione del tempo e dipende dal gradiente termico della temperatura e dall'umidità, parametri a loro volta condizionati dalle proprietà termofisiche dei singoli materiali e dalla loro relativa posizione. L'obiettivo dei modelli è quello di valutare la diffusione di umidità e gradiente di temperatura nei materiali da costruzione e quindi la variazione dinamica del flusso di calore delle superfici esposte alle condizioni ambientali esterne. Le proprietà termodinamiche d'interesse includono la conduttività λ [$W\ m^{-1}\ K^{-1}$], la densità ρ [$kg\ m^{-3}$], ed il calore specifico c [$J\ kg^{-1}\ K^{-1}$]. Queste proprietà possono essere combinate per fornire un

indice da usare nella progettazione classica, per catalogare delle differenti prestazioni energetiche dei materiali. Queste proprietà sono dipendenti dal tempo a causa della temperatura dei materiali e della fluttuazione del grado di umidità, inoltre possono essere condizionate dalla posizione o dalla direzione nel caso di materiali non omogenei o anisotropi. Solitamente, i progettisti fanno riferimento alla trasmittanza termica globale U [$W\ m$] calcolato in regime stazionario, per valutare le dispersioni termiche di un edificio. Questo parametro viene determinato come:

$$\frac{1}{U} = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{\lambda_i} + \frac{1}{H_{si}} + \frac{1}{H_{se}} + \frac{1}{H_c}$$

- N è il numero dei diversi strati che formano il materiale da costruzione,
- x_i è lo spessore dello strato i -esimo [m]
- H è il coefficiente di adduzione [$W\ m^{-2}\ K^{-1}$] ed i pedici si , se , c indicano la superficie interna, la superficie esterna e la cavità rispettivamente.

In questo modo oltre ad ignorare del tutto gli aspetti dinamici, si trascura completamente la posizione relativa tra i vari materiali che compongono l'involucro edilizio. Ad esempio, se l'isolamento è localizzato nella posizione più interna della parete allora ogni radiazione solare a bassa lunghezza d'onda che entra dalle finestre e colpisce la superficie interna, non può essere assorbita velocemente dalla parete poiché l'isolante funge da barriera. Inoltre, l'energia solare causerà un aumento della temperatura superficiale che, conseguentemente, farà crescere la quantità di energia rilasciata all'aria tramite il processo di convezione naturale con un conseguente sovra riscaldamento. Viceversa, se lo strato isolante è posto esternamente, soluzione comunemente chiamata "a cappotto", i carichi interni a bassa lunghezza d'onda possono essere accumulati dalla capacità termica della struttura e quindi smaltiti anche con tecniche passive. D'altro canto, un'elevata capacità termica comporta il rischio di aumentare la richiesta energetica di picco da parte degli impianti, soprattutto nei casi in cui si adotta uno schema di regolazione intermittente o comunque in fase di avviamento. Il rischio di condensazione interstiziale è maggiore nel caso di isolamento posto internamente in quanto una porzione della parete potrebbe scendere sotto la temperatura di condensazione dell'aria umida che si diffonde attraverso la parete in assenza di un'efficace barriera al vapore. Non esiste un criterio che possa essere usato dai progettisti per selezionare la soluzione ottimale in ogni circostanza, tuttavia i modelli di simulazione dinamica risultano essere un valido strumento per sopperire a questa carenza cercando di prevedere quali siano le prestazioni termodinamiche dell'edificio.

3.5 Irraggiamento

L'irraggiamento è un aspetto molto importante della progettazione edilizia, la sua influenza sull'edificio comporta un aumento del carico energetico interno. In molti edifici l'apporto energetico



solare costituisce una porzione significativa della totalità dei carichi a cui deve sopperire l'impianto di condizionamento, questo evidenzia l'importanza che si deve prestare nella progettazione in quanto incide sulle prestazioni globali sia dell'edificio che dell'impianto. Nel caso di chiusure completamente trasparenti, la radiazione solare che si abbatte sulla superficie più esterna viene parzialmente riflessa e in parte trasmessa verso l'interno. Nell'attraversamento degli strati di vetro e dell'intercapedine l'onda radiativa viene in parte assorbita, causando un innalzamento della temperatura. Di seguito viene riportata una semplificazione della propagazione della radiazione solare su superfici vetrate.

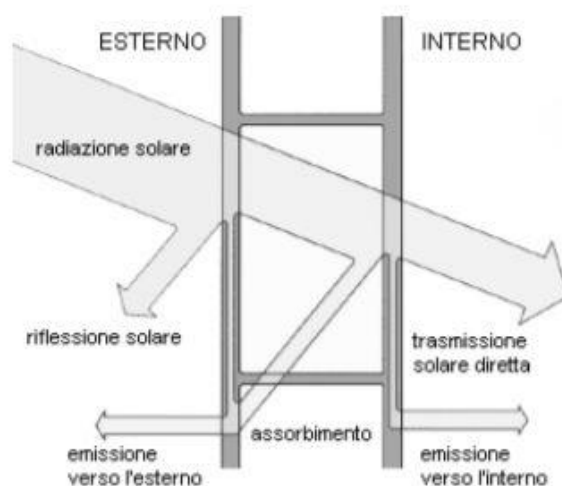


Immagine n°19: propagazione radiazione solare su superfici vetrate

La componente del fascio incidente che viene direttamente trasmessa colpirà, con uno sfasamento temporale impercettibile, alcune delle superfici interne. Nel caso di superfici opache si ha in sequenza assorbimento e riflessione mentre, nel caso di superfici trasparenti si ha assorbimento, riflessione e trasmissione. Una modellazione accurata della radiazione solare richiede metodi di calcolo per la previsione della posizione relativa tra le superfici e il fascio solare. Le proprietà termofisiche interessate includono i coefficienti di assorbimento, riflessione, emissione degli elementi i quali dipendono dall'angolo di incidenza e dalla lunghezza d'onda del raggio incidente. In particolare nel caso di irraggiamento interno, lo scambio radiativo, ad elevata lunghezza d'onda, tra le superfici è funzione della temperatura (in maniera non lineare), dell'emissività, dell'estensione e del tipo di contatto visuale che sussiste tra le superfici (fattore di forma), e dalla natura della riflessione superficiale (diffusa, speculare o mista). Naturalmente il flusso energetico tenderà a ristabilire l'equilibrio tra le temperature superficiali raffreddando le superfici calde e riscaldando quelle più fredde.

3.6 Flussi d'aria

Negli edifici, tre sono i flussi d'aria principali che provocano un incremento dello scambio termico per: infiltrazioni, flussi con gli ambienti confinanti e ventilazione forzata. Per infiltrazione si

intendono tutti gli ingressi d'aria provenienti dall'esterno, questi possono essere infiltrazioni d'aria controllate e incontrollabili. I primi considerati come flussi d'aria voluti per mezzo di aperture di porte o finestre, i secondi potrebbero essere causati sia da deboli tenute dei serramenti che tramite l'involucro edilizio stesso. Al primo gruppo viene associato il nome di ventilazione naturale che si contrappone alla ventilazione forzata solo nel modo adottato per effettuare il ricambio d'aria, effettuato tramite apparecchiature meccaniche nel caso di ventilazione forzata. Avvenimenti casuali, come l'apertura di porte e finestre, e l'utilizzo intermittente degli impianti di ventilazione incidono fortemente sulla valutazione dei flussi d'aria in quanto influenzano non solo gli spazi direttamente interessati ma anche gli ambienti adiacenti. Il movimento dell'aria è influenzato da parametri termodinamici quali la temperatura, la pressione e l'umidità. Per determinare i parametri di ogni punto del flusso d'aria, vengono solitamente impiegate tecniche di calcolo numerico come quella di Navier-Stokes.

3.7 Impianti di riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria (HVAC)

L'intero sistema impiantistico viene solitamente diviso in due categorie: l'impianto e le macchine. L'impianto consiste nei componenti atti alla distribuzione del fluido termo vettore (aria e/o acqua) nelle varie zone dell'edificio: canali d'aria, tubazioni, valvole, pompe, ventilatori, ecc. I modelli per questi componenti sono finalizzati al calcolo dell'energia necessaria per vincere le perdite prima di giungere ai terminali di riscaldamento o condizionamento, dove l'energia residua (pari a quella calcolata nella modellazione dei carichi) viene trasferita all'ambiente da climatizzare. Nella categoria delle macchine rientrano tutte quelle apparecchiature elettriche e meccaniche usate per la produzione di acqua refrigerata, acqua calda, oppure per il condizionamento dell'aria. I modelli di questi dispositivi relazionano la domanda di energia primaria, come elettricità, gas naturale, olio combustibile, con le richieste dell'impianto. Essenzialmente esistono due approcci per esplicitare la simulazione dei sistemi impiantistici, quello sequenziale e quello simultaneo. Questo viene spiegato maggiormente dalla figura seguente.

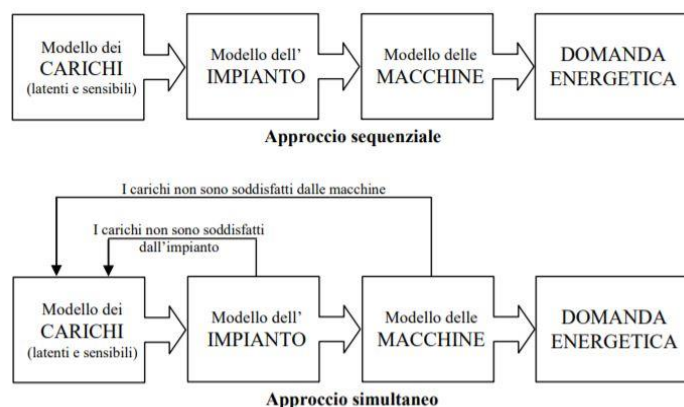


Immagine n°20: approcci dei sistemi impiantistici

Nell'approccio sequenziale, i componenti dell'impianto sono sostituiti da una correlazione input/output equivalente, in modo che i dati in uscita da un componente costituiscono i dati in ingresso di quello successivo. Un metodo risolutivo iterativo che viene impiegato su tutta la rete fino alla convergenza. Gli algoritmi che rappresentano i componenti possono essere semplificati, oppure più dettagliati. Questa tecnica presenta tre vantaggi principali:

- differenti metodi di modellazione possono essere applicati ai componenti, permettendo così la coesistenza di metodi dettagliati e di metodi semplificati ove possibile
- viene favorita una rapida codifica di modelli "prototipo" in quanto possono essere inizialmente rudimentali
- la discretezza dell'approccio previene un impatto negativo, dei nuovi modelli, sulla soluzione globale.

Le lacune di questo metodo emergono quando viene incluso un controllo dinamico, oppure quando i dati in ingresso di un modello dipendono dagli stessi dati in uscita. Nell'approccio simultaneo invece, ogni componente impiantistico è rappresentato da un numero discreto di volumi finiti, ognuno dei quali è caratterizzato da una serie di equazioni di conservazione (energia, massa, energia cinetica, ecc.). L'equazione matriciale che emerge per la rete dei componenti può essere combinata con quella che descrive i flussi energetici nell'edificio, in questo modo possono essere risolte simultaneamente adottando appropriate tecniche numeriche.



Capitolo 4. Costruzione del modello ed interfaccia grafica

Il modello ed i suoi componenti sono stati costruiti con un interfaccia di Design Builder. In particolare per la realizzazione di simulazioni energetiche, il software di modellazione utilizza Energy plus. Esso è stato costruito con le stesse caratteristiche che possiede nel reale. Sono stati riportati gli stessi materiali da costruzione, gli stessi impianti e la stessa metodologia costruttiva. Ovviamente è stato anche inserito il file climatico, per poter far figurare all'interno del programma la posizione della costruzione, le temperature esterne e le variazioni climatiche durante l'anno. Nella versione attuale di Design Builder 6.01, consente di:

- Confrontare con facilità differenti soluzioni progettuali
- Ottimizzate il vostro progetto in qualsiasi fase adattandolo alle richieste della committenza
- Modellare in modo rapido edifici complessi
- Importare con facilità i vostri disegni BIM e CAD
- Generare render e filmati
- Eseguire con semplicità simulazioni dinamiche EnergyPlus

In particolare al suo interno, possiede moduli di:

- **Modellatore 3D** – Cuore del programma per la modellazione tridimensionale
- **Visualizzazione** – Semplice e rapido motore di rendering in grado di eseguire l'analisi dell'ombreggiamento.
- **Simulazione** – Simulazioni energetiche dinamiche con il motore EnergyPlus per analisi energetiche e di comfort.
- **Illuminazione naturale** – Certificazioni e progettazione d'illuminazione naturale utilizzando il motore Radiance.
- **HVAC** – Una potente e flessibile interfaccia di EnergyPlus per gli impianti HVAC.
- **Valutazione economica** – Valutazione economica preliminare dei costi del ciclo di vita dell'edificio.
- **LEED** – Calcoli LEED EA p2 e ASHRAE 90.1.
- **Ottimizzazione** – Ausilio al raggiungimento gli obiettivi di progettazione grazie all'algoritmo genetico di ottimizzazione multi-obiettivo.
- **CFD** – L'analisi CFD simula la distribuzione delle proprietà dell'aria all'interno ed all'esterno degli edifici.



- **EMS** – Il modulo EMS consente la scrittura e programmazione di sistemi di regolazione avanzata per gli impianti.

Inoltre, l'utente può gestire il grado di dettaglio anche delle diverse impostazioni relative ai carichi interni, gli scenari di occupazione, il vestiario degli occupanti e numerosi altri parametri che influiscono sul comportamento energetico dell'edificio. Il tutto è gestibile tramite l'utilizzo di *templates* di default o personalizzabili. Fondamentale è stato, l'applicazione dei dati climatici, messa a disposizione dal DOE46, con circa 2500 località in tutto il mondo. Esso consente di effettuare simulazioni in ogni giorno dell'anno; è inoltre possibile importare nuovi file climatici o modificare quelli preesistenti, personalizzandoli. Interessante, infine, è stato l'output dei dati: essi possono essere visualizzati in forma grafica, tabellare, o mista. Per via dell'accesso ai dati climatici, è stato possibile fornire risultati numerici in merito a:

- parametri di comfort ambientale
- consumi energetici
- temperature ambientali, sia in relazione all'intero edificio sia ad una sua specifica parte

Per quanto riguarda invece Energy Plus, esso è un motore di simulazione modulabile basato su programmi a compilazione testuale come BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) e DOE-2. Essi sono stati sviluppati nel corso degli anni '80 per contrastare la crisi energetica. La natura open source del software, realizzato dal Department of Energy, ha permesso di superare le capacità previsionali degli altri programmi di riferimento e l'ha reso uno dei più affidabili strumenti di simulazione presenti nel settore. Consente di effettuare la stima dei carichi energetici di un qualsiasi edificio (residenziale, commerciale o industriale) e ne permette l'analisi integrata tra fabbisogno energetico dell'utenza e impianti che ne fanno parte. Energy Plus consiste in due motori: l'Heat and Mass Balance Simulation (per la simulazione dei carichi termici) e il Building Systems Simulation (per la simulazione degli impianti). I dati generati durante i vari timestep di simulazione vengono rimbalzati n volte ($n = \text{timesteps}$) tra i due motori fino a quando il calcolo non giunge a convergenza. I risultati di output sono dunque ottenuti per interpolazione. La struttura del software a plug-in permette un continuo aggiornamento del motore di simulazione e dei relativi contenuti.

Caratteristiche principali di Energy Plus:

- Energy Plus consente due tipologie di simulazione: la Run Weather File Simulation, finalizzata alla valutazione delle prestazioni energetiche del sistema-edificio durante un arco temporale definito, e la Run Design Day Simulation, come simulazione in condizioni di progetto per la determinazione dei carichi termici e il dimensionamento degli impianti HVAC.
- La frequenza sub-oraria con cui il motore di calcolo interpola i dati di input sino alla



convergenza del sistema modellizzato, viene chiamata Timestep

- Suddivisione temporale per la definizione del funzionamento dei sistemi, delle modalità di fruizione da parte dell'utenza e della gestione di qualsivoglia sistema tecnologico, è definita come Scheduling.
- Possibilità di scelta tra diversi modelli di distribuzione solare.
- Tre alternative per la definizione dei sistemi impiantistici HVAC Simple, Compact e Detailed

4.1 File climatico

Nei software di simulazione dinamica i file climatici ricoprono una grande importanza. Essi danno delle informazioni essenziali su quali siano le condizioni ambientali in cui l'edificio e l'impianto dovranno funzionare. Determinano le dispersioni, le perdite per infiltrazione considerando le condizioni igrometriche e i carichi solari. Con la modellazione HVAC dettagliata i parametri climatici possono poi influire pesantemente sulle prestazioni dell'impianto modellato. Per questa ragione è importante lavorare con file meteo affidabili e aggiornati. I dati attualmente utilizzati dai file climatici disponibili gratuitamente sono ricavati da un periodo di misurazioni che va dal 1951 al 1970. Grazie al lavoro svolto recentemente dal CTI (comitato Termotecnico Italiano) esiste oggi la possibilità di usufruire di dati ufficiali recenti e rilasciati nel 2015. Questi dati rappresentano le osservazioni meteorologiche dei cosiddetti *anni tipo*. Gli *anni tipo* sono essenzialmente la sintesi dei 12 mesi più rappresentativi delle condizioni tipiche di ogni luogo. Sono sviluppati sulla base di un periodo di rilevazione preferibilmente maggiore di 10 anni. Ognuno dei mesi che compongono l'anno tipo è integralmente ricavato da uno degli anni osservati. La sua scelta rispetto agli altri stessi mesi viene effettuata, appunto, sulla base della sua rappresentatività. Proprio per questo motivo, questo genere di dati viene utilizzato nella progettazione di sistemi ad energia solare e nelle valutazioni energetiche edificio-impianto quali, ad esempio, la simulazione energetica con sistemi di calcolo in regime dinamico di DesignBuilder. Gli sviluppatori hanno convertito i dati degli anni tipo in file utilizzabili dal motore di calcolo EnergyPlus di DesignBuilder. Al termine di questo procedimento sono stati ricavati i quattro file climatici necessari, con estensione *.epw*, *.audit*, *.stat* e *.ddy*. I quattro elementi sono dei file di testo e sono tutti e quattro necessari per l'utilizzo dei file climatici orari CTI nelle simulazioni con DesignBuilder. La maggior parte delle informazioni però si troveranno sul file EPW, gli altri tre contengono delle informazioni statistiche utili ad esempio ad individuare la settimana estiva e invernale di progetto.



Capitolo 5. Il Caso studio

Il lavoro che segue, ha l'obiettivo di verificare le caratteristiche termodinamiche, termo-igrometriche ed il comfort di una scuola sita nella provincia di Ancona, precisamente in via Mercantini 11. La costruzione in oggetto ha subito una demolizione con ricostruzione ed è stato edificato un nuovo edificio interamente in legno su due piani. Il progetto realizzato presenta alti standard di comfort per gli occupanti, un funzionamento interamente elettrico e l'assenza quindi di gas. L'impianto viene in parte alimentato da pannelli fotovoltaici posizionati sul tetto, diminuendo i costi d'esercizio. Il software utilizzato ha permesso di realizzare un modello 3D, rappresentativo della scuola realizzata. Il programma presenta un alto grado di dettaglio, pertanto è stato possibile inserire i materiali e gli impianti utilizzati. Nella parte impiantistica è stato necessario inserire gli orari di funzionamento dell'intera scuola ed i coefficienti prestazionali delle macchine inserite all'interno. Una volta terminato l'impianto, è stato possibile lanciare simulazioni energetiche che rappresentassero il comportamento dell'edificio costruito. Di seguito vengono riportati i dati più significativi del fabbricato in questione.

Ubicazione della Scuola		Coordinate geografiche	
Comune	Ancona	Latitudine	43°37'
Indirizzo	Via Mercantini 11	Longitudine	13°25'
Provincia	Ancona	Dati climatici	
Destinazione d'uso		Zona	D
Categoria B.5	Scuole e lab. Scientifici	Gradi giorno	1688
Anno di costruzione	2018	Climatiz. invernale	01/11-15/04
Stato di occupazione		N° di ore	12 per gg
Edificio scolastico		T di progetto	-2

Di seguito viene riportata l'ubicazione precisa tramite Google Maps.



Immagine n°11: individuazione del sito su Google Maps

5.1 Descrizione del fabbricato

La struttura, è una scuola all'avanguardia e completamente realizzata in legno. A livello antisismico appartiene alla classe 4 con una vita nominale di oltre 100 anni ed ha un sistema impiantistico e tecnologico avanzato. Il nuovo edificio è articolato su due piani, al posto dei tre della precedente struttura: al piano terra trovano spazio la sala mensa, la scuola dell'infanzia "La Sirenetta" e spazi comuni per 671 metri quadrati lordi. Mentre al primo piano è ubicata la scuola primaria "Mercantini", locali comuni per altri 633 metri quadrati con un'estensione totale di 1334 metri quadrati. L'altezza d'interpiano interna è di 3,25 m, escluso lo spessore del solaio intermedio pari a 0,25 m.



Immagine n°21: vista laterale scuola



Immagine n°22: vista laterale scuola



Immagine n°23: vista ingresso principale scuola



Immagine n°24: Pianta piano terra, 671 m²



Immagine n°25: pianta primo piano, 633 m²

Per la realizzazione è stata adottata una metodologia costruttiva con pannelli in legno pre-assemblati in fabbrica e semplicemente posati in opera. Nell'edificio troviamo pareti con uno spessore variabile, per le pareti portanti troviamo spessori dai 30 ai 44 cm. Per quanto riguarda invece le pareti con sola funzione divisoria, gli spessori variano tra i 10 ed i 15 cm. La costruzione è completata da solaio d'interpiano e solaio di copertura rigorosamente entrambi in legno (le cui stratigrafie complete saranno visibili successivamente), con il posizionamento di una lamiera sul tetto. Tutti i materiali scelti presentano caratteristiche per garantire ottime prestazioni energetiche, di isolamento termico ed acustico, nonché corrispondenti ai requisiti per edifici NZEB. L'illuminazione è a led, dotata di un sistema per la regolazione del flusso luminoso in base alla luce esterna. L'accensione è attivata da sensori di movimento.

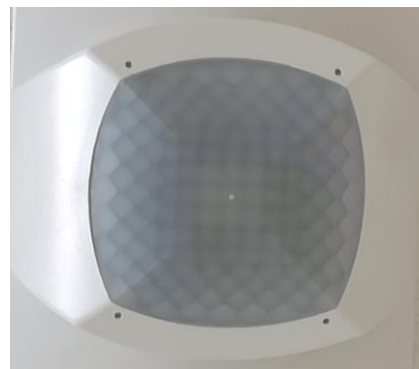


Immagine n°26: luce a led utilizzata internamente *Immagine n°27: sensore di movimento sul soffitto*

Gli impianti di riscaldamento e refrigerazione sono a pavimento con funzionamento per mezzo di una pompa di calore. Il sistema a pavimento radiante permette una termoregolazione interna, con la formazione delle migliori condizioni termo-igrometriche per gli occupanti.



Immagine n°28: pompa di calore posizionata sul tetto

La dispersione energetica è minima, per via anche del posizionamento dell'impianto. Infatti, esso si trova tra uno strato di isolamento ed una soletta, per poi trovare superiormente il pavimento. Il sistema è alimentato con un sistema fotovoltaico posizionato sul tetto dell'edificio, il quale genera

una potenza complessiva di 21000 W.



Immagine n°29: pannelli fotovoltaici sul tetto

In tutta la struttura è presente un sistema d'aerazione. L'obiettivo della ventilazione meccanica, progettata in base ad un determinato ricambio orario, consiste nell'aumentare la qualità dell'aria interna e quindi diminuire i rischi per la salute degli occupanti. In particolare troviamo un sistema d'aerazione che si suddivide nella zona mensa, questo per il rispetto delle normative vigenti in materia. L'intero sistema impiantistico è stato progettato per avere il massimo risparmio energetico, la miglior efficienza e minimizzare i consumi generali. Infatti, all'interno della struttura non è presente gas, ma l'intera scuola funziona solo per mezzo dell'energia elettrica in parte da essa prodotta. L'edificio all'interno è caratterizzato da scelte cromatiche vivaci, studiate per consentire un'ottimizzazione della funzione visiva delle lavagne multimediali e per rendere gradevoli le aule e gli altri spazi.

Capitolo 6. Simulazione dinamica

6.1 Creazione del modello su Design Builder

Design Builder consente di comporre le geometrie del modello grazie al modellatore 3D: nella sezione *layout*, è stato possibile costruire l'edificio a partire dall'importazione di un formato CAD in 2D. Il passaggio successivo è stato la realizzazione delle pareti del modello con al loro interno i relativi materiali di progetto. Si è andati a ricreare la loro stratigrafia di progetto e ad ogni elemento è stato assegnato un coefficiente di conducibilità. L'alternativa era il calcolo automatico da parte del software. La costruzione del modello è avvenuta seguendo la suddivisione per livelli realizzata dal programma. Livelli visibili a sinistra dell'interfaccia nel "navigatore", esso è costituito da:

- *sito*: consente di assegnare la località scelta per le analisi, i relativi dati climatici e le normative di riferimento. Le analisi verranno eseguite per la località di Ancona, utilizzando i dati climatici contenuti nella banca dati fornita dal DOE;
- *edificio*: riassume tutte le caratteristiche del modello e consente di gestire a livello globale le soluzioni o scelte adottate; di conseguenza, utilizzando questo livello, vengono settate le stesse soluzioni per l'intero edificio;
- *blocco*: l'edificio è composto da più blocchi, in questo caso i diversi piani; lavorando a questo livello, vengono settati i parametri relativi al singolo blocco. I blocchi si dividono per tipologia in "blocchi edificio", "blocco di outline" e "blocco componente". Nel caso in esame, sono stati creati due blocchi edificio, uno per il piano terra e uno per il piano primo, i quali contengono le informazioni relative all'ambiente interno definite a livello di zona;
- *zona*: è ciò che caratterizza il comportamento termico dell'edificio in quanto vengono assegnate a questo livello le condizioni termiche interne; è possibile avere diverse zone termiche all'interno dello stesso edificio, come ad esempio locali non riscaldati. Nella configurazione presente sono state considerate tante zone termiche quante sono le aule e le stanze della scuola;
- *superficie*: riassume i settaggi delle singole superfici componenti l'intero edificio, divise per esposizione e tipologia di chiusura (muri perimetrali, solaio contro terra, solaio di copertura, partizioni interne); a questo livello è possibile specificare le caratteristiche di ogni singolo elemento costruttivo. Il modello energetico è stato realizzato con partizioni interne verticali per delimitare ogni zona;
- *collettore solare*: all'interno di questo livello troviamo tutte le impostazioni relative all'impianto fotovoltaico. In particolare le sue informazioni utili sulla costruzione, quindi il tipo di pannello scelto, il materiale di cui è composto e relative opzioni del suo funzionamento.

- *aperture*: a questo livello vengono individuate le singole aperture in ogni parete e consente di specificarne le caratteristiche come per esempio il tipo di vetro scelto.

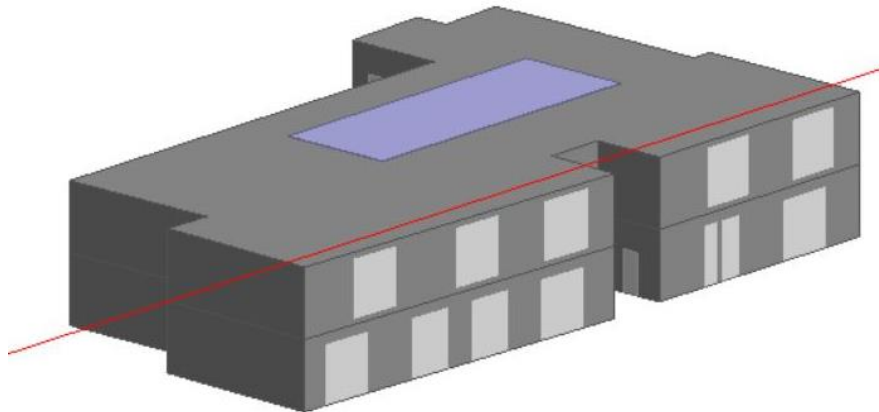


Immagine n°30: modello finale ottenuto

Per verificare se ci fossero delle difformità nel modello a carattere costruttivo, è stato visualizzato nella modalità render del programma. In questa opzione di visualizzazione vengono identificati tutti i materiali esterni che gli abbiamo assegnato, con ognuno di essi un colore differente ed i relativi nomi.

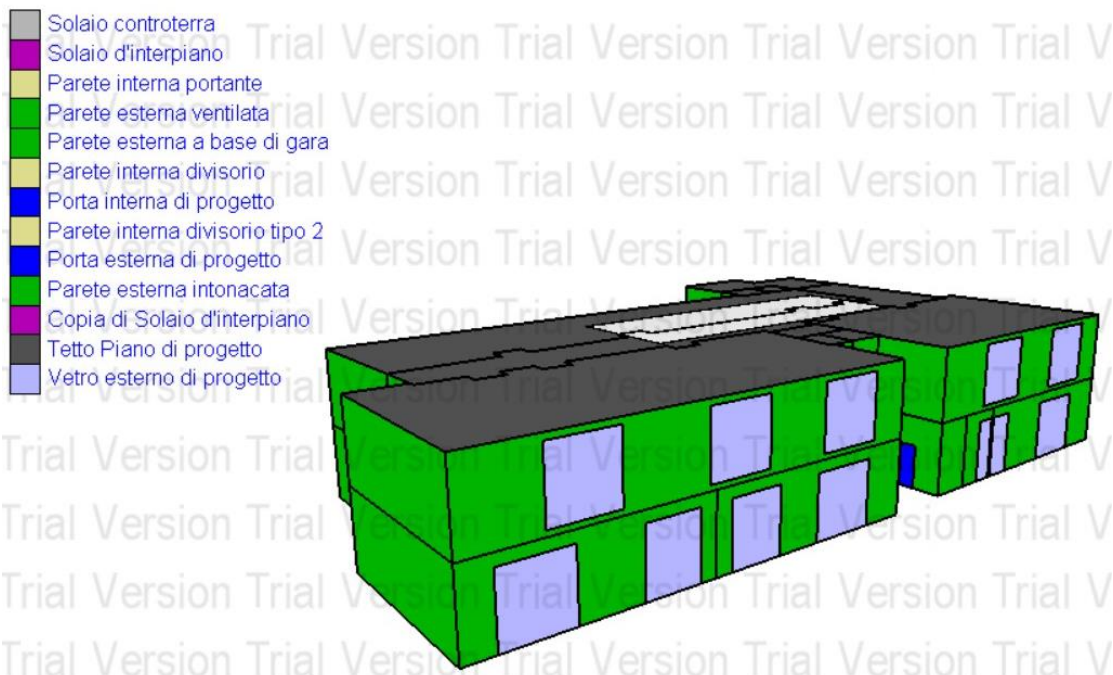


Immagine n°31:render 3D

6.2 Dati inseriti nel modello

Una volta terminato il modello si è proceduto all'inserimento dei dati climatici, nella sezione "sito". In primis è stata selezionata la località (Ancona), poi le coordinate geografiche. Quest'ultime consistono in latitudine e longitudine, nonché zona climatica ASHRAE. Poi è stata la volta dei dettagli geomorfologici del luogo quindi: altezza sopra il livello del mare, esposizione al vento e orientamento del luogo. In seguito si è passati all'inserimento del file climatico (con estensione

.epw). Questo ha un'importanza fondamentale nel modello, in particolare nelle simulazioni energetiche che verranno descritte successivamente. Infatti, al suo interno sono presenti dati come: temperatura a bulbo secco e umido, pressione atmosferica, radiazione solare diretta e diffusa, precipitazioni e temperature mensili. Questo file rappresenta quindi tutte le condizioni al contorno della località nella quale è ubicato l'edificio. Sono infatti necessari tutti questi dati elencati precedentemente per effettuare una simulazione energetica e termodinamica del modello.

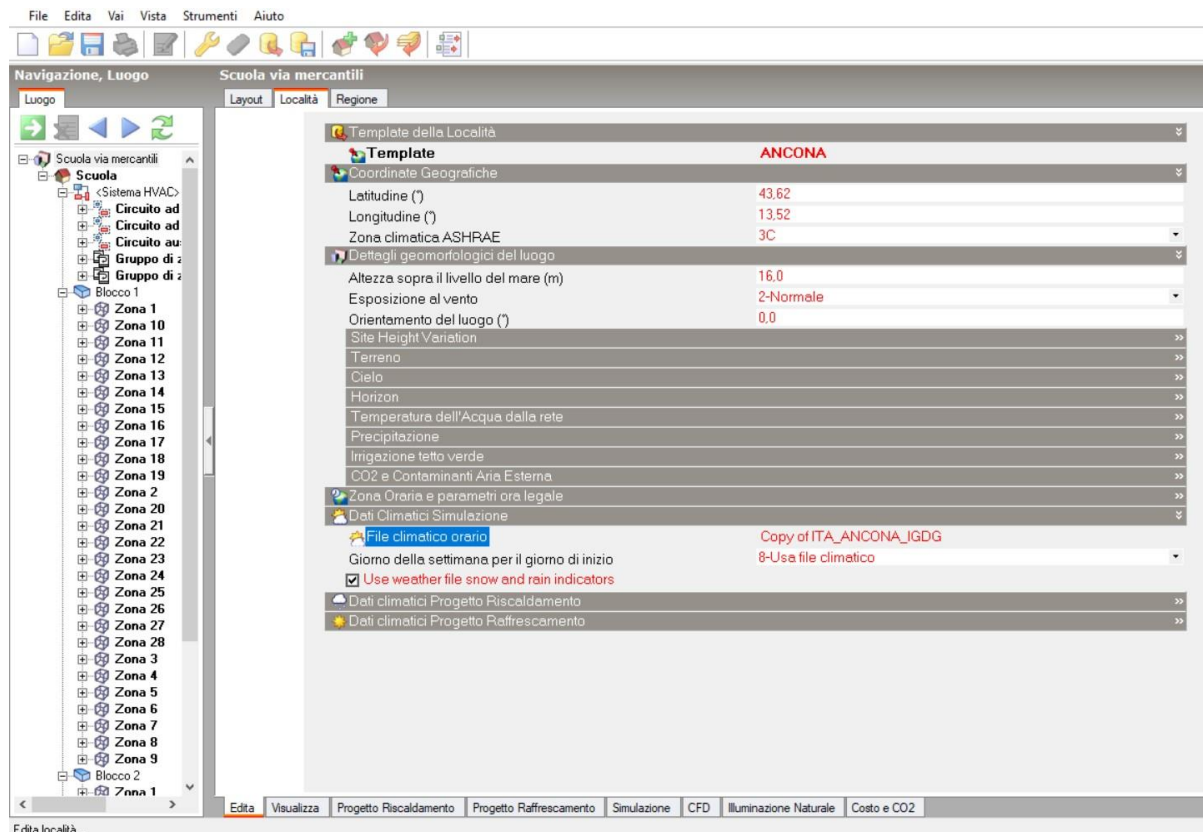


Immagine n°32: dati climatici

La fase successiva è stata l'implementazione dei dati nel pannello delle "attività", che vengono svolte all'interno della scuola. In particolare il programma chiede:

- il tipo di attività che vengono svolte all'interno, infatti è stato scelto il template "teaching areas".
- Il tasso di occupazione medio dell'edificio, è stato dato un dato medio di 0,55 persone/mq.
- Il programma con gli orari di funzionamento della scuola
- le vacanze, giorni nei quali la scuola rimane chiusa
- Le temperature di setpoint per raffrescamento e riscaldamento

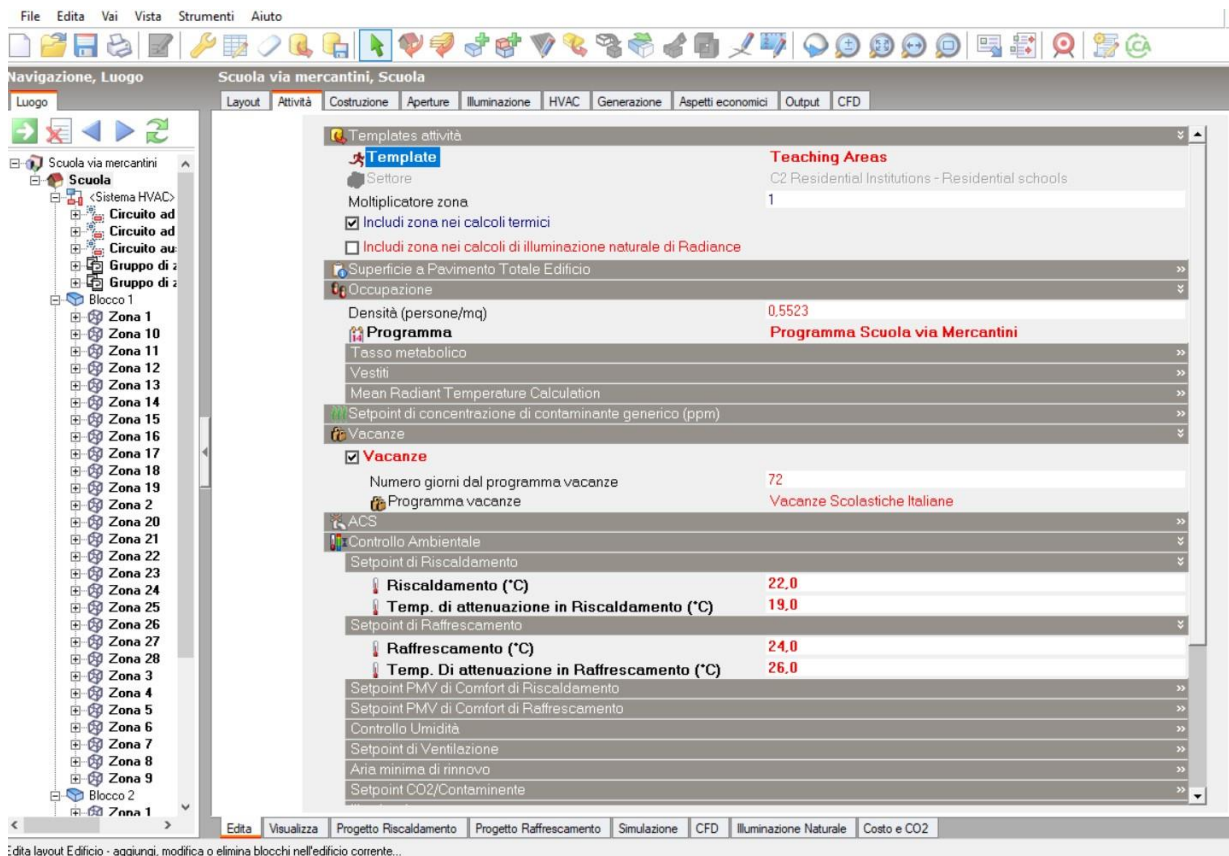


Immagine n°33: dati attività

Per temperatura di setpoint si intende la massima temperatura consentita all'interno degli ambienti, mentre per temperatura di attenuazione si intende la minima consentita. Esse riguardano gli impianti di riscaldamento, raffrescamento e di ventilazione. Nella stagione invernale il setpoint di riscaldamento è stato fissato a 22°C mentre la temperatura di attenuazione a 19°C. Per quanto riguarda invece quella estiva, sono state impostate rispettivamente le temperature di 24 e 26°C. In questo modo le temperature vengono controllate 365 giorni all'anno, compresi nei periodi di chiusura del plesso scolastico. Infatti, le temperature di attenuazione sono state inserite per avere un controllo nei periodi in cui non c'è occupazione. Inoltre, è stato necessario inserire una temperatura di setpoint per la ventilazione, in particolare un controllo della temperatura interna minima pari a 24 °C. Macchinari e computers non sono stati compresi nelle attività di funzionamento, questo per semplificare il modello ed evitare possibili variabili d'errore nelle simulazioni. Gli orari di funzionamento della scuola sono: dalle 7:45 alle 15:45, dal lunedì al sabato. Per semplicità è stato scelto una tipologia di programmazione del software denominata 7/12. Per quanto riguarda invece alle vacanze, sono stati inseriti i giorni festivi che vengono considerati solitamente nelle scuole italiane, per un totale di 72. Tutti questi dati, sono stati necessari per ottenere delle simulazioni con risultati dettagliati e realistici rappresentanti il funzionamento reale dell'edificio.

Programmi							
Generale							
Generalità							
Nome	Programma Scuola via Mercantini						
Descrizione							
Fonte	ita						
Categoria	Istruzione (non collegio)						
Regione	ITALY						
Tipo di programma	1-Programma 7/12						
Giorni di progetto							
Definizione giorno di progetto	2-Profilo						
Profilo giorno di progetto invernale	On						
Profilo giorno di progetto estivo	On						
Profili							
Mese	Lunedì	Martedì	Mercoledì	Giovedì	Venerdì	Sabato	Domenica
Gen	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Feb	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Mar	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Apr	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Mag	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Giu	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Lug	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Ago	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Set	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Ott	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Nov	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Dic	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off

Immagine n°34: Orari funzionamento scuola

Vacanze		
Generale		
Lista		
Nome	Data di inizio	Numero di giorni
Christmas holidays	22 Dec	10
Easter Holidays	13 Apr	6
Summer Holidays	01 July	31
May Day	1st Monday in May	1
Inizio Scuola	01 September	12
Republic	02 June	1
Immacolata	08 Dec	1
Liberazione	25 April	1
Ognissanti	01 November	1
Christmas Hol. pt. 2	01 January	8

Dati modello

Immagine n°35: Vacanze scuole italiane

Nella costruzione del modello è stato fondamentale la realizzazione delle pareti mediante l'inserimento di ogni strato costituente all'interno del software. In questo modo sono state ricreate esattamente le pareti del progetto reale, il programma evidenzia ogni nuova parete creata in rosso grassetto. Una prima sintesi delle principali create, viene fornita dal pannello costruzione.

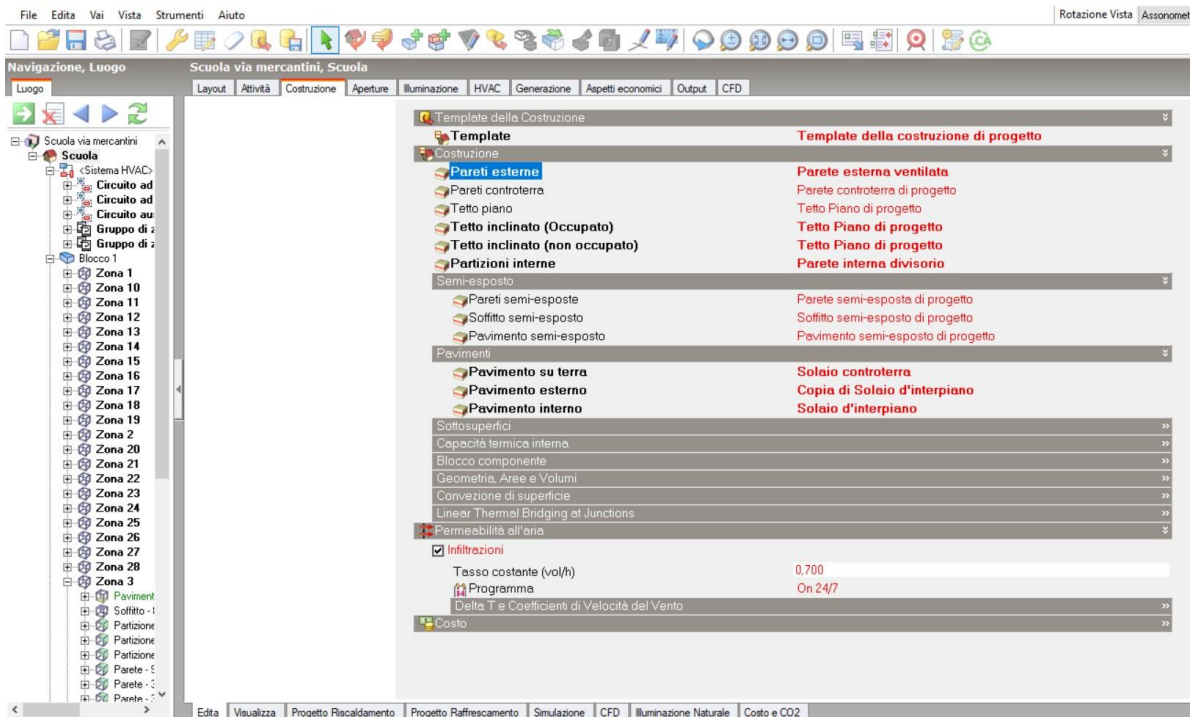


Immagine n°36: Pannello costruzione

Di seguito vengono riportate le immagini ottenute di tutte le stratigrafie delle diverse pareti che compongono il modello. Inoltre vengono indicati anche tutti i valori generati automaticamente dal programma, come per esempio resistenza e trasmittanza.

Costruzioni

Strati Proprietà della superficie Immagine Calcolato Costo

Sezione

Superficie esterna

12.00mm OSB da progetto 12 mm(fuori scala)

50.00mm Air gap 50 mm

80.00mm Mineral fibre/wool - wool

18.00mm OSB da progetto 18 mm(fuori scala)

160.00mm Mineral fibre/wool - wool

18.00mm OSB da progetto 18 mm(fuori scala)

50.00mm Air gap 50 mm

Superficie interna

Costruzioni

Strati Proprietà della superficie Immagine Calcolato Costo Sorgente interna Anali

Superficie più interna	
Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	2.152
Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5.540
Resistenza di superficie (mq-K/W)	0.130
Superficie più esterna	
Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)	19.870
Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)	5.130
Resistenza di superficie (mq-K/W)	0.040
Nessuno strato termicamente eterogeneo	
Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	0.138
Valore-R (mq-K/W)	7.439
Valore-U (W/mq-K)	0.134
Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)	
Spessore muro (m)	0.4270
Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)	23.4000
Limite di resistenza superiore (mq-K/W)	7.439
Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)	7.439
Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)	0.138
Valore-R (mq-K/W)	7.439
Valore-U (W/mq-K)	0.134

Immagine n°37: Parete esterna ventilata

Immagine n°38: Valori delle proprietà calcolati

Costruzioni	
Strati	Proprietà della superficie
Sezione	
Superficie esterna	
13,00mm	Gypsum Plasterboard
60,00mm	MW Stone Wool (standard board)
13,00mm	Gypsum Plasterboard
Superficie interna	

Immagine n°39: Parete divisoria tipo 1

Costruzioni						
Strati	Proprietà della superficie	Immagine	Calcolato	Costo	Sorgente interna	Analisi
Superficie più interna						
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)		2,152			
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)		5,540			
	Resistenza di superficie (mq-K/W)		0,130			
Superficie più esterna						
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)		2,152			
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)		5,540			
	Resistenza di superficie (mq-K/W)		0,130			
Nessuno strato termicamente eterogeneo						
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)		0,594			
	Valore-R (mq-K/W)		1,693			
	Valore-U (W/mq-K)		0,515			
Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)						
	Spessore muro (m)		0,0860			
	Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)		12,7080			
	Limite di resistenza superiore (mq-K/W)		1,943			
	Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)		1,943			
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)		0,594			
	Valore-R (mq-K/W)		1,693			
	Valore-U (W/mq-K)		0,515			

Immagine n°40: Valori delle proprietà calcolate

Costruzioni	
Strati	Proprietà della superficie
Sezione	
Superficie esterna	
13,00mm	Gypsum Plasterboard
13,00mm	Gypsum Plasterboard
100,00mm	MW Stone Wool (standard board)
13,00mm	Gypsum Plasterboard
13,00mm	Gypsum Plasterboard
Superficie interna	

Immagine n°41: Parete divisoria tipo 2

Costruzioni						
Strati	Proprietà della superficie	Immagine	Calcolato	Costo	Sorgente interna	Analisi
Superficie più interna						
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)		2,152			
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)		5,540			
	Resistenza di superficie (mq-K/W)		0,130			
Superficie più esterna						
	Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)		2,152			
	Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)		5,540			
	Resistenza di superficie (mq-K/W)		0,130			
Nessuno strato termicamente eterogeneo						
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)		0,352			
	Valore-R (mq-K/W)		3,100			
	Valore-U (W/mq-K)		0,323			
Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)						
	Spessore muro (m)		0,1520			
	Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)		25,8864			
	Limite di resistenza superiore (mq-K/W)		3,100			
	Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)		3,100			
	Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)		0,352			
	Valore-R (mq-K/W)		3,100			
	Valore-U (W/mq-K)		0,323			

Immagine n°42: Valori delle proprietà calcolate

Costruzioni	
Strati	Proprietà della superficie
Sezione	
Superficie esterna	
25,00mm	Gypsum Plasterboard
50,00mm	Air gap 50 mm
18,00mm	OSB da progetto 18 mm(fuori scala)
160,00mm	MW Stone Wool (standard board)
18,00mm	OSB da progetto 18 mm(fuori scala)
25,00mm	Gypsum Plasterboard
Superficie interna	

Immagine n°43: Parete interna portante

Costruzioni						
Strati	Proprietà della superficie	Immagine	Calcolato	Costo	Sorgente interna	Analisi
Superficie più interna						
Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)				2,152		
Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)				5,540		
Resistenza di superficie (mq-K/W)				0,130		
Superficie più esterna						
Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)				2,152		
Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)				5,540		
Resistenza di superficie (mq-K/W)				0,130		
Nessuno strato termicamente eterogeneo						
Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)				0,203		
Valore-R (mq-K/W)				5,191		
Valore-U (W/mq-K)				0,193		
Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)						
Spessore muro (m)				0,2980		
Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)				47,2776		
Limite di resistenza superiore (mq-K/W)				5,191		
Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)				5,191		
Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)				0,203		
Valore-R (mq-K/W)				5,191		
Valore-U (W/mq-K)				0,193		

Immagine n°44: Valori delle proprietà calcolate

Costruzioni	
Strati	Proprietà della superficie
Sezione	
Superficie esterna	
8,00mm	Levanti/plaster/morta - cement plaster sand aggregate
80,00mm	Mineral fibre/wool - wool fibrous
18,00mm	OSB da progetto 18 mm(fuori scala)
160,00mm	Mineral fibre/wool - wool fibrous
18,00mm	OSB da progetto 18 mm(fuori scala)
50,00mm	Air gap 50 mm
12,00mm	Gypsum Plasterboard(fuori scala)
12,00mm	Gypsum Plasterboard(fuori scala)
Superficie interna	

Immagine n°45: Parete intonacata

Costruzioni						
Strati	Proprietà della superficie	Immagine	Calcolato	Costo	Sorgente interna	Analisi
Superficie più interna						
Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)				2,152		
Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)				5,540		
Resistenza di superficie (mq-K/W)				0,130		
Superficie più esterna						
Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)				19,870		
Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)				5,130		
Resistenza di superficie (mq-K/W)				0,040		
Nessuno strato termicamente eterogeneo						
Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)				0,161		
Valore-R (mq-K/W)				6,379		
Valore-U (W/mq-K)				0,157		
Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)						
Spessore muro (m)				0,3600		
Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)				23,4000		
Limite di resistenza superiore (mq-K/W)				6,379		
Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)				6,379		
Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)				0,161		
Valore-R (mq-K/W)				6,379		
Valore-U (W/mq-K)				0,157		

Immagine n°46: Valori delle proprietà calcolate

Di seguito invece, vengono riportati le stratigrafie dei diversi solai realizzati; contro-terra e d'interpiano.

Costruzioni					Costruzioni							
Strati	Proprietà della superficie	Immagine	Calcolato	Costo	Strati	Proprietà della superficie	Immagine	Calcolato	Costo	Sorgente interna	Analisi	
Sezione					Superficie più interna							
Superficie interna					Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)							0,342
100,00mm Concrete, cast - lightweight					Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)							5,540
300,00mm Aerated Concrete Slab					Resistenza di superficie (mq-K/W)							0,170
200,00mm Brick					Superficie più esterna							
3,00mm Bitumen, pure(fuori scala)					Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)							19,870
100,00mm Concrete, cast - mediumweight					Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)							5,130
80,00mm Polystyrene					Resistenza di superficie (mq-K/W)							0,040
20,00mm Polystyrene(fuori scala)					Nessuno strato termicamente eterogeneo							
40,00mm Concrete, cast - mediumweight(fuori scala)					Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)							0,280
2,00mm Polyvinylchloride(PVC) - tiles(fuori scala)					Valore-R (mq-K/W)							3,779
Superficie esterna					Valore-U (W/mq-K)							0,265
					Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)							
					Spessore muro (m)							0,8450
					Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)							42,0000
					Limite di resistenza superiore (mq-K/W)							3,779
					Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)							3,779
					Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)							0,280
					Valore-R (mq-K/W)							3,779
					Valore-U (W/mq-K)							0,265

Immagine n°47: Solaio controterra

Immagine n°48: Valori delle proprietà calcolate

Costruzioni					Costruzioni							
Strati	Proprietà della superficie	Immagine	Calcolato	Costo	Strati	Proprietà della superficie	Immagine	Calcolato	Costo	Sorgente interna	Analisi	
Sezione					Superficie più interna							
Superficie interna					Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)							0,342
66,00mm Miscellaneous materials - perlite, bitumen bonded					Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)							5,540
12,00mm OSB da progetto 12 mm(fuori scala)					Resistenza di superficie (mq-K/W)							0,170
1,00mm Vapor. seal, 2 layers of mopped 0.73 kg/m2 felt(fuori scala)					Superficie più esterna							
65,00mm Concrete, cast - aerated					Coefficiente convettivo di scambio di calore (W/mq-K)							4,460
10,00mm Cork - board(fuori scala)					Coefficiente radiativo di scambio di calore (W/mq-K)							5,540
40,00mm Cement sand render					Resistenza di superficie (mq-K/W)							0,100
3,00mm Polystyrene(fuori scala)					Nessuno strato termicamente eterogeneo							
40,00mm Concrete, cast - mediumweight					Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)							0,458
2,00mm Polivinilchloride (PVC)(fuori scala)					Valore-R (mq-K/W)							2,453
Superficie esterna					Valore-U (W/mq-K)							0,408
					Con strato termicamente eterogeneo (BS EN ISO 6946)							
					Spessore muro (m)							0,2390
					Cm - Capacità Termica interna (KJ/mq-K)							0,0000
					Limite di resistenza superiore (mq-K/W)							2,453
					Limite di resistenza inferiore (mq-K/W)							2,453
					Valore-U da superficie a superficie (W/mq-K)							0,458
					Valore-R (mq-K/W)							2,453
					Valore-U (W/mq-K)							0,408

Immagine n°49: Solaio d'interpiano

Immagine n°50: Valori delle proprietà calcolate

All'interno della finestra "costruzione", sono stati visualizzati i dettagli dei due solai (controterra e interpiano) per spuntare la casella dalla sorgente interna al pavimento (indicata come una linea blu nelle due foto precedenti). Questo è stato necessario per la progettazione del pavimento radiante, la quale ha richiesto: lo strato dopo il quale la sorgente interna deve essere posizionata, le dimensioni ed il passo delle spire che compongono l'impianto.

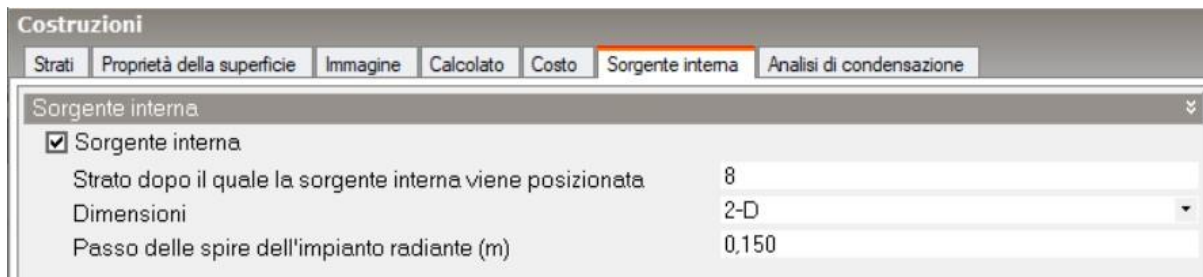


Immagine n°51: Implementazione solai per progettazione del pavimento radiante

Infine viene riportata la stratigrafia del tetto, ultimo elemento realizzato.

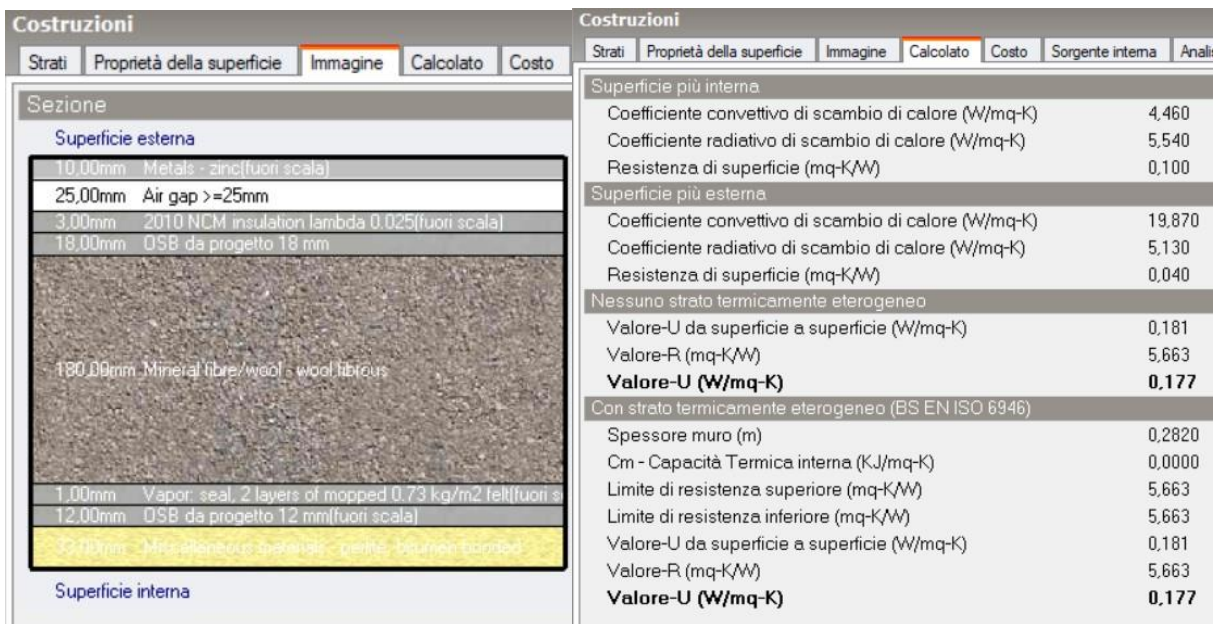


Immagine n°52: Tetto piano di progetto

Immagine n°53: Valori delle proprietà calcolate

Una volta ottenuti questi valori, in particolare la trasmittanza delle parete rivolte verso l'esterno, sono stati confrontati con i quelli forniti dalla legge 10/91. La quale da come riferimento 3 tabelle in funzione dell'anno e della zona climatica dell'edificio, di seguito riportate.

Zona climatica	U _{rif} [W/m ² K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
	A-B	0,45
C	0,38	0,34
D	0,34	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

Immagine n°54: Tabella 1, strutture opache verticali

TABELLA 2 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura , verso l'esterno e ambienti non riscaldati		
Zona climatica	U_{rif} [W/m²K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,38	0,35
C	0,36	0,33
D	0,30	0,26
E	0,25	0,22
F	0,23	0,20

Immagine n°55: Tabella 2, strutture opache orizzontali o di copertura

TABELLA 3 (Appendice A) Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento , verso l'esterno, ambienti non riscaldati o controterra		
Zona climatica	U_{rif} [W/m²K]	
	Dal 1° ottobre 2015	Dal 1° gennaio 2019/2021
A-B	0,46	0,44
C	0,40	0,38
D	0,32	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

Immagine n°56: Tabella 3, strutture opache orizzontali di pavimento

Di seguito viene invece riportato il confronto eseguito.

	Valore trasmittanza ottenuto (W-mq-K)	Valore trasmittanza da normativa (W-mq-K)	Esito
Parete esterna ventilata	0,13	0,29	✓
Parete intonacata	0,16	0,29	✓
Solaio controterra	0,27	0,29	✓
Tetto piano	0,18	0,26	✓

La modellazione è proseguita inserendo i dati richiesti nel pannello aperture, esso permette l'inserimento delle caratteristiche delle finestre all'interno del modello.



Immagine n°58: pannello aperture

Le aperture sono state realizzate nel modello una ad una, pertanto nel settaggio del programma il layout è stato impostato a zero per evitare una generazione automatica delle finestre. Sono state definite le caratteristiche del vetro, quindi: la tipologia inserita, il numero di strati e lo strato d'aria interno. Gli infissi sono in PVC, con doppio vetro separato da uno strato di gas. La stratigrafia è composta da: vetro di progetto 3 mm, gas 13mm, vetro di progetto 3 mm.

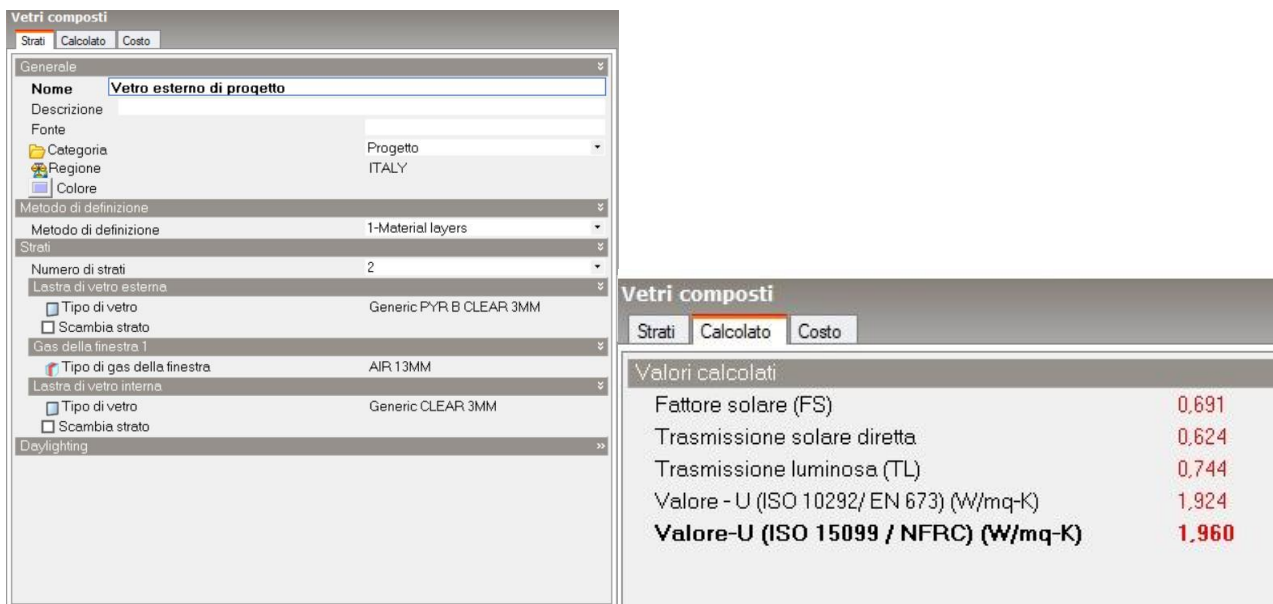


Immagine n°59: Caratteristiche vetro finestra

Immagine n°60: Valori generati automaticamente

Un valore che si nota sicuramente è la bassa trasmittanza, infatti è di 1,9 W/mq-K. La tipologia di infisso di progetto non richiede manutenzione interna e né esterna con un'ottima durabilità nel tempo. Il lavoro di tesi è proseguito impostando il progetto d'illuminazione della scuola, è stata inserita un'illuminazione a LED controllata. Una tipologia che permette un importante risparmio energetico nel tempo ed un'ottima durabilità di queste luci; nel rispetto dei criteri per edifici NZEB. Nella scuola sono necessari circa 400 lux, ma con l'utilizzo di luci a LED la potenza impostata è di 2,5 W/mq-100 lux. Rispetto a luci tradizionali, c'è un risparmio di circa 1,5 W/mq-100lux. Il

funzionamento delle luci è stato settato in base ai periodi d'occupazione della scuola.

The screenshot displays a software interface for lighting control, titled "Template di Illuminazione". The main template is "LED with linear control". The interface is organized into several sections:

- Illuminazione Generale:** Includes a checked "On" status, a normalized power density of 2,5000 W/mq-100 lux, a selected program "Programma Scuola via Mercantini", and a lighting type of "1-Sospeso". Other parameters include Return air fraction (0,000), Radiant fraction (0,420), Visible fraction (0,180), and Convective fraction (0,400).
- Controllo Illuminazione:** Also checked "On", with a plane height of 0,80 m and a control type of "1-Lineare". It specifies a minimum light fraction of 0,100 and a minimum electrical power fraction of 0,100. Below these are expandable sections for "Abbagliamento", "Illuminazione Zona 1", and "Illuminazione Zona 2".
- Illuminazione per attività specifiche:** Currently unchecked.
- Illuminazione esterna:** Currently unchecked.
- Costo:** A section at the bottom with an expandable arrow.

Immagine n°61: Progetto d'illuminazione scuola

6.2.1 Implementazione dati HVAC

La fase successiva ha visto protagonista l'implementazione dei dati HVAC. Un pannello presente nel programma che descrive tutti gli aspetti legati all'impiantistica, viene richiesto inizialmente un template che descriva l'impianto dell'edificio in modo generico. Esso è stato modificato per rappresentare al meglio un sistema impiantistico, alimentato solamente ad energia elettrica, costituito da: un pavimento radiante che fornisce allo stesso tempo riscaldamento e raffrescamento ed un sistema di tubazioni nel controsoffitto per una ventilazione programmata con ricambi d'aria orari. L'intero sistema impiantistico funziona per mezzo di una pompa di calore esterna, la quale raffredda o riscalda l'acqua (il fluido termovettore) all'interno delle serpentine sotto il pavimento e allo stesso tempo aziona la ventilazione quando necessario. La pompa di calore è una macchina in grado di prelevare energia termica da un ambiente a bassa temperatura e cederla ad un altro ambiente a temperatura più elevata. Funziona tramite un principio analogo a quello del comune frigorifero. Questo processo è inverso a quello che avviene spontaneamente in natura, così la pompa di calore necessita di energia (in questo caso elettrica) per il suo funzionamento. In inverno un fluido preleva l'energia termica a bassa temperatura dall'esterno tramite uno scambiatore di calore (evaporatore) e lo cede all'ambiente da riscaldare, a un livello di temperatura più elevato. Quando la pompa viene definita "reversibile", come in questo caso, si può utilizzare anche d'estate per il raffrescamento degli ambienti. In pratica, è possibile utilizzare la stessa

apparecchiatura per invertire il ciclo e abbassare la temperatura dell'ambiente. La temperatura interna dell'ambiente viene regolata da termostati, sensori e valvole che in base alle impostazioni fornite al programma, regolano l'andamento e la temperatura del flusso termovettore. Una scelta di un impianto rispettosa per l'ambiente, che favorisce bassi consumi elettrici e basse emissioni di CO₂. Il pavimento radiante scambia calore con l'ambiente per irraggiamento dal basso verso l'alto, una tecnologia che permette una trasmissione del calore nelle stanze ottimale e soprattutto permette di mantenere la temperatura interna costante senza eccessivi consumi. Per rispettare tale filosofia infatti, è sufficiente avere il fluido al suo interno anche a basse temperature che solitamente si aggirano attorno ai 30/40 °C. Se si considera che gli impianti a radiatori più comuni, hanno temperature attorno ai 70 °C il risparmio energetico è evidente. Si possono sintetizzare i vantaggi di un riscaldamento a pavimento come:

- diffusione del calore costante, con l'obiettivo di un benessere termo-igrometrico globale
- migliora la qualità dell'aria, evitando la circolazione di polvere
- migliora le condizioni igieniche, quindi evita la formazione di zone umide, acari o muffe
- risparmio energetico del 30%
- numero degli interventi di manutenzione minore

Per permettere il riscaldamento per irraggiamento del pavimento radiante, è necessario realizzare al di sopra dell'impianto un così detto massetto a regola d'arte. Esso assume la funzione di "piastra scaldante", una volta che l'impianto entra in funzione. Per garantire il funzionamento corretto del sistema scaldante è necessario seguire le indicazioni del fornitore dei materiali per il massetto. Infatti esso deve mantenere le sue caratteristiche di durabilità nel tempo e ovviamente un'ottima conducibilità termica. Solitamente per garantire queste funzionalità, il fornitore consiglia un additivo apposito da aggiungere al composito. Tuttavia prima di gettare il massetto, si consiglia di "mettere in pressione" l'impianto. Significa portare la pressione delle tubazioni ad un valore superiore a quelle d'esercizio per testare l'impianto e verificarne il funzionamento corretto, nonché determinare una dilatazione del diametro del tubo. In questo modo quando l'acqua si scalda, la serpentina si può allargare senza causare rotture nel massetto.



Foto n°62: pavimento radiante



Foto n°63: posa massetto

Di seguito viene riportata la foto del pannello HVAC.

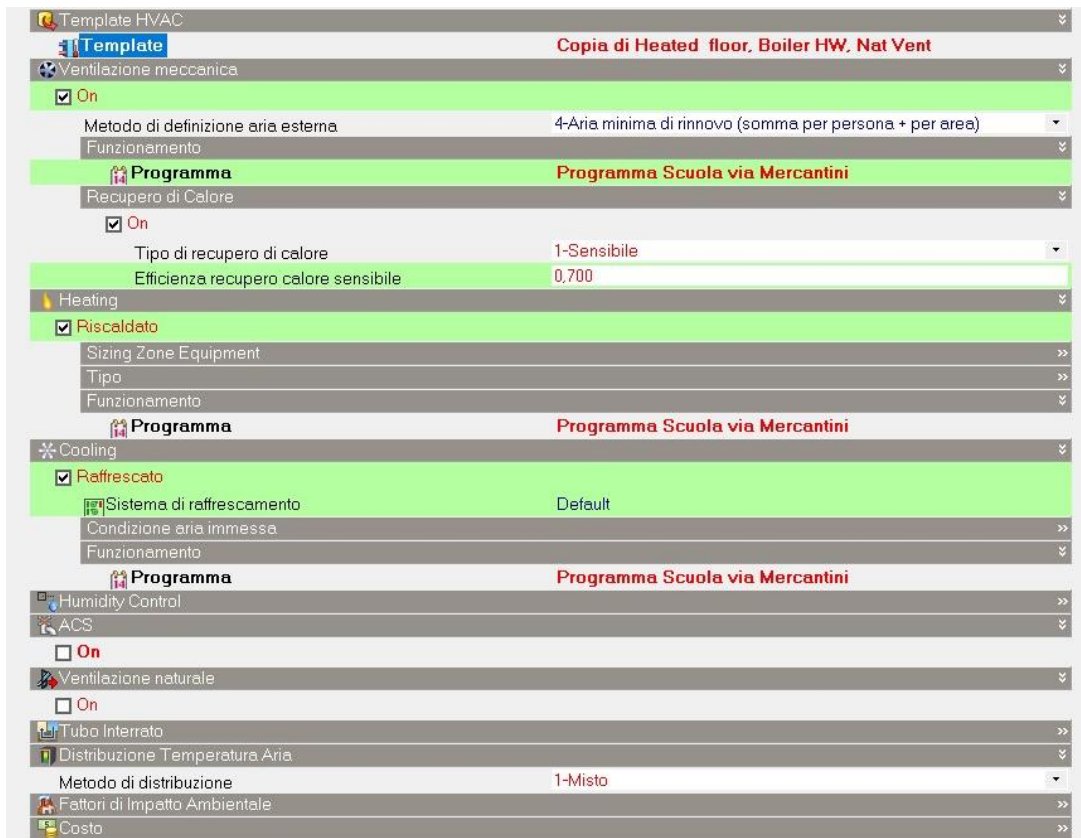


Immagine n°64: pannello HVAC

Il template HVAC è stato modificato con i dati reali di progetto, per ottenere una simulazione energetica veritiera. In particolare nella sezione ventilazione sono state selezionate le voci per “ventilazione naturale”, “ventilazione meccanica” e recupero di calore.

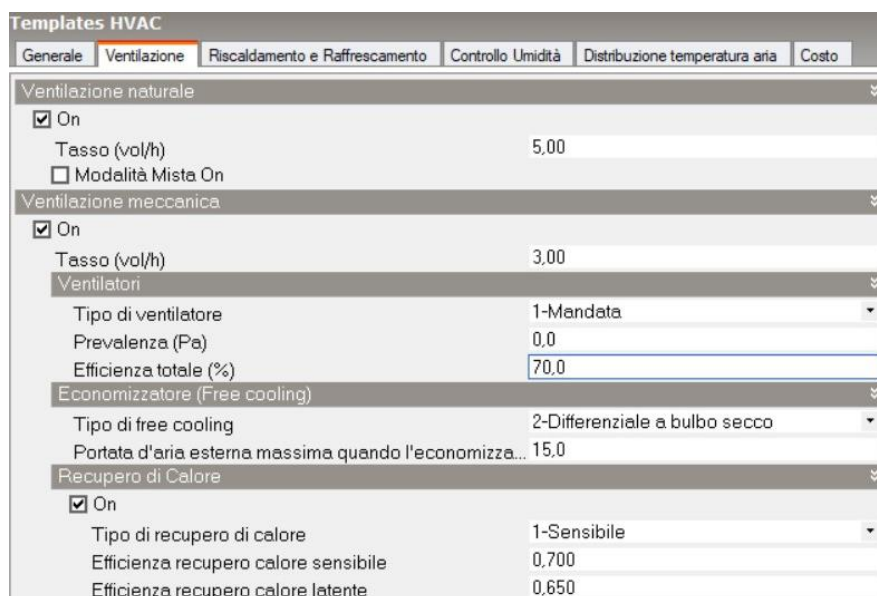


Immagine n°65: modifica template HVAC, ventilazione

Per quanto riguarda la sezione seguente di riscaldamento e raffrescamento, le due voci presenti sono state selezionate entrambi. Nello specifico il riscaldamento è stato programmato con un funzionamento ad energia elettrica dalla rete con una tipologia radiante/convettivo.

The screenshot shows the 'Templates HVAC' window with the 'Riscaldamento e Raffrescamento' tab selected. The 'Riscaldamento' section is expanded, showing the following settings:

Parameter	Value
<input checked="" type="checkbox"/> On	
Semplice Unità HVAC e Combustibile Unitario	1-Elettricità dalla rete
Preriscaldamento (hr)	1,0
CoP stagionale del sistema di riscaldamento	4,20
Tipo di sistema di riscaldamento	2-Radiante/Convettivo
Condizione aria immessa	
Temperatura massima aria immessa (°C)	35,00
Tasso massimo di umidità aria immessa (g/g)	0,016

The 'Raffrescamento' section is also expanded, showing the following settings:

Parameter	Value
<input checked="" type="checkbox"/> Raffrescamento On	
Preraffrescamento (hr)	0,0
CoP stagionale del sistema di raffrescamento	3,00
Condizione aria immessa	
Temperatura minima aria immessa (°C)	12,00
Tasso minimo di umidità aria immessa (g/g)	0,008

Immagine n°66: modifica template HVAC, riscaldamento e raffreddamento

Sono stati inseriti i valori di EER=3 (COP per il raffrescamento) e del COP=4,2 (per il riscaldamento). Quest'ultimo è il *Coefficiente di Prestazione (COP)*, che è il rapporto fra l'energia termica fornita all'ambiente che vogliamo climatizzare e l'energia elettrica fornita in ingresso. Ad esempio, una pompa di calore con COP 4,2 fornisce 4,2 kWh termici a fronte di 1 kWh elettrico per alimentarla. Questo tipo di COP è noto come *COP termico*. Per quanto riguarda invece l'EER è l'*Indice di Efficienza Energetica* ed è utilizzato per esprimere il rendimento della pompa di calore nella fase di raffrescamento. Esso indica l'efficienza elettrica del climatizzatore e la sua formulazione è analoga al COP, con l'unica differenza che l'EER, riferendosi ai cicli frigoriferi, pone la sua attenzione sul calore asportato dalla sorgente fredda. Un EER pari a 3 significa che, per ogni kWh elettrico speso, il condizionatore o la pompa di calore ne fornisce ben 3 sotto forma di energia frigorifera. Quindi, più il valore dell'EER è alto e più l'unità è efficiente.

6.3 HVAC dettagliato

Per ottenere all'interno del modello un impianto più realistico e dettagliato possibile, è stato utilizzato "HVAC dettagliato".

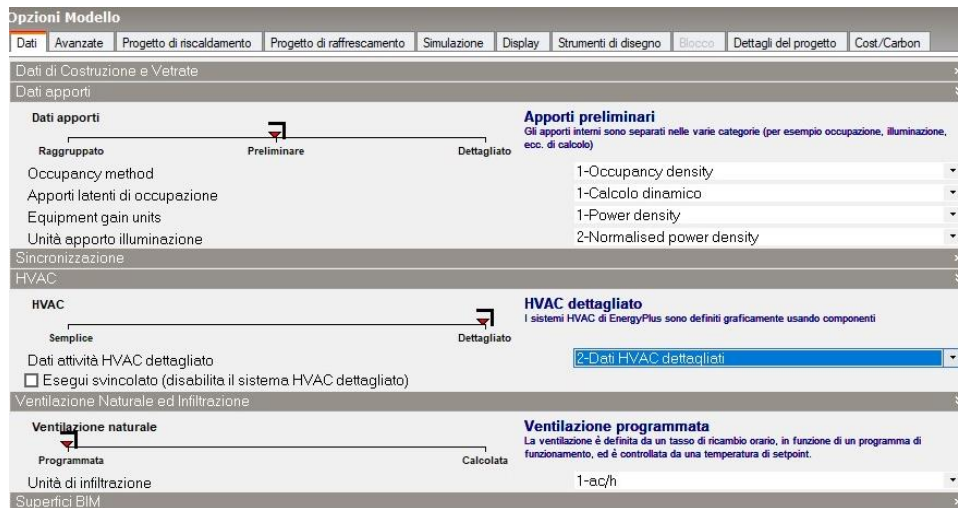


Immagine n°67: HVAC dettagliato

Nel software sono stati creati due gruppi di zone che comprendessero tutte le stanze presenti nel progetto. In particolare è stata differenziata tutta la zona mensa rispetto al resto dell'edificio. Per descrivere l'impianto al meglio, il template inizialmente assegnato per la sua descrizione, è stato implementato. In particolare questa modalità del programma, prevede una modellazione dell'impianto componente per componente. Ad ogni elemento sono state assegnate le caratteristiche di progetto, con l'obiettivo di ottenere un modello HVAC totalmente rispondente a quello reale. L'impianto è stato modellato per ottenere un riscaldamento/raffrescamento a pavimento ed un ricambio d'aria per mezzo di due sistemi UTA, rispettivamente uno per ogni gruppo di zona. Il pavimento radiante è costituito da tubi di mandata e altrettanti di ritorno. Anche l'UTA ha un funzionamento simile, viene definito come un'unità trattamento aria ed è costituito da una bocchetta di mandata dell'aria ed una di ripresa.

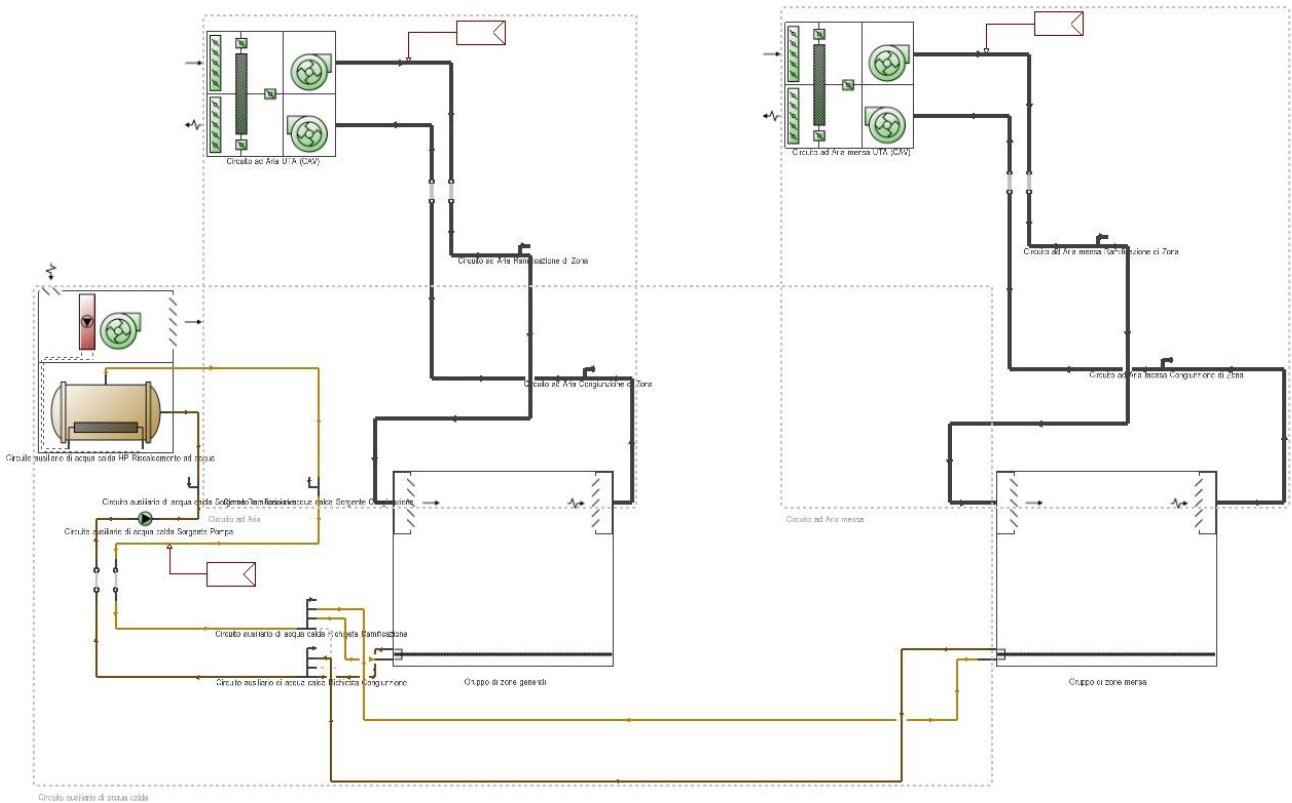


Immagine n°68: schema impianto

La fase successiva ha riguardato la progettazione dettagliata dei due elementi UTA (definiti dal software air-loop). Inizialmente sono stati modificati i settaggi di dimensionamento dell'elemento nonché le temperature d'ingresso nel circuito.

Modifica Circuito ad Aria -

Circuito ad Aria	
Circuito ad aria	
Generale	
Nome	Circuito ad Aria
Dimensionamento	
Portata aria esterna di progetto (mc/s)	Autosize
Opzione di dimensionamento	2-Coincidente
Tipo di carico per il dimensionamento	2-Ventilation requirement
Metodo aria esterna del sistema	1-Somma Zona
Frazione di aria esterna massima di zona	1.000
Riscaldamento	
Temperatura di pre riscaldamento di progetto (°C)	5,00
Tasso di umidità di pre riscaldamento di progetto	0,0080
Temperatura di progetto aria immessa nella centrale di...	18,00
100% aria esterna di riscaldamento	1-No
Umidità di progetto dell'aria di immissione nella central...	0,008
Metodo di progetto per il flusso d'aria di riscaldamento	1-Giorno di progetto
Raffreddamento	
Temperatura pre raffreddamento di progetto (°C)	11,00
Tasso di umidità di pre raffreddamento di progetto	0,0080
Temperatura di progetto aria immessa nella centrale di...	12,00
100% aria esterna di raffreddamento	1-No
Umidità di progetto dell'aria di immissione nella central...	0,0080
Metodo di progetto per il flusso d'aria di raffreddamento	1-Giorno di progetto

Immagine n°69: Modifica setting circuito ad aria



La portata d'aria viene calcolata automaticamente dal sistema, l'opzione di dimensionamento invece è stata impostata su coincidente, mentre il tipo di carico è stato selezionato "Ventilation requirement". Per quanto riguarda le temperature, l'unica modificata rispetto ai dati di default è stata quella di progetto per l'aria immessa, con un valore pari a 18°C. In seguito, si è andati a modificare, in entrambi, le impostazioni del circuito ad aria "lato sorgente". Nel pannello dati generali è stato inserito il programma di funzionamento della scuola.

Modifica Unità di trattamento dell'aria -

Unità di trattamento dell'aria

Generale | Sistema dell'Aria Esterna

Generale

Nome: Circuito ad Aria.UTA

Tipo di ventilatore: 1-Volume costante

Portata di progetto dell'aria di immissione (mc/s): Autosize

Funzionamento

Programma di disponibilità: Programma Scuola via Mercantini

Ciclo Notturno

On

Ventilatore di Estrazione

Includi ventilatore di estrazione

Componente di Zona Modalità Mista

Modalità Mista On

Immagine n°70: Dati generali air loop

Si è deciso di utilizzare un tipo di programma "7/12", rispetto a quello "compatto" è sicuramente di più facile intuizione e compilazione. La tipologia scelta permette comunque una programmazione funzionale. La tabella, con i giorni e gli orari della scuola viene riportata di seguito.

Programmi

Generale

Generalità

Nome: Programma Scuola via Mercantini

Descrizione:

Fonte: ita

Categoria: Istruzione (non collegio)

Regione: ITALY

Tipo di programma: 1-Programma 7/12

Giorni di progetto

Definizione giorno di progetto: 2-Profili

Profilo giorno di progetto invernale: On

Profilo giorno di progetto estivo: On

Profili

Mese	Lunedì	Martedì	Mercoledì	Giovedì	Venerdì	Sabato	Domenica
Gen	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Feb	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Mar	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Apr	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Mag	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Giu	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Lug	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Ago	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Set	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Ott	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Nov	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off
Dic	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	7:45 to 15:45	Off

Immagine n°71: Orari funzionamento scuola



In seguito, dal pannello “sistema dell’aria esterna”, sono state selezionate le voci per il “ricircolo” ed il “recupero di calore”; anche qui sono stati inseriti gli orari della scuola.

Modifica Unità di trattamento dell'aria -

Unità di trattamento dell'aria

Generale Sistema dell'Aria Esterna

Ricircolo

On

Portata minima aria esterna (mc/s) Autosize

Portata massima aria esterna (mc/s) Autosize

Tipo di limite minimo 2-Minimo fisso

Economizzatore (Free cooling)

Tipo di controllo dell'economizzatore 1-Senza economizzatore

Programma Aria Esterna

Domanda Ventilazione Meccanica

Recupero di calore

On

Generale

Portata nominale dell'aria di immissione (mc/s) Autosize

Potenza elettrica nominale (W) 0,000

Controllo della temperatura di uscita dell'aria di alimentazione 1-No

Tipo di scambiatore di calore 1-A piastre

Chiusura quando funziona l'economizzatore 1-Si

Efficacia

Sensibile

al 75% Del flusso d'aria di riscaldamento	0,750
al 75% Del flusso d'aria di raffreddamento	0,750
al 100% Del flusso d'aria di riscaldamento	0,700
al 100% Del flusso d'aria di raffreddamento	0,700

Latente

al 75% Del flusso d'aria di riscaldamento	0,000
al 75% Del flusso d'aria di raffreddamento	0,000
al 100% Del flusso d'aria di riscaldamento	0,000
al 100% Del flusso d'aria di raffreddamento	0,000

Controllo Antigelo

Tipo di controllo del gelo 1-Nessuno

Operazione di Recupero del Calore

Programma di disponibilità Programma Scuola via Mercantini

Immagine n°72: Dati recupero calore

La fase successiva ha visto la modifica dei dati per la pompa di calore necessaria al funzionamento del pavimento radiante. Il procedimento è stato simile, è stato modificato il circuito ausiliario dell’acqua calda lato sorgente. L’implementazione dei dati, anche in questo ha visto l’inserimento del programma di funzionamento del plesso scolastico sia nel funzionamento generale della pompa, che nelle impostazioni del compressore della macchina.

Modifica Riscaldatore d'acqua a pompa di calore -

Riscaldatore d'acqua a pompa di calore	
Generale	
Generale	
Nome	Circuito ausiliario di acqua calda HP Riscaldame
Programma di disponibilità	Programma Scuola via Mercantini
Impostazioni del compressore	
Programma della temperatura di setpoint del compressore	Programma Scuola via Mercantini
Differenza di temperatura della banda morta (deltaC)	5,00
Temperatura minima di ingresso per il funzionamento del compressor...	-10,00
Posizione del compressore	3-Esterno
Impostazioni della portata	
Portata d'acqua al condensatore (mc/s)	Autocalculate
Portata d'acqua all'evaporatore (mc/s)	Autocalculate
Impostazioni dell'aria in ingresso	
Configurazione dell'aria in ingresso	3-Solo aria esterna
Impostazioni del ventilatore	
Posizionamento del ventilatore	2-Aspirante
Impostazione del carico parassita	
On cycle parasitic electric load (W)	0,00
Off cycle parasitic electric load (W)	0,00
Posizione del rigetto di calore del carico parassita	2-Esterni

Immagine n°73: Dati pompa di calore

L'implementazione dei dati ha riguardato anche i pannelli fotovoltaici presenti sul tetto. Un sistema fotovoltaico ha come unità fondamentale la cella, essa da sola produce circa 1,5 W. Queste celle vengono connesse insieme per formare unità di maggiore potenza dette "moduli". In questo modo si possono ottenere impianti fotovoltaici dalla potenza da noi voluta. Il nostro sistema ha una potenza di 21 Kw come da progetto ed occupa una superficie di circa 98 m².

Costruzione	
Collettore Solare	
Tipo di collettore solare	2-Fotovoltaico
Depth (m)	0,025
Costo (GBP/m2)	600,000
<input checked="" type="checkbox"/> Ombre e riflessioni	
Livello	1-Edificio
Materiale	Bitumen Felt
Flat surface position	2-Lower surface
Opzioni Fotovoltaico	
Tipo di prestazione	1-Semplice
Modello di prestazione	PV Constant Efficiency = 0.15
Modalità di integrazione trasmissione di calore	1-Disaccoppiato

Immagine n°74: Caratteristiche costruttive pannelli fotovoltaici

Generale	
Lista Generatori	
Generale	
Nome	Copia di DC with inverter
Schema operativo	1-Base load
Tipo di bus elettrico	3-Corrente Continua Con Inverter
Inverter	Copia di Example Inverter - Simple
Costo	
Distribuzione e costi elettrici (GBP)	600,00

Immagine n°75: Dettagli tecnologici pannelli fotovoltaici

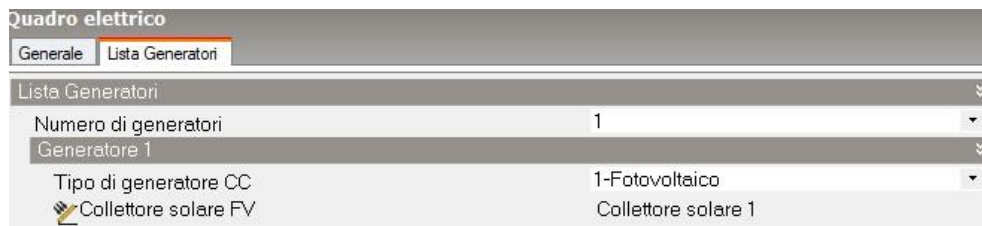


Immagine n°76: Dettagli tecnologici pannelli fotovoltaici

L'impianto viene ovviamente collegato alla rete elettrica del plesso scolastico, per questo motivo viene definito "grid connected". L'impianto fotovoltaico è stato dimensionato in base ai CAM, i quali affermano che deve produrre un valore d'energia pari ad un ulteriore 10% rispetto a quanto indicato nel D.Lgs 28/2011, allegato 3 punto 1). Tale documento recita che: "Gli impianti di produzione di energia termica devono essere progettati e realizzati in modo da garantire il contemporaneo rispetto della copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, del 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria e delle seguenti percentuali della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento:

- a) il 20% quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentata dal 31 maggio 2012 al 31 dicembre 2013;
- b) il 35% quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è presentata dal 1° gennaio 2014 al 31 dicembre 2016;
- c) il 50% quando la richiesta del pertinente titolo edilizio è rilasciato dal 1° gennaio 2017.

Il caso studio impone quindi una percentuale da soddisfare del 50% alla quale deve essere aggiunta un valore del 10% per via delle normative CAM. Da quanto risulta dalle simulazioni energetiche annuali condotte successivamente, questo requisito è stato soddisfatto. Infatti, di seguito viene riportata una tabella con i consumi relativi all'impianto elettrico e fotovoltaico della scuola.

Pannelli fotovoltaici	
Impianto elettrico presente	19116 (Kwh)
Energia prodotta dal fotovoltaico	14143 (Kwh)
Percentuale di copertura minima da normativa	60%
Percentuale di copertura effettiva	74%
Esito	✓

6.3.1 Progetto di riscaldamento invernale

Il riscaldamento avviene per mezzo del riscaldamento dell'acqua all'interno delle tubazioni sotto al pavimento. Il progetto di riscaldamento invernale si basa sul calcolo del fabbisogno energetico nel giorno ritenuto più freddo. L'obiettivo di questa parte era mantenere la temperatura dell'ambiente all'interno del range determinato da quella di setpoint pari a 22°C e quella di attenuazione pari a 19°C. I dati necessari da inserire per avviare questo procedimento, sono quelli precedentemente elencati. Quelli ottenuti come output sono rispettivamente due tabelle con grafici. La prima definisce:

- Temperatura dell'aria = 22°C
- Temperatura radiante = 20,2°C
- Temperatura operante = 21,1°C
- Temperatura esterna a bulbo secco = -1,8°C
- Umidità relativa = 19,9%
- Vent. Meccanica + vent Naturale + infiltrazioni = 6,2 Vol/h

La seconda invece definisce le dispersioni dell'involucro e della ventilazione, in particolare abbiamo dati inerenti a:

- Vetrata = -6,6 Kw
- Pareti = -4,9 Kw
- Soffitti (interni) = -0,2 Kw
- Pavimenti (interni) = -0,2 Kw
- Pavimenti (controterra) = -0,5 Kw
- Partizioni (interne) = 0,0 Kw
- Tetti = -2,9 Kw
- Infiltrazione esterna = -24,1 Kw
- Ventilazione = -172,3 Kw



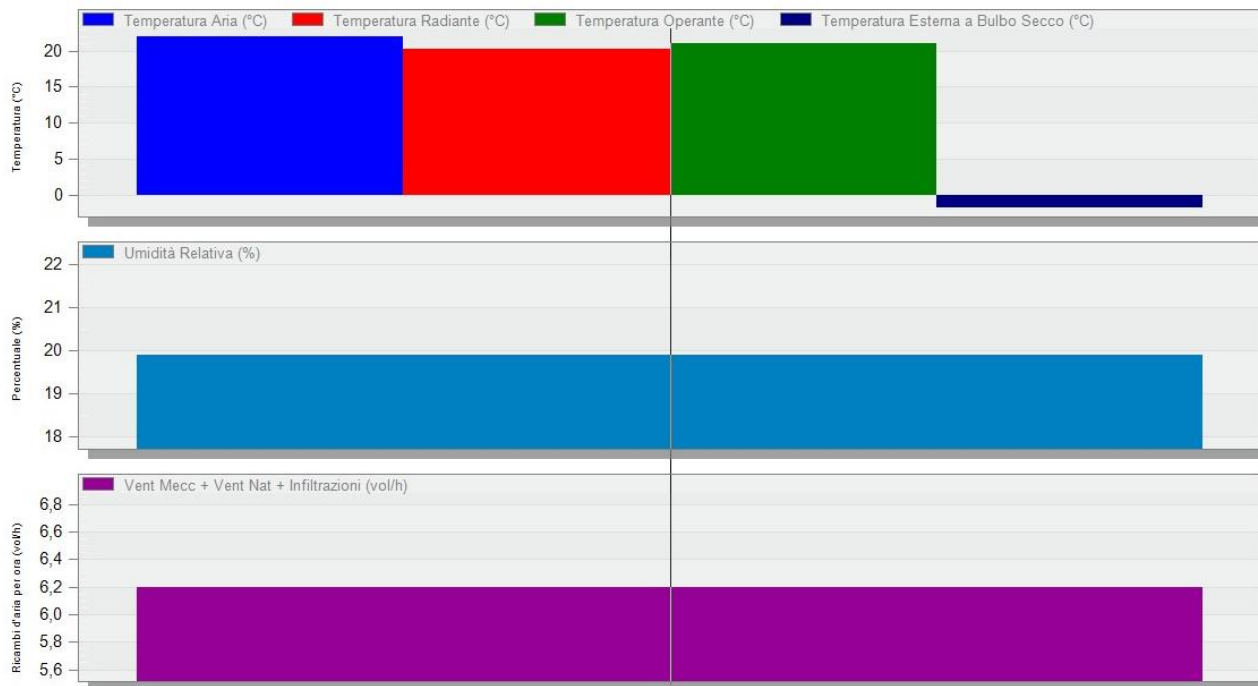


Immagine n°77: Temperature di progetto di riscaldamento invernale

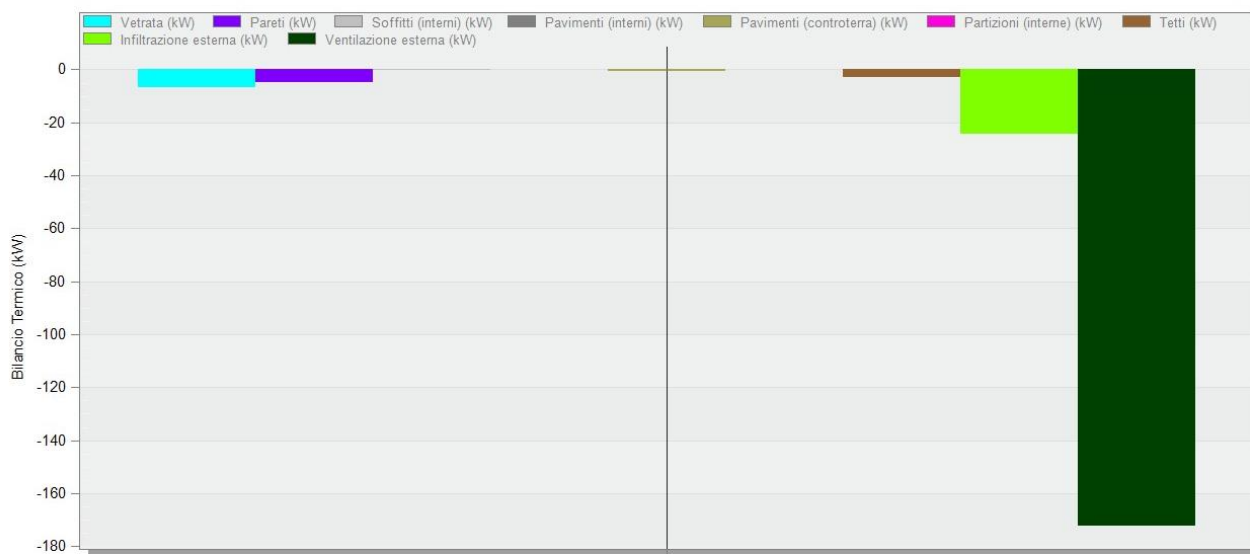


Immagine n°78: Dispersioni involucro e ventilazione per riscaldamento

Il metodo utilizzato per questo calcolo è di tipo ASHRAE ed è di tipo stazionario. Il programma considera una temperatura esterna costante di -2°C e applica i dati climatici del vento. Non vengono considerati apporti solari interni. Il software considera un coefficiente di sicurezza per ogni simulazione, pari a 1,5. Dai dati precedentemente ottenuti, si osserva come il fabbisogno energetico nel giorno più freddo dell'anno è di circa 200 Kw.

6.3.2 Progetto di raffrescamento estivo

Il raffrescamento estivo serve invece per verificare le capacità delle macchine che compongono l'impianto nel giorno più caldo quando la scuola è operante, viene considerato il 15 Giugno. Il

raffrescamento dell'ambiente avviene per mezzo del raffreddamento dell'acqua nelle tubazioni ed un ricambio d'aria in base alle persone occupanti l'edificio. Anche in questo caso, come il precedente, viene usato un coefficiente di sicurezza che però è pari a 1,3. I dati ottenuti come output sono gli stessi del progetto invernale, con la differenza che in questo caso possono essere espressi su due grafici con entrambi un'ascissa a variazione oraria. La prima tabella sono i dati di comfort rapportati a variazioni di temperatura (°C), mentre la seconda esprime le dispersioni riguardo l'involucro e la ventilazione con un bilancio termico (Kw).

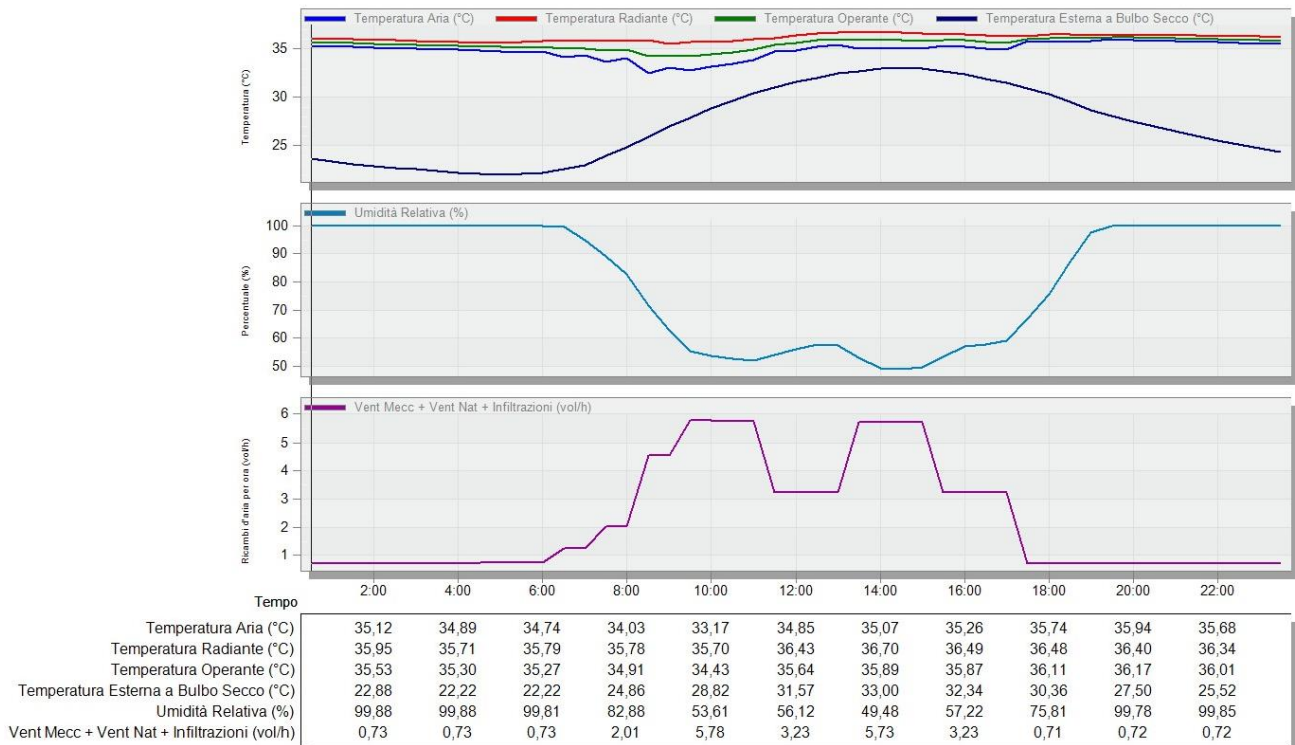


Immagine n°79: Temperature di progetto raffrescamento estivo

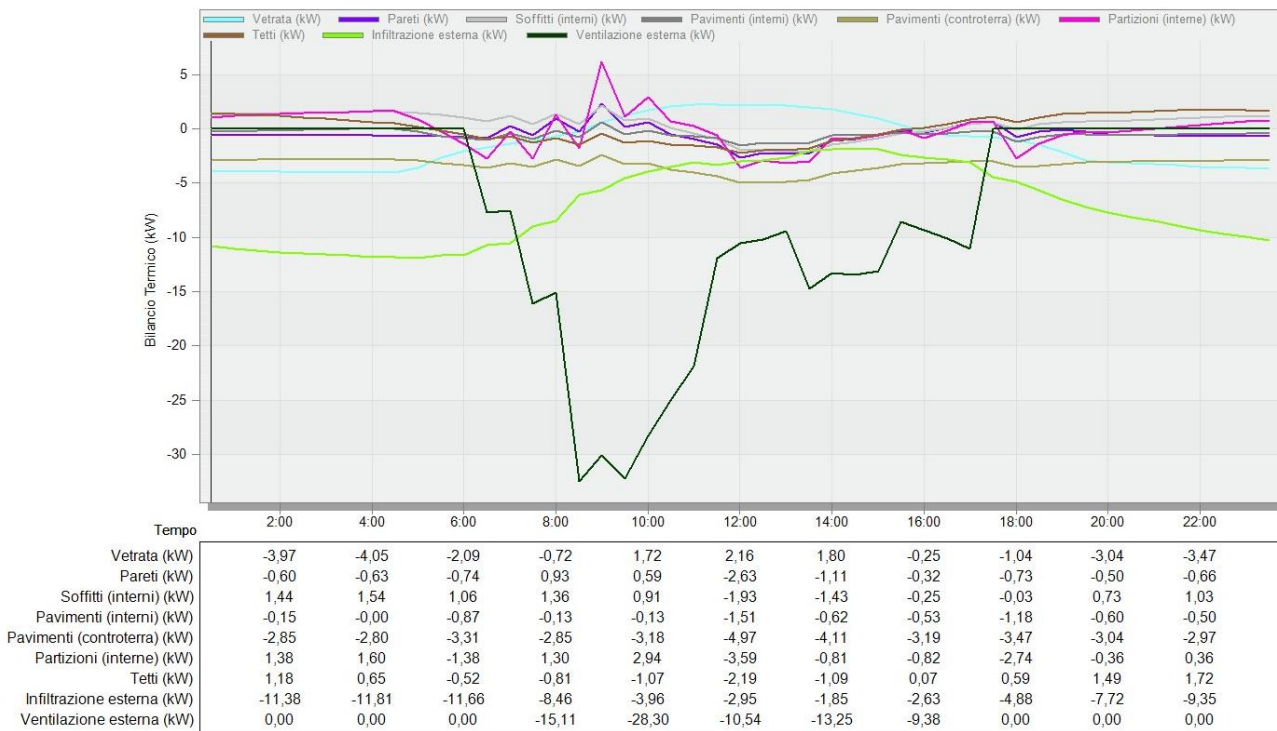


Immagine n° 80: Dispersioni involucro e ventilazione per il raffrescamento

6.4 Simulazioni energetiche

Una delle parti finali di questo capitolo è stato il lancio di alcune simulazioni termodinamiche, per verificare inizialmente se quanto progettato fosse corretto. L'obiettivo in questa fase era quindi l'autenticazione del modello realizzato. Per fare ciò, le simulazioni sono state esaminate con un intervallo giornaliero visto che tutta la programmazione precedente è stata eseguita giorno per giorno. Quindi i consumi, le temperature, gli apporti e comunque tutti i dati generati sono una media giornaliera. In particolare sono state realizzate tre simulazioni, la prima annuale, la seconda nel periodo invernale con la valutazione di giornate tipo in un periodo tra il 9 ed il 12 Gennaio, mentre la terza è stata realizzata nel periodo estivo tra il 5 ed il 9 Giugno.

1) Simulazione annuale (1 Gennaio - 31 Dicembre)

Simulazione necessaria per verificare il comportamento dell'edificio nel corso dell'anno intero, comportamento analizzato sotto 7 punti di vista: comfort giornaliero, consumi totali mensili, consumi separati mensili, consumi totali giornalieri, consumi separati giornalieri ed apporti interni.

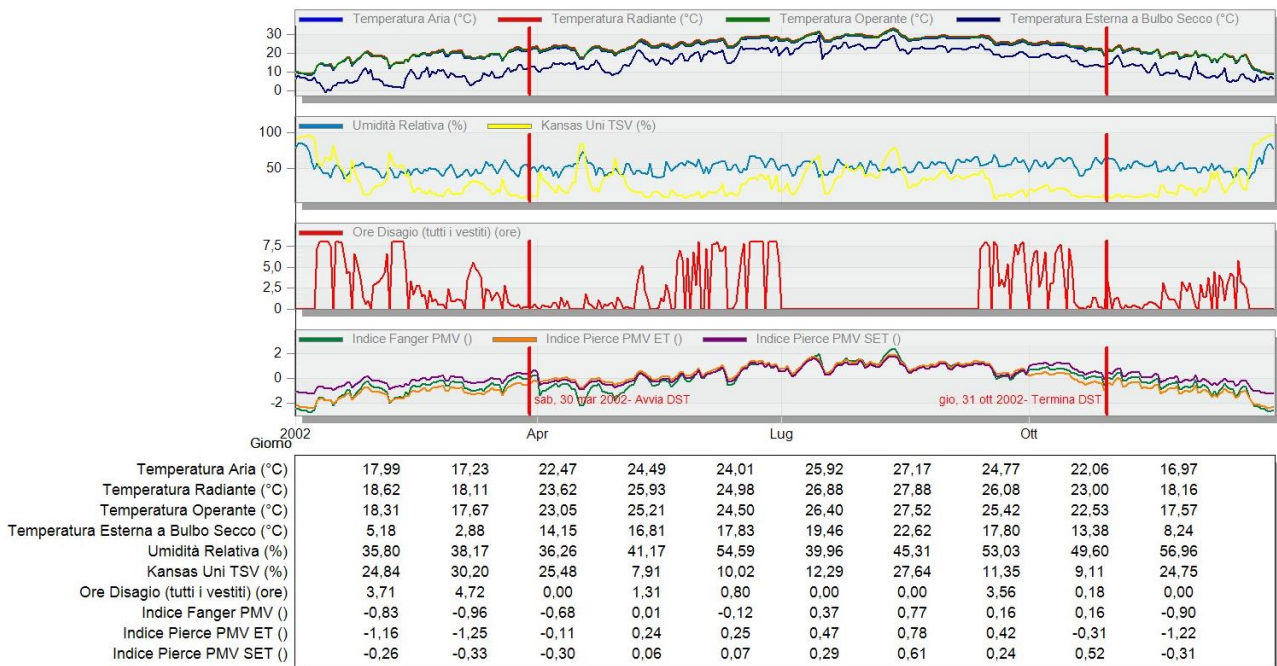


Immagine n° 81: Dati di comfort giornalieri

Il grafico sui comfort giornalieri ci ha fornito una risposta ottimale per quanto riguarda soprattutto la temperatura dell'aria, per quella radiante e per quella operante. Nel corso dell'anno, infatti, ha una variazione compresa nei range impostati.

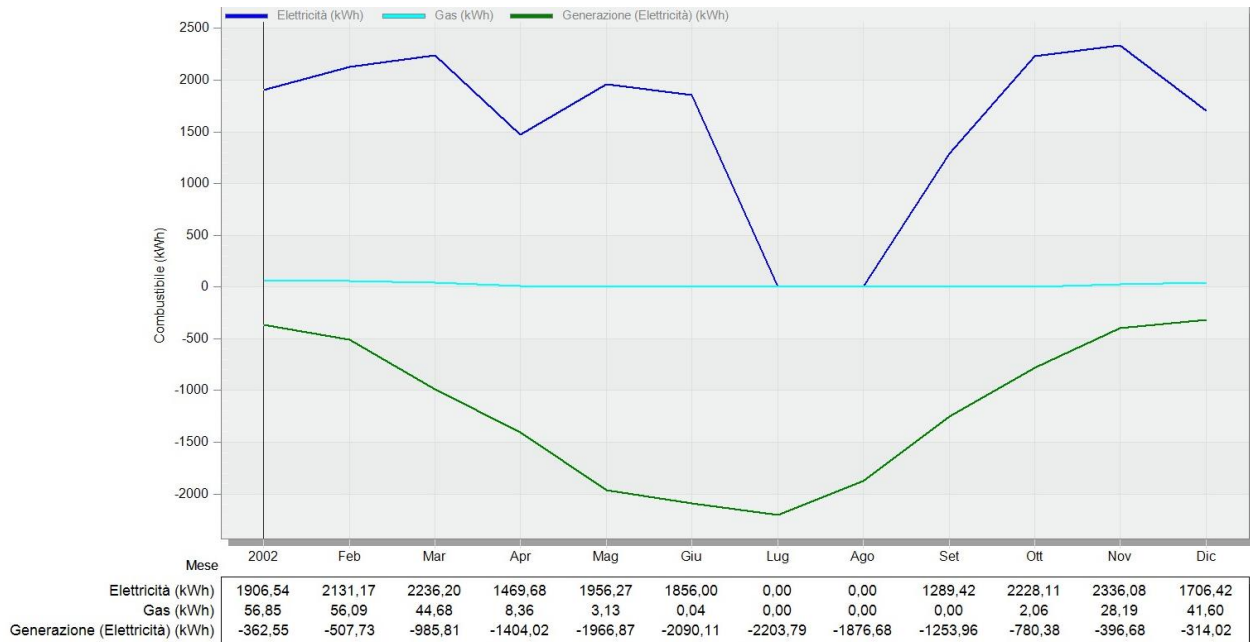


Immagine n°82: Consumi totali mensili, Palombina



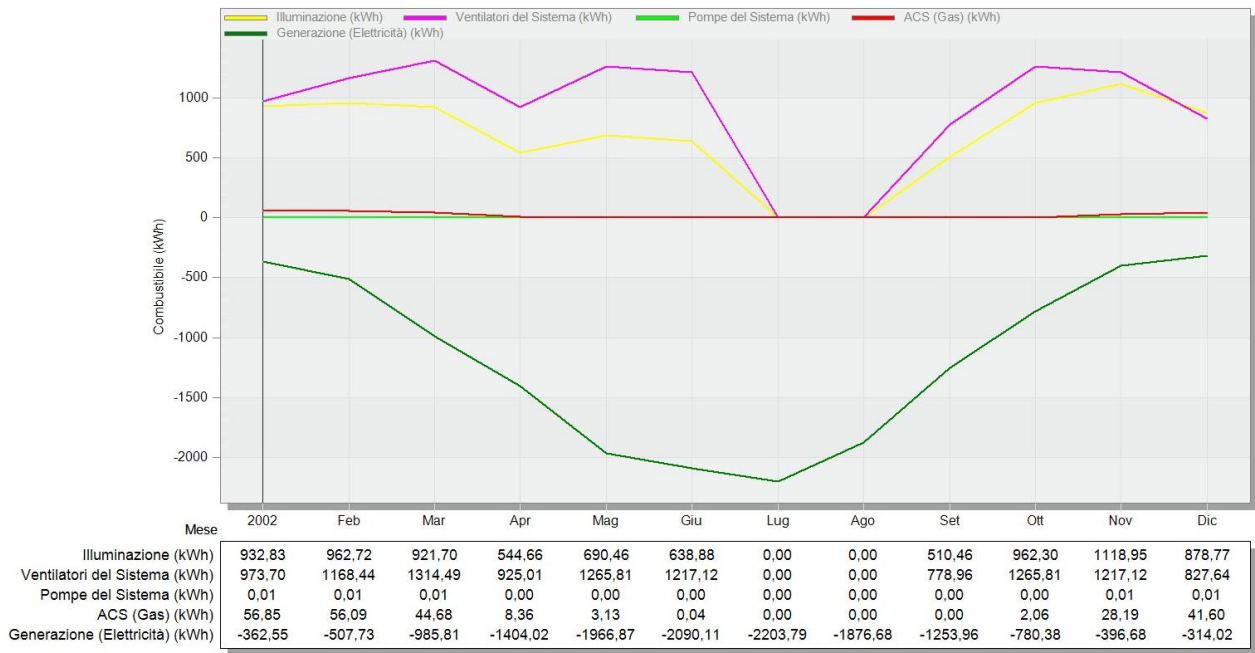


Immagine n° 83: Consumi separati mensili

I consumi mensili più rilevanti (illuminazione, ventilatori di sistema e generazione fotovoltaico) sono stati evidenziati in un grafico a barre, per renderli più chiari.

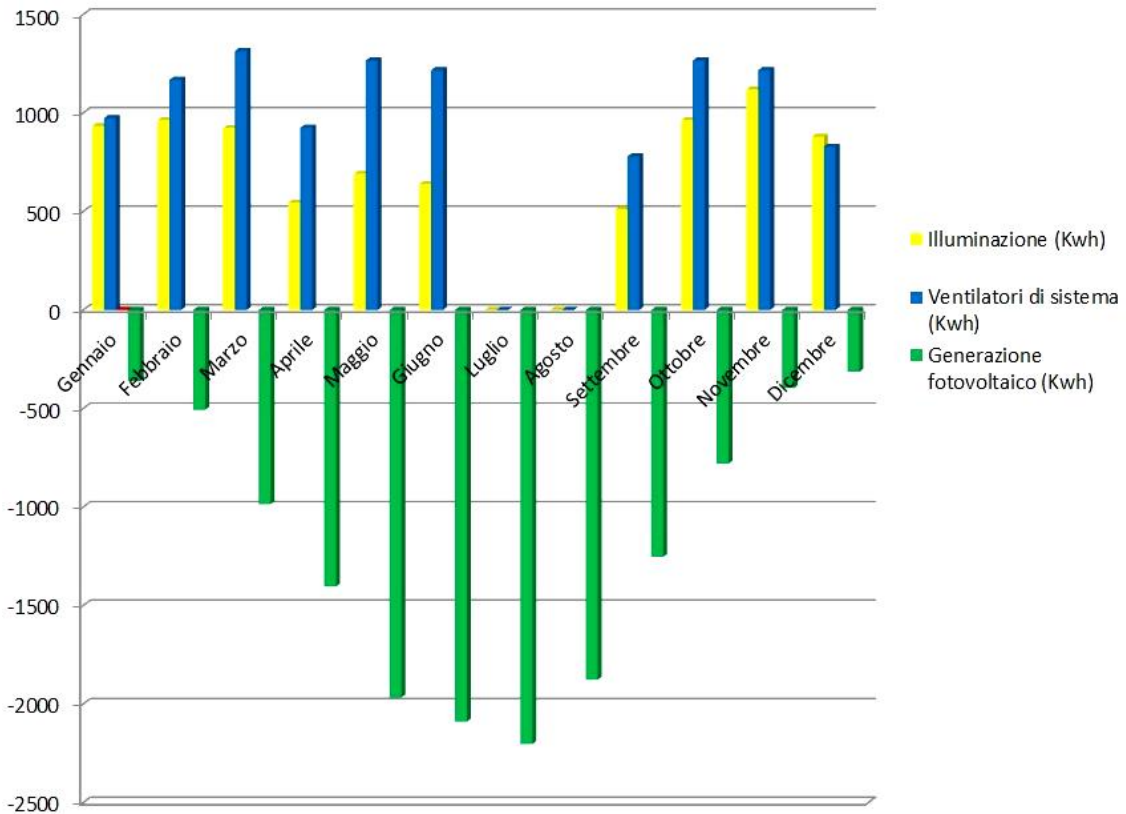
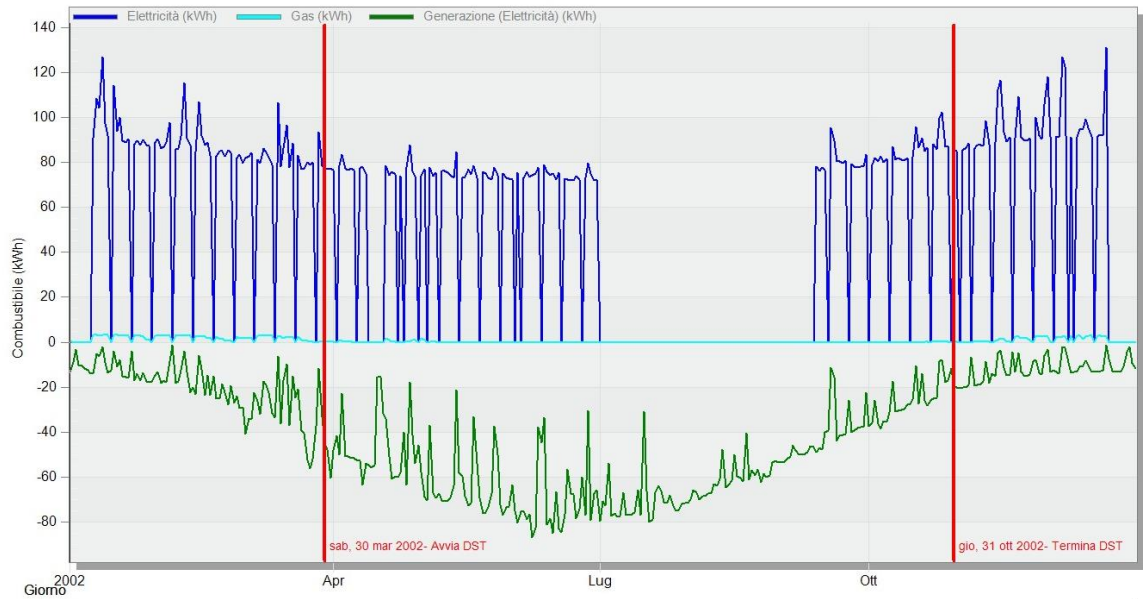


Immagine n°84: Consumi separati

Si è passati ad un'analisi più specifica, cioè dei consumi giornalieri in kWh.



Giorno	Apr	Mag	Giun	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
Elettricità (kWh)	86,92	79,61	0,00	72,98	74,23	0,00	0,00	80,45	85,88	0,00
Gas (kWh)	2,76	2,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00
Generazione (Elettricità) (kWh)	-17,06	-31,98	-52,25	-63,74	-78,55	-66,22	-62,05	-41,62	-24,62	-8,54

Immagine n°85: Consumi totali giornalieri



Giorno	Apr	Mag	Giun	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
Illuminazione (kWh)	38,23	30,92	0,00	24,29	25,54	0,00	0,00	31,77	37,20	0,00
Ventilatori del Sistema (kWh)	48,68	48,68	0,00	48,68	48,68	0,00	0,00	48,68	48,68	0,00
Pompe del Sistema (kWh)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ACS (Gas) (kWh)	2,76	2,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00
Generazione (Elettricità) (kWh)	-17,06	-31,98	-52,25	-63,74	-78,55	-66,22	-62,05	-41,62	-24,62	-8,54

Immagine n°86: Consumi separati giornalieri

L'analisi giornaliera risponde agli input forniti al programma, si nota una variazione dei consumi derivanti dagli orari di funzionamento della scuola ed una chiusura totale a Luglio e Agosto in entrambi i grafici. I dati analizzati riguardano il consumi dell'illuminazione interna, i ventilatori e le pompe di sistema, l'acqua calda sanitaria ed infine la generazione di elettricità fornita dai pannelli solari. L'ultima analisi ha riguardato gli apporti interni.





Immagine n°87: Apporti interni

Quest'ultimo grafico ci ha fornito una risposta dell'edificio in particolare all'occupazione programmata, gli apporti solari attraverso le finestre esterne nonché dati sul riscaldamento e raffrescamento sensibile di zona; il tutto espresso in kWh.

2) Simulazione invernale (9-12 Gennaio)

Questa simulazione ha avuto come output le stesse tipologie di grafici precedenti, ma si è ritenuto opportuno una variazione dei valori giornalieri in orari analizzando un periodo più ristretto.

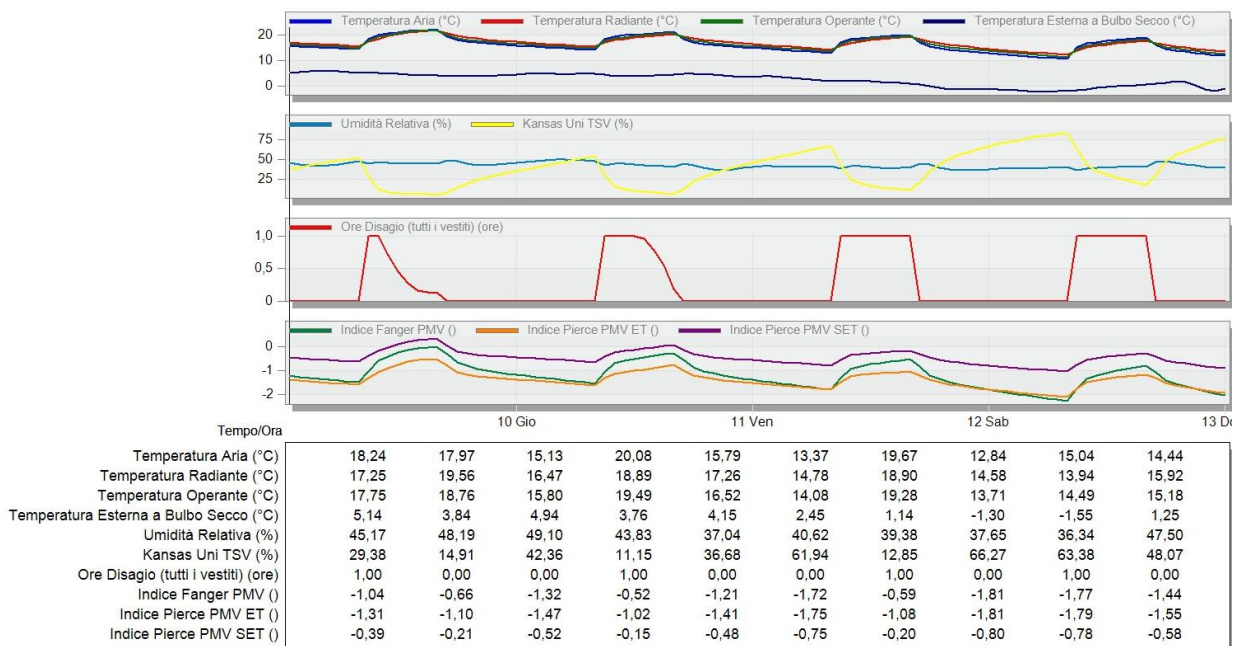


Immagine n°88: Dati di comfort orari



Anche in questo caso abbiamo una risposta positiva dell'edificio, con una variazione delle temperature nei range impostati. Un'umidità che non supera il 50%.

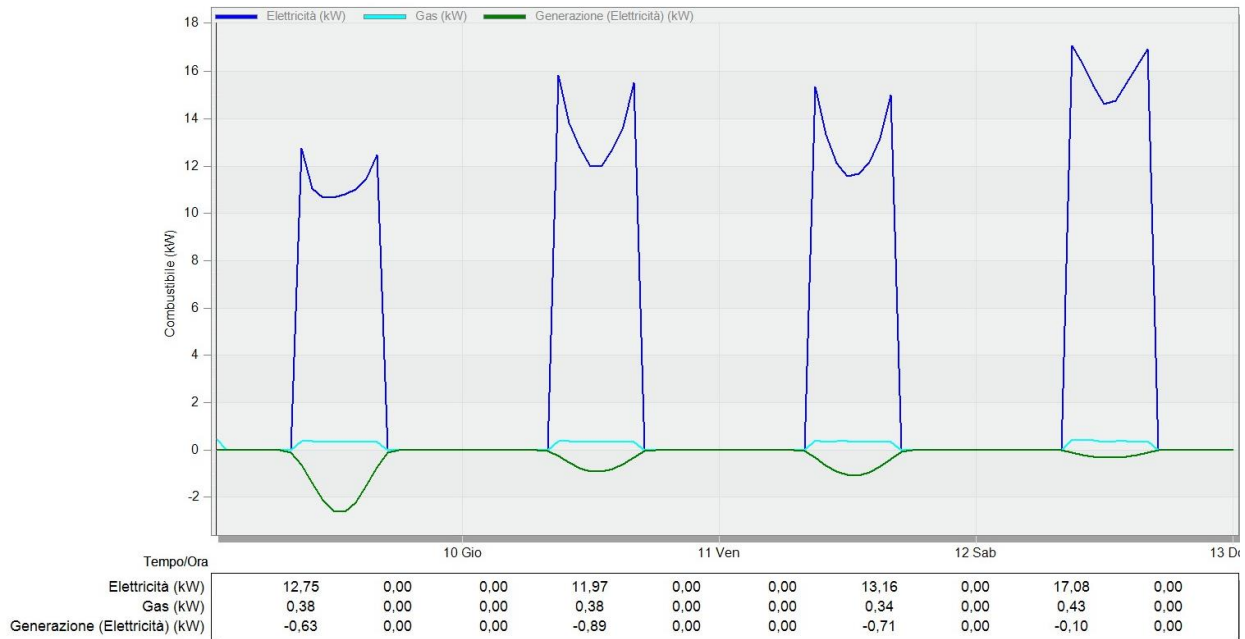


Immagine n°89: Consumi totali orari



Immagine n°90: Consumi separati orari

I consumi hanno generato la risposta attesa, infatti si nota come ovviamente l'elettricità supera i consumi d'acqua calda sanitaria. La produzione dei pannelli solari è relativamente bassa per via del periodo annuale, con poca esposizione solare. Il programma fa comunque fatica ad assimilare tutte le variabili che gli sono state fornite, per via di un progetto molto dettagliato.



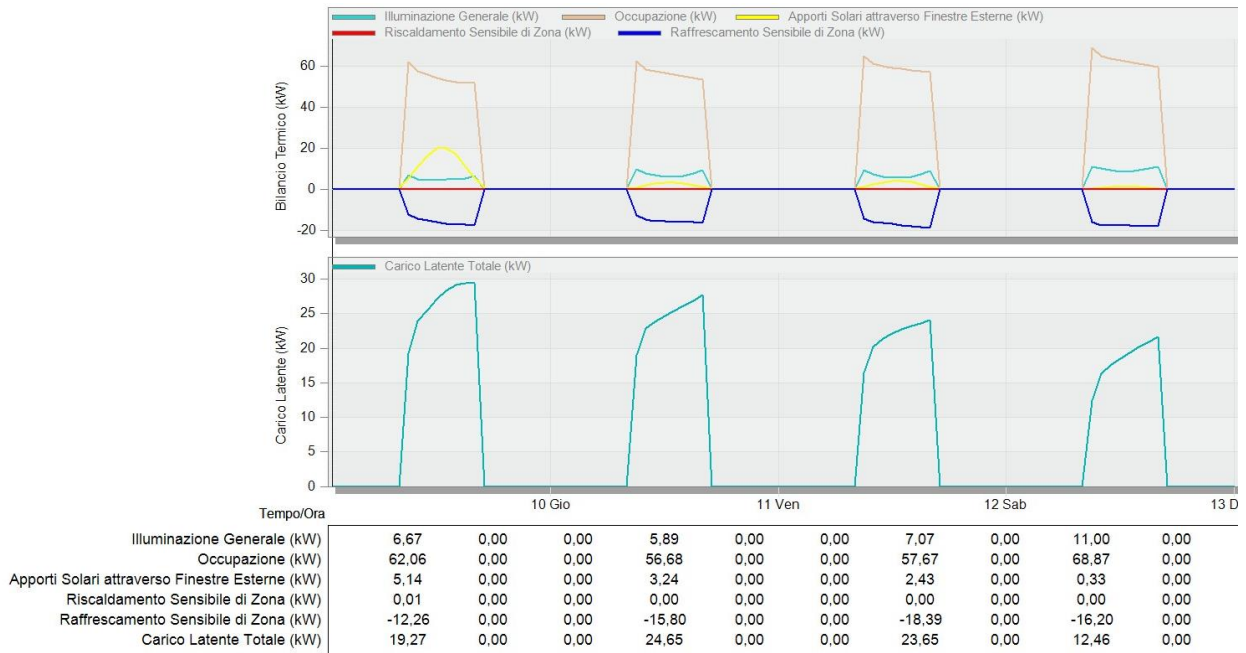


Immagine n°91: Apporti interni orari

Gli apporti interni orari, ci forniscono l'indicazione del bilancio termico in KW durante le ore della giornata. Si nota come i Kw consumati aumentano in corrispondenza degli orari di funzionamento della scuola e si azzerano durante la notte.

3) Simulazione estiva (5-9 Giugno)

L'ultima simulazione ha analizzato un periodo estivo, con un output di grafici uguali ai precedenti.

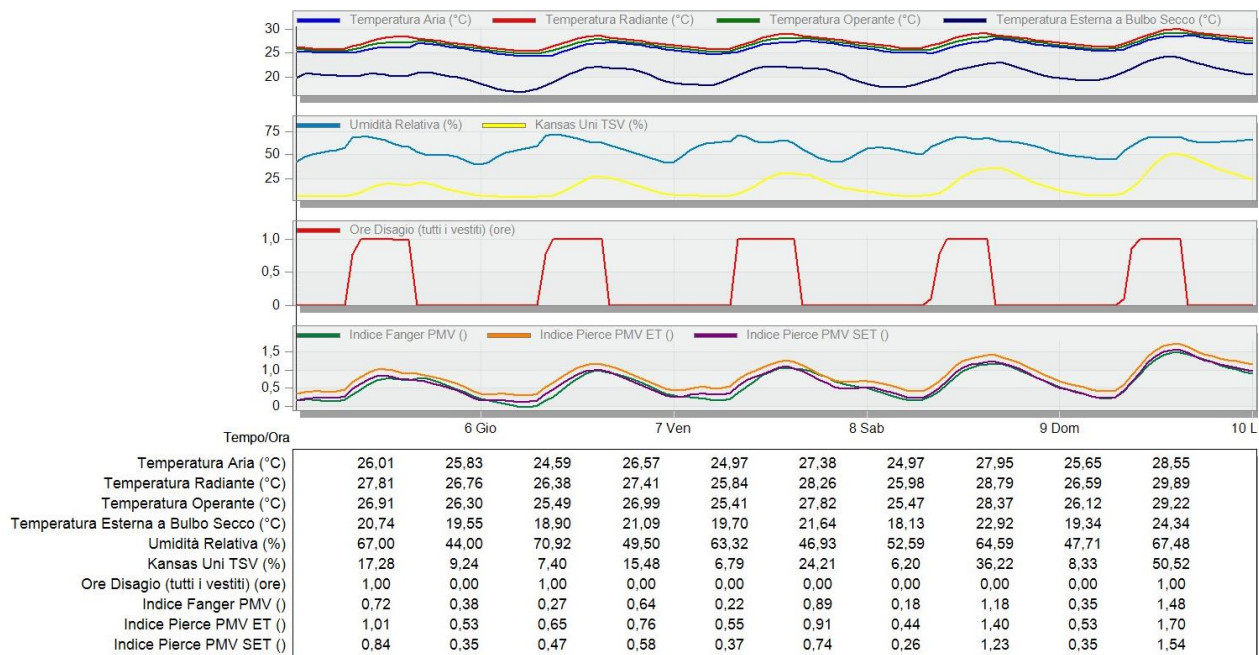


Immagine n°92: Dati di comfort orari

I dati di comfort ambientali sono ottimali, infatti le temperature subiscono delle variazioni tra i 27 ed



i 30°C.

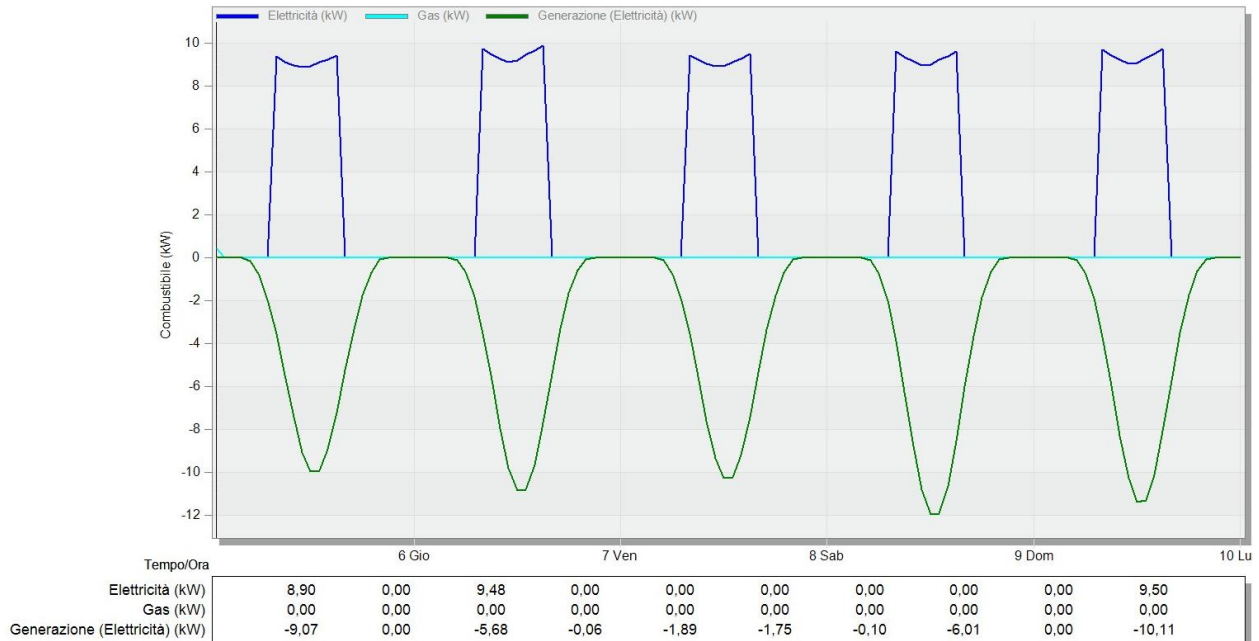


Immagine n93: Consumi totali orari

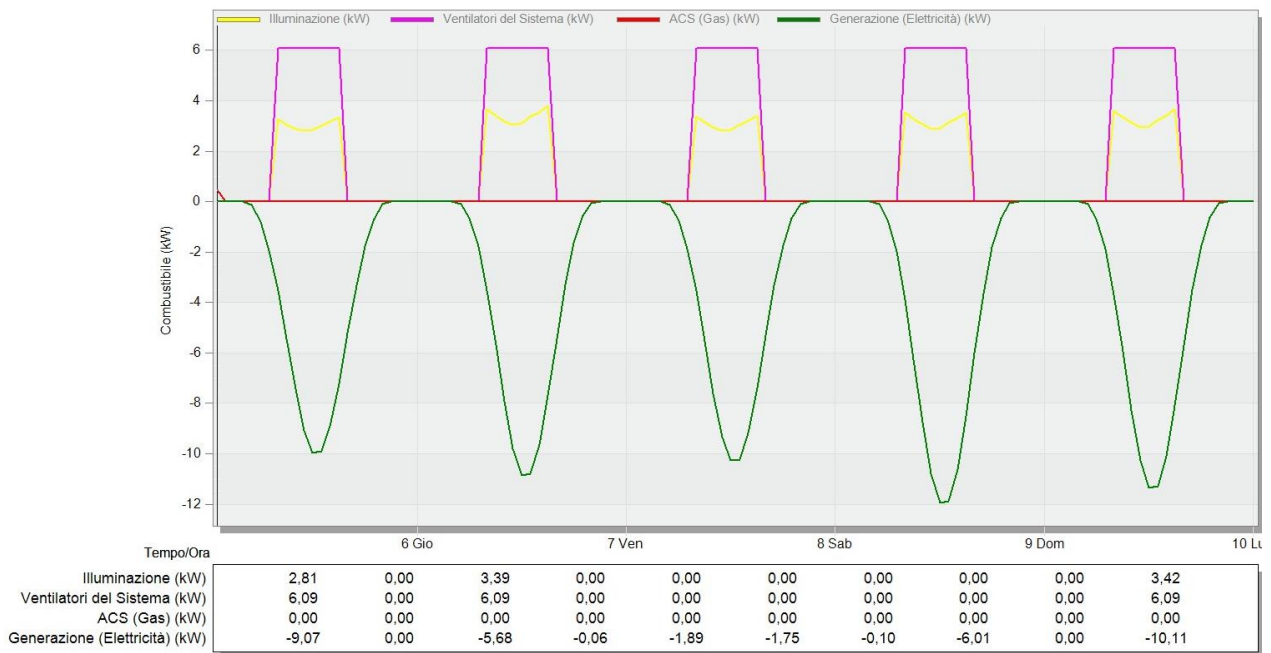


Immagine n°94: Consumi separati orari

I consumi sono in linea al progetto e agli orari scolastici, si nota come i pannelli fotovoltaici hanno una produzione nettamente superiore rispetto al periodo invernale. Infatti da un valore di 2 kW in inverno, si arriva fino al 9 Kw in estate. Anche questo è simbolo di dati climatici inseriti correttamente.



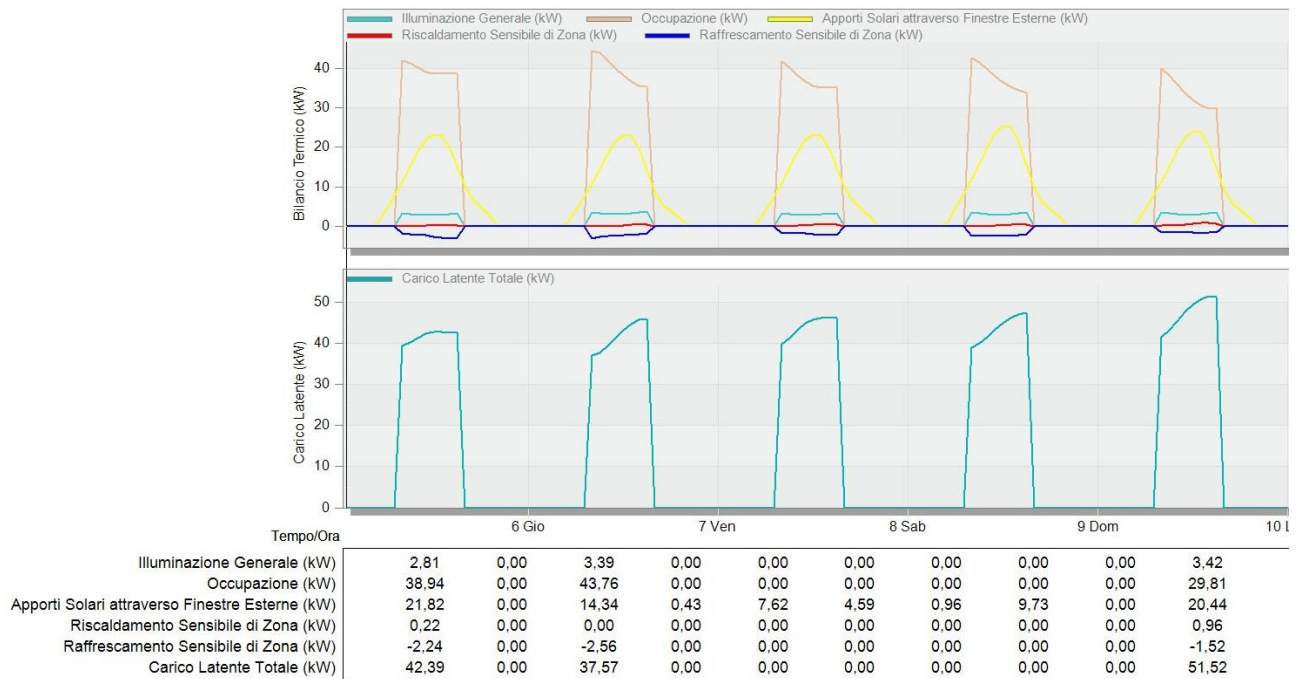


Immagine n°95: Apporti interni

Gli ultimi dati analizzati riguardano gli apporti solari, come nella simulazione invernale, abbiamo dei consumi in accordo agli orari di funzionamento che non superano una richiesta di 40 Kw in questo caso.

6.4.1 Confronto dei consumi mensili con un edificio realizzato nel 2016

Non potendo validare il progetto attraverso il confronto tra i consumi simulati con i dati reali presenti nelle bollette, è stato effettuato un confronto con un edificio vicino, costruito nel 2016 e di identica destinazione d'uso. Ma, non avendo questa possibilità per via del fatto che l'edificio è di nuova costruzione, i consumi simulati mensili sono stati confrontati con un altro edificio (sempre nZEB) realizzato nel 2016. Ovviamente in primis, sono stati presi consumi simulati mensili (riportati precedentemente) in un anno intero, dell'edificio in esame a Palombina. In seguito è stato eseguito un ulteriore calcolo, quanto generato dai pannelli fotovoltaici doveva essere sottratto dai consumi mensili. Il risultato ottenuto sono stati i consumi netti di tutti l'anno.

Mese	Consumi totali (Kwh)	Generazione (Kwh)	Consumi netti (Kwh)
<u>Gennaio</u>	1964	-363	1601
<u>Febbraio</u>	2187	-508	1679
<u>Marzo</u>	2280	-986	1294
<u>Aprile</u>	1478	-1404	74
<u>Maggio</u>	1959	-1967	-8
<u>Giugno</u>	1854	-2090	-236

Luglio	0	-2204	-2204
Agosto	0	-1877	-1877
Settembre	1290	-1254	36
Ottobre	2230	-781	1449
<u>Novembre</u>	2364	-397	1967
<u>Dicembre</u>	1748	-314	1434

Si è passati al confronto dei dati desunti, con quelli relativi ad un edificio scolastico ristrutturato nel 2016 sempre ad Ancona. In particolare parliamo dell'Istituto Comprensivo Pinocchio Montescuro, costituito da tre blocchi, la cui superficie complessiva era di circa 4148 m²; rispetto ai 1334 m² di Palombina. Gli unici dati reperibili di questa scuola sono stati riferiti a 6 mesi su 12, pertanto il confronto è avvenuto su questi. I kwh consumati da ogni scuola sono stati divisi per le relative superfici. Il risultato finale è stato la tabella seguente, con i consumi espressi in m².

Mese	Consumi netti Palombina (Kwh/m²)	Consumi netti Pinocchio (Kwh/m²)
<u>Novembre</u>	1,5	1,1
<u>Dicembre</u>	1,1	2,6
<u>Gennaio</u>	1,2	3,1
<u>Febbraio</u>	1,3	2
<u>Marzo</u>	0,7	1,1
<u>Aprile</u>	0,1	0,3

Viene riportato un grafico a colonne per evidenziare la differenza dei consumi tra i due plessi scolastici.

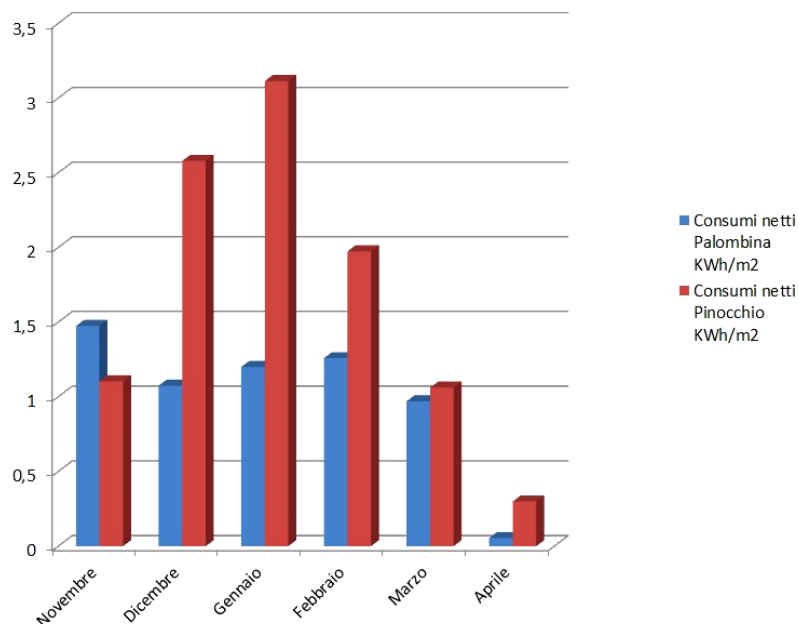


Immagine n°96: Confronto consumi

Si evidenzia dal grafico che, i consumi di Palombina sono nettamente inferiori rispetto a quelli del Pinocchio. Si nota dal confronto come un edificio costruito solo 2 anni dopo presenta importanti migliorie dal punto di vista energetico e dei consumi.



Capitolo 7. Verifica dei criteri ambientali minimi CAM

La normativa recita che i progetti degli interventi di nuova costruzione, inclusi gli interventi di demolizione e ricostruzione e degli interventi di ristrutturazione importante di primo livello, ferme restando le norme e i regolamenti più restrittivi, devono rispettare i seguenti requisiti:

- 1) illuminazione naturale
- 2) areazione naturale e ventilazione meccanica controllata
- 3) dispositivi di protezione solare
- 4) inquinamento elettromagnetico indoor
- 5) emissioni dei materiali
- 6) comfort acustico
- 7) comfort termo-igrometrico
- 8) radon.

I primi due requisiti meritano un approfondimento importante, per questo ne sono stati ampliati i contenuti ed esplicitati i calcoli effettuati per la loro verifica.

7.1 Illuminazione naturale

La valutazione della luce naturale che penetra in un ambiente chiuso è un problema di fondamentale importanza nella progettazione architettonica di un edificio. La caratteristica peculiare delle valutazioni relative all'illuminazione naturale degli ambienti è che il suo valore cambia istante per istante in funzione delle condizioni del cielo e dell'angolo di altezza del sole sull'orizzonte. Nella progettazione è opportuno considerare l'illuminamento nelle condizioni peggiori ossia proveniente da un cielo coperto. Anche la normativa italiana utilizza come parametro normativo il fattore medio di luce diurna che si riferisce a cielo coperto. Per esso fissa un valore maggiore o uguale al 2%. Il Fattore di luce diurna, è il rapporto tra l'illuminamento E , che si realizza su di una superficie orizzontale posta all'interno dell'ambiente considerato grazie alla luce proveniente dalla volta celeste (non si considera la radiazione diretta proveniente dal sole), e quello che contemporaneamente si ha su di una superficie orizzontale. Da un semplice esame dei diversi fenomeni coinvolti si evidenzia come il fattore di luce diurna sia funzione delle seguenti grandezze:

- area delle aperture finestrate;
- coefficiente di trasmissione nel visibile del materiale trasparente che costituisce le finestre;
- area dei diversi elementi che costituiscono l'involucro e che sono presenti all'interno del locale (pareti, pavimenti, soffitti, arredi, ecc.);



- coefficiente di riflessione nel visibile delle superfici dei vari elementi presenti all'interno del locale;
- presenza di ostruzioni di qualsiasi genere, esterne od interne, che limitino la vista della volta celeste;
- stato di manutenzione delle superfici vetrate e delle superfici interne.

Il valore del fattore di luce diurna varia da punto a punto all'interno di un ambiente. Si introduce allora il fattore medio di luce diurna, F_{lmd} , mediato su più punti di misura. Tale parametro consente di valutare la capacità delle aperture trasparenti e dell'involucro di uno spazio chiuso per garantire condizioni di illuminazione naturale confortevoli e un accettabile sfruttamento della luce naturale. Per raggiungere questi obiettivi esso deve essere superiore ad un certo valore, fissato come valore di soglia al di sotto del quale non sono verificate le condizioni di illuminazione naturali sufficienti alle specifiche esigenze di benessere fisico e psicologico. Un primo metodo per il calcolo di F_{lmd} è quello suggerito anche dalla normativa italiana (NTR Emilia Romagna 1984 e Circolare Ministero LL. PP. n.3151 22/5/1967 [57]), adatto alla verifica in spazi interni di forma regolare, senza ostruzioni esterne vicine alle finestre (balconi, logge, porticati, ballatoi). Pur se approssimato, questo metodo, garantisce comunque risultati attendibili e congruenti con il livello di precisione proprio alla progettazione edilizia. Esso permette di calcolare il valore del fattore medio di luce diurna globale ammettendo all'interno dell'ambiente considerato un campo luminoso perfettamente diffuso, ossia uguale in tutti i punti. Viene riportata di seguito, la formula per il calcolo dell' F_{lmd} .

$$F = \frac{A_f t \varepsilon}{A_{tot} (1 - r_m)} \varphi$$

Dove:

- A_f , è l'area della finestra i-esima escluso il telaio;
- A_{tot} , è l'area totale delle superfici che delimitano l'ambiente
- t , è il coefficiente di trasmissione luminosa del vetro, il quale si ricava dalla seguente tabella

Vetro semplice trasparente	$t=0,95$
Vetro retinato	$t=0,9$
Vetro doppio trasparente	$t=0,85$

- r_m , è il coefficiente di riflessione medio nel visibile delle superfici che costituiscono l'involucro dell'ambiente considerato. Si calcola come media pesata dei coefficienti di riflessione delle singole superfici interne dello spazio utilizzando la seguente tabella:



Coefficiente di riflessione r_m, sup. interne	Valore
Intonaco comune bianco (latte di calce o simili) recente o carta	0,8
Intonaco comune o carta di colore molto chiaro (avorio, giallo, grigio)	0,7
Intonaco comune o carta di colore chiaro (grigio perla, avorio, giallo limone, rosa chiaro)	0,5-0,6
Intonaco comune o carta di colore medio (verde chiaro, azzurro chiaro, marrone chiaro)	0,3-0,5
Intonaco comune o carta di colore scuro (verde oliva, rosso)	0,3 - 0,1
Mattone chiaro	0,4
Mattone scuro, cemento grezzo, legno scuro, pavimenti di tinta scura	0,2
Pavimenti di tinta chiara	0,6 - 0,4
Alluminio	0,8 - 0,9

- ϵ_i , è il fattore finestra ossia il fattore di vista della volta celeste da parte della superficie della finestra, tiene conto delle ostruzioni, viene calcolato come:

$\epsilon = 1$ per finestra orizzontale (lucernaio) senza ostruzioni

$\epsilon = 0,5$ per finestra verticale senza ostruzione

$\epsilon < 0,5$ per finestra verticale con ostruzione

- ψ_i , è un fattore che tiene conto dell'ombreggiamento indotto sulla finestra dall'imbotte. Esso è in funzione dei rapporti tra larghezza della finestra (L_f), altezza della finestra (h_t) e distanza tra la finestra e il bordo esterno della parete (p).

Tramite questi fattori e la formula sopra riportata, viene eseguito il calcolo del fattore di luce medio diurno per le sole stanze ad uso abitativo presenti nella scuola. Sono state realizzate due tabelle, una per piano.



Piano terra

Aula num°	Dimensioni finestre (m)	Area finestre (m²)	Area pareti (m²)	t	ε	r_m	ψ_i	Fmld	Esito
Attività a tavolino 1.1	3,00x3,00	16,5	116,5	0,85	0,5	0,55	0,9	12%	✓
	2,50x3,00								
Attività a tavolino 1.2	2,50x3,00	16,5	116,5	0,85	0,5	0,55	0,9	12%	✓
	3,00x3,00								
Atrio principale	1,80x2,10	3,78	30	0,85	0,5	0,55	0,9	11%	✓
Locali servizio mense	1,00x3,00	3	81,25	0,85	0,5	0,55	0,9	3%	✓
Mensa	1,30x3,00	17,15	157,28	0,85	0,5	0,55	0,9	9%	✓
	3,00x3,00								
	1,70x2,50								
Aula attività libere 1.1	2,00x1,80	3,6	21,37	0,85	0,5	0,55	0,9	14%	✓
Aula attività libere 1.2	2,50x1,80	6,3	84,44	0,85	0,5	0,55	0,9	6%	✓
	1,00x1,80								
Stanza spogliatoio	1,00x1,80	1,8	39,33	0,85	0,5	0,55	0,9	4%	✓
Ufficio insegnanti	1,00x1,80	3,6	43,88	0,85	0,5	0,55	0,9	7%	✓
	1,00x1,80								
Ingresso comune refettorio e scuola primaria	5,40x3,00	19,56	117,62	0,85	0,5	0,55	0,9	14%	✓
	1,60x2,10								

Piano primo

Aula num°	Dim. finestre (m)	Area finestre (m²)	Area pareti (m²)	t	ε	r_m	ψ_i	Fmld	Esito
Aula interciclo A	2,00x1,80	8,1	90,06	0,85	0,5	0,55	0,9	8%	✓
	2,50x1,80								
Aula interciclo B	2,00x1,80	8,1	90,06	0,85	0,5	0,55	0,9	8%	✓
	2,50x1,80								
Biblioteca insegnanti	2,20x1,80	3,96	64,09	0,85	0,5	0,55	0,9	5%	✓
Ingresso scuola primaria	5,40x2,50	17,62	17,97	0,85	0,5	0,55	0,9	83%	✓
	1,68x2,45								



Ingresso scuola primaria e aula psicomotricità	1,30x2,10	2,73	44,52	0,85	0,5	0,55	0,9	5%	✓
Aula 5	3,00x3,00	9	95	0,85	0,5	0,55	0,9	8%	✓
Aula 4	3,00x3,00	9	95	0,85	0,5	0,55	0,9	8%	✓
Aula 3	3,00x3,00	9	95	0,85	0,5	0,55	0,9	8%	✓
Aula 2	3,00x3,00	9	30,23	0,85	0,5	0,55	0,9	25%	✓
Aula 1	3,00x3,00	9	30,23	0,85	0,5	0,55	0,9	25%	✓

Dalle tabelle precedentemente riportate si nota che, sia al piano terra che al primo piano, tutte le aule d'insegnamento rispettano i requisiti normativi, con un $F_{mld} \geq 2\%$. Mentre i servizi o gli spazi di servizio non presentano finestrate sufficienti. Sicuramente dal punto di vista progettuale è stato deciso di favorire gli spazi comuni e d'apprendimento, favorendoli con finestrate più ampie e quindi un apporto di luce maggiore. In zone come bagni o depositi non è stato ritenuto fondamentale un apporto luminoso significativo.

7.2 Aerazione naturale e ventilazione meccanica controllata

7.2.1 Aerazione naturale

Il secondo requisito riguarda la verifica del rapporto aeoroilluminante, significa che la superficie delle finestre deve essere almeno 1/8 della superficie di pavimento. Come eseguito precedentemente vengono riportate le tabelle di calcolo per la verifica.

Piano terra

Aula num°	Superficie aula	Requisiti minimi CAM	Dimensioni finestre (m)	Area finestre (m²)	Esito
Attività a tavolino 1.1	54,07	6,76	3,00x3,00	16,5	✓
			2,50x3,00		
Attività a tavolino 1.2	54,07	6,76	2,50x3,00	16,5	✓
			3,00x3,00		
Atrio principale	9,57	1,2	1,80x2,10	3,78	✓
Mensa	106,04	13,3	1,30x3,00	17,15	✓
			3,00x3,00		
			1,70x2,50		
Aula attività libere 1.1	19,85	2,5	2,00x1,80	3,6	✓



Aula attività libere 1.2	35,57	4,45	2,50x1,80	6,3	✓
			1,00x1,80		
Ufficio insegnanti	12,24	1,53	1,00x1,80	3,6	✓
			1,00x1,80		
Ingresso comune refettorio e scuola primaria	39,42	4,93	5,40x3,00	19,56	✓
			1,60x2,10		

Primo piano

<i>Aula num°</i>	<i>Superficie aula</i>	<i>Requisiti minimi CAM</i>	<i>Dim. finestre (m)</i>	<i>Area finestre (m²)</i>	<i>Esito</i>
Aula interciclo A	46,5	5,82	2,00x1,80	8,1	✓
			2,50x1,80		
Aula interciclo B	46,5	5,82	2,00x1,80	8,1	✓
			2,50x1,80		
Biblioteca insegnanti	22,59	2,83	2,20x1,80	3,96	✓
Aula 5	52,3	6,54	3,00x3,00	9	✓
Aula 4	52,3	6,54	3,00x3,00	9	✓
Aula 3	52,3	6,54	3,00x3,00	9	✓
Aula 2	55,55	6,94	3,00x3,00	9	✓
Aula 1	55,55	6,94	3,00x3,00	9	✓

Anche in questo caso la scelta progettuale corrisponde a quanto vista nella verifica per il fattore di luce medio diurno. Infatti, si è cercato di prediligere le aule, spazi comuni o comunque per l'apprendimento con finestre e vetrate ampie il più possibile. Questo a sfavore ovviamente di bagni ed altri spazi ritenuti non fondamentali nell'apporto solare.

7.2.2 Ventilazione meccanica controllata

Per quanto riguarda il controllo della qualità dell'aria interna e la verifica della portata d'aria minima, è necessario prevedere un numero minimo di ricambi d'aria espressi in volumi/ora. I criteri ambientali minimi emanati nel 2017 affidano alle norme UNI EN ISO 13779 del 2008 e UNI 15251 del 2008 la determinazione del valore per gli edifici ad uso non residenziale. La normativa 13779 garantisce che per un impianto di ventilazione, sia esso meccanico o naturale, deve garantire:

- l'immissione di una quantità minima di aria esterna a seconda della tipologia dell'ambiente
- la filtrazione minima convenzionale dell'aria esterna e dell'aria di ricircolo



- la movimentazione dell'aria nel volume convenzionale occupato (la zona occupata è definita come quella parte di ambiente; delimitato dal pavimento, da una superficie orizzontale posta a 1,8 m dal pavimento e da superfici verticali poste a 0,6 m dalle pareti e dalle apparecchiature per la climatizzazione).

In particolare questa normativa classifica la qualità dell'aria in quattro categorie: Indici di affollamento, ricambi d'aria in base al volume, in base alla superficie l/s al m², in base all'affollamento l/s per persona. La terza categoria non presenta nessun valore negli edifici scolastici, pertanto non è stata considerata. Ad ognuna di esse corrispondono determinate portate d'aria.

Categorie di edifici		Portata d'aria		
		Indici di affollamento	In base al volume ricambi d'aria	In base all'affollamento l/s per persona
Edifici scolastici	Asili nido	0,4		4
	Aule scuole	0,45		5
	Aule scuole medie inferiori	0,45		6
	Aule scuole medie superiori	0,45		7
	Aule universitarie	0,6		7
	Servizi		8	
	Biblioteche, sale lettura	0,3		6
	Aule musica	0,5		7
	Laboratori	0,3		7
	Sale insegnanti	0,3		6

Le portate d'aria sono state calcolate in funzione dell'indice di affollamento e della superficie delle aule, da cui è stato ricavato il numero di ricambi orari. In particolare la portata d'aria in m³/h è stata calcolata come il prodotto della portata d'aria in l/s per 3,6. I numeri di ricambi orari, sono stati ottenuti invece come il rapporto tra la portata ora in m³/h e il volume dell'aula. Di seguito vengono riportate le tabelle per l'esplicazione dei calcoli eseguiti delle aule nella scuola.

Piano terra

<i>Aula num°</i>	<i>Superficie aula</i>	<i>Indice di affollamento (pers/m²)</i>	<i>In base all'affollamento (lls persona)</i>	<i>Portata d'aria (lls)</i>	<i>Portata d'aria (m³/h)</i>	<i>Volume aula (m³)</i>	<i>n° di ricambilorari</i>
Attività a tavolino 1.1	54,07	0,45	5	121,66	437,97	175,73	2,49
Attività a tavolino 1.2	54,07	0,45	5	121,66	437,97	176,73	2,48
Attività libere 1.1	19,85	0,45	5	44,66	160,79	64,51	2,49
Attività libere 1.2	35,57	0,45	5	80,03	288,12	115,6	2,49
Ufficio insegnanti	12,24	0,3	6	22,03	79,32	3,67	2,49

Primo piano

<i>Aula num°</i>	<i>Superficie aula</i>	<i>Indice di affollamento (pers/m²)</i>	<i>In base all'affollamento (lls persona)</i>	<i>Portata d'aria (lls)</i>	<i>Portata d'aria (m³/h)</i>	<i>Volume aula (m³)</i>	<i>n° di ricambilorari</i>
Aula A	46,5	0,45	5	104,63	437,97	151,13	2,90
Aula B	46,5	0,45	5	104,63	437,97	151,13	2,90
Biblioteca insegnanti	22,59	0,3	6	40,66	160,79	73,42	0,95
Aula 5	52,3	0,45	5	117,68	288,12	169,98	1,70
Aula 4	52,3	0,45	5	117,68	288,12	169,98	1,70
Aula 3	52,3	0,45	5	117,68	79,32	169,98	0,44
Aula 2	55,55	0,45	5	124,99	449,96	180,54	2,49
Aula 1	55,55	0,45	5	124,99	449,96	180,54	2,49

7.3 Dispositivi di protezione solare

I recenti sviluppi legislativi hanno dato molta importanza alle schermature solari come soluzione tecnologica e costruttiva efficace per evitare il surriscaldamento estivo, confermando il ruolo fondamentale di questi componenti nell'ambito dell'efficienza energetica. Per i sistemi di schermatura e/o ombreggiamento di chiusure trasparenti dell'involucro edilizio, fissi, anche integrati, o mobili installati, è richiesta una prestazione di schermatura solare di Classe 2 o

superiore come definite dalla norma UNI EN 14501:2006.

Classe	0	1	2	3	4
g_{tot}	$g_{tot} \geq 0,50$	$0,35 \leq g_{tot} \leq 0,50$	$0,15 \leq g_{tot} \leq 0,35$	$0,10 \leq g_{tot} \leq 0,15$	$g_{tot} \leq 0,1$
Apporto	Decisamente minimo	Minimo	Moderato	Buono	Ottimo

Immagine n°97: Classi normativa UNI EN 14501:2006

Il fattore solare g (trasmissione totale dell'energia solare del vetro) è il rapporto tra l'energia solare totale trasmessa in una stanza attraverso una finestra e l'energia solare incidente sulla finestra, mentre il parametro g_{tot} rappresenta il fattore solare della combinazione di vetro e dispositivo di controllo solare. La norma suggerisce di considerare la radiazione solare incidente sul vetro secondo le due componenti:

- diretta, da moltiplicare per un fattore di riduzione F_{dir} a seconda del tipo di telo e dell'inclinazione della tenda;
- diffusa proveniente direttamente dal cielo o riflessa dal suolo, da moltiplicare per un fattore di riduzione F_{dif} , in funzione della sola inclinazione della tenda.

La radiazione solare diretta e diffusa vengono fermate dalla tenda in tutto o in parte, e trasmesse in base al fattore di trasmissione solare del telo utilizzato. Nella legge è indicato come combinare le due componenti della radiazione diretta e diffusa in un unico parametro globale che esprime la riduzione di radiazione incidente rispetto alla radiazione solare totale trasmessa dalla vetrata. Il parametro viene definito fattore di riduzione solare globale F_{glob} e una volta calcolato va moltiplicato per il g della vetrata, ottenendo il fattore solare totale ridotto g_{glob} . Nel nostro caso precisamente sono stati riportati da progetto dei frangisole motorizzati in alluminio, ma sono in fase di montaggio.

7.4 Inquinamento elettromagnetico indoor

Il fenomeno comunemente definito "inquinamento elettromagnetico" è legato alla generazione di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici artificiali, non attribuibili al naturale fondo terrestre o ad eventi naturali (quale ad esempio può essere il campo elettrico generato da un fulmine). Essi vengono prodotti da impianti, come radio-TV e per telefonia mobile, attraverso la propagazione di onde elettromagnetiche. Oggi giorno siamo immersi in una grande quantità di onde elettromagnetiche artificiali di varia frequenza e intensità, le quali possono rivelarsi nocive per la salute. In questi ultimi anni, a fronte di tecniche edilizie sempre più innovative e l'avvento della domotica, si è sviluppata la ricerca di soluzioni che limitino le conseguenze dannose di questo fenomeno per l'uomo. Oggi è possibile, almeno mitigare l'intensità dei campi elettromagnetici negli edifici, riducendoli entro limiti accettabili. Infatti, all'interno di questa scuola, è stato verificato il

rispetto dei CAM a riguardo di:

- Il quadro elettrico generale, i contatori e le colonne per la trasmissione del segnale siano posizionati lontani da locali con permanenza prolungata di persone.
- La posa dell'impianto elettrico sia effettuata secondo lo schema "a stella" o "ad albero" o "a lisca di pesce", così da evitare di formare anelli attorno alle stanze.

Risulta non verificata la prima richiesta dei criteri ambientali minimi di evitare l'installazione di quadri elettrici all'interno delle aule. L'impianto elettrico è a stella, quindi verifica i requisiti CAM. La prima inosservanza è stata dettata dalle linee guide proposte dal Miur, le quali affermano che: "Norme tecniche-quadro, contenenti gli indici minimi e massimi di funzionalità urbanistica, edilizia, anche con riferimento alle tecnologie in materia di efficienza e risparmio energetico e produzione da fonti energetiche rinnovabili, e didattica indispensabili a garantire indirizzi progettuali di riferimento adeguati e omogenei sul territorio nazionale." in cui si legge che "A parte la distribuzione a "stella" che non favorisce l'insorgenza di campi magnetici, è opportuno che ogni ambiente abbia un quadro elettrico che ne consenta la gestione autonoma."

7.5 Verifica emissioni dei materiali

L'inquinamento dell'aria negli ambienti confinati (indoor) è un fenomeno al quale sono stati dedicati negli ultimi anni sempre maggiori studi. Il livello di concentrazione della maggior parte di sostanze inquinanti è superiore negli ambienti interni rispetto a quelli esterni. Trascorriamo più dell'80 – 90% del nostro tempo in spazi chiusi, appare chiaro che è necessario uno studio sistematico delle fonti di inquinamento indoor, del loro impatto sulla salubrità dell'aria e infine sull'effetto complessivo causato sulla salute ed il benessere. Gli inquinanti possono derivare da:

- Presenza di persone, animali, piante (batteri)
- Attività che si svolgono negli ambienti (gas generati dalla combustione, riscaldamento)
- Impianti di condizionamento
- Materiali da costruzione
- Materiali e prodotti per le finiture
- Materiali di arredo
- Prodotti di largo consumo

I composti organici volatili, comunemente indicati con l'acronimo VOC (Volatile Organic Compounds) sono costituiti da numerose sostanze tra cui idrocarburi aromatici e clorurati, i terpeni, le aldeidi, alcoli, esteri e chetoni. I VOC sono sempre presenti negli ambienti confinati e derivano da diverse fonti di inquinamento che, in relazione alla tipologia di emissione, sono distinte in continue e intermittenti. Le fonti continue possono determinare emissioni continue e durature nel tempo e si distinguono a loro volta in costanti e irregolari. Quelle costanti generano emissioni costanti nel tempo, per esempio i materiali d'arredamento o per l'edilizia (es. sughero, parquet, rivestimenti, moquet ecc.) i quali emettono formaldeide per lunghi periodi di tempo. Le fonti



continue irregolari invece, generano emissioni che diminuiscono nel tempo in relazione anche alle variazioni delle condizioni microclimatiche (velocità dell'aria, umidità, temperatura).

Esse comprendono vernici, adesivi utilizzati per la protezione dei materiali che in seguito a degradazione generano delle emissioni. Le fonti intermittenti possono determinare emissioni rilevanti, anche se di breve durata, includono: i prodotti per la casa e per il restauro (es. colle, solventi, adesivi), nonché gli occupanti e le attività da loro svolte (es. lavoro, hobby, fumo). E' difficile realizzare un elenco completo dei VOC emessi dalle sorgenti di inquinamento, a causa della continua produzione di prodotti diversi con conseguente cambiamento nella composizione della miscela di VOC emessi. L'UNI EN ISO 16000-5 [58] Part 5: "Sampling strategy for volatile organic compounds (VOCs)" classifica i composti organici volatili in base ai punti di ebollizione, con un limite inferiore tra $50 \div 100^{\circ}\text{C}$ e un limite superiore fra $240 \div 260^{\circ}\text{C}$ (molto volatili, volatili, semivolatili, materiale particolato). La misura dei composti organici totali (TVOC) può essere un mezzo per verificare gli effetti di un ambiente inquinato sulla salute e benessere dell'uomo. I TVOC si possono impiegare come indicatori della qualità dell'aria, anche se è necessaria una certa cautela nello stabilire scale di valori; questo sia perché non si ha una definizione univoca dei VOC stessi, sia per la scarsa confrontabilità dei metodi di misura. Le tecniche di misura sono molto complesse e possono portare a risultati diversi. *Il campionamento attivo* è specificato nella norma UNI EN ISO 16017-1 [59] e UNI EN ISO 16000. Il prelievo dei campioni di aria viene realizzato mediante campionatori d'aria calibrati (personal-pump), costituiti da pompe d'aspirazione connesse mediante un software ad un flussimetro che consente di regolare i volumi totali e la velocità di aspirazione. Per i campionamenti vengono utilizzate trappole costituite da cartucce contenenti solidi assorbenti che sono in grado di "catturare" i composti volatili. La cartuccia viene posta al centro del locale da analizzare a 150 cm d'altezza da terra. Questo metodo può essere definito come medio - continuo in quanto viene eseguito prelevando, in maniera continua per un intervallo di tempo di 4-8 ore, un volume di aria proporzionale al valore del flusso impostato. *Il campionamento passivo*, secondo la norma UNI EN 14412:2005 [60], prevede un esame dell'aria indoor eseguita esponendo un campionatore di tipo diffusivo a simmetria radiale. Il campionatore è costituito da una cartuccia contenente un opportuno materiale solido assorbente, specifico per aldeidi e VOC. Questo tipo di campionamento viene effettuato senza l'utilizzo di flussi di aspirazione forzata e controllata. La cartuccia assorbente, viene posta al centro del locale da analizzare a 150 cm d'altezza da terra, per un periodo di tempo stabilito dalle specifiche tecniche della cartuccia stessa (Busa et al., 2014). I campionatori passivi forniscono dei valori medi di concentrazione per un tempo più o meno prolungato e quindi sono un'ottima soluzione per risalire alle concentrazioni medie degli inquinanti indoor. *Il campionamento speditivo* consente di esaminare in modo rapido ed attendibile la presenza dei composti organici volatili, misurandone la concentrazione totale (TVOC). L'analisi quantitativa avviene mediante uno strumento di misurazione a fotoionizzazione (PID). Tale misura può essere utile per caratterizzare un ambiente



e i diversi materiali utilizzati. Per verificare il rispetto del limite di emissione degli inquinanti dei materiali, dunque, sarebbe stato necessario il prelievo di campioni d'aria, a 28 giorni dalla conclusione dei lavori. Questa operazione però, non è stata possibile. Tuttavia, dal progetto si percepisce l'obiettivo, nella scelta dei componenti edilizi e di eventuali prodotti per il loro trattamento, di adottare materiali a bassa o assente emissione di inquinanti.

Da un punto di vista critico, sui CAM, è bene sottolineare che questo requisito sarebbe verificabile solo ad opera completamente funzionante. Dovrebbero essere eseguite prove specifiche sui materiali in situ, cosa attualmente non possibile. Si evince comunque che la scuola è stata progettata con una metodologia che cerca di rispettare al massimo questi valori emissivi dei materiali.

7.6 Verifica comfort termo-igrometrico

Risultati analisi di comfort periodo invernale (9-12 Gennaio)

La fase successiva ha riguardato l'analisi dei dati di comfort per il periodo invernale ed in seguito per quello estivo. Il periodo preso in esame ora è dal 9 al 12 Gennaio, per ottenere un andamento giornaliero e orario di valori quali:

- Temperatura dell'aria (°C)
- Temperatura radiante (°C)
- Temperatura operante (°C)
- Temperatura esterna a bulbo secco (°C)
- Umidità relativa (%)
- Indice di Fanger PMV
- Indice di Fanger PPD

In questo modo si è potuto valutare la variazione di questi valori per fascia oraria, in particolare durante il periodo di funzionamento della scuola; cioè dalle 7:45 alle 15:45. Vengono riportate di seguito le tabelle generate da DesignBuilder con l'aggiunta del valore PPD calcolato con la formula precedentemente espressa. In queste tabelle la fascia oraria di funzionamento viene evidenziata in verde.

Data/Ora	Temp. Aria (°C)	Temp. Radiante (°C)	Temp, Operante (°C)	Temp, Esterna a Bulbo Secco (°C)	Umidità Relativa (°C)	Indice Fanger PMV	Indice Fanger PPD
----------	-----------------	---------------------	---------------------	----------------------------------	-----------------------	-------------------	-------------------



09/01/2018							
01:00:00	15,62	17,00	16,31	5,14	45,97	-1,23	36,52
02:00:00	15,45	16,78	16,11	5,46	43,96	-1,27	38,92
03:00:00	15,26	16,55	15,91	5,63	42,81	-1,32	41,47
04:00:00	15,09	16,34	15,71	5,89	42,26	-1,37	43,75
05:00:00	14,92	16,14	15,53	5,94	42,32	-1,41	45,81
06:00:00	14,73	15,93	15,33	5,78	43,42	-1,44	47,90
07:00:00	14,52	15,73	15,12	5,51	45,56	-1,48	49,90
08:00:00	14,32	15,55	14,93	5,28	48,21	-1,51	51,64
09:00:00	18,24	17,25	17,75	5,14	45,17	-1,04	27,64
10:00:00	19,86	18,49	19,17	5,04	46,56	-0,60	12,46
11:00:00	20,51	19,49	20,00	4,88	46,08	-0,41	8,46
12:00:00	21,07	20,34	20,71	4,68	45,19	-0,26	6,40
13:00:00	21,47	20,98	21,22	4,48	44,72	-0,15	5,44
14:00:00	21,71	21,36	21,53	4,28	44,55	-0,08	5,12
15:00:00	21,78	21,47	21,63	4,14	44,51	-0,05	5,06
16:00:00	21,80	21,49	21,64	4,04	44,58	-0,05	5,05
17:00:00	19,36	20,48	19,92	3,94	48,90	-0,33	7,30
18:00:00	17,97	19,56	18,76	3,84	48,19	-0,66	14,13
19:00:00	17,34	18,98	18,16	3,80	44,86	-0,82	19,22
20:00:00	16,92	18,53	17,72	3,86	43,24	-0,93	23,22
21:00:00	16,57	18,15	17,36	3,96	42,98	-1,01	26,60
22:00:00	16,27	17,81	17,04	4,13	43,62	-1,08	29,58
23:00:00	16,00	17,50	16,75	4,33	44,77	-1,14	32,25
10/01/2018							
01:00:00	15,56	16,95	16,26	4,89	47,15	-1,23	36,95
02:00:00	15,35	16,71	16,03	5,00	48,25	-1,28	39,13
03:00:00	15,13	16,47	15,80	4,94	49,10	-1,32	41,49
04:00:00	14,89	16,23	15,56	4,71	49,51	-1,37	44,07
05:00:00	14,66	15,99	15,32	4,60	49,56	-1,42	46,77
06:00:00	14,46	15,76	15,11	4,66	49,31	-1,47	49,27
07:00:00	14,28	15,55	14,91	4,76	48,84	-1,51	51,64
08:00:00	14,09	15,35	14,72	4,68	48,36	-1,56	53,96
09:00:00	18,28	16,96	17,62	4,41	42,80	-1,07	29,08
10:00:00	19,42	17,86	18,64	3,99	44,42	-0,71	15,57
11:00:00	19,79	18,44	19,12	3,74	44,72	-0,60	12,43
12:00:00	20,08	18,89	19,49	3,76	43,83	-0,52	10,67
13:00:00	20,38	19,27	19,82	3,93	42,92	-0,45	9,28
14:00:00	20,67	19,61	20,14	4,13	42,08	-0,39	8,15
15:00:00	20,95	19,92	20,43	4,33	41,60	-0,33	7,23
16:00:00	21,23	20,21	20,72	4,53	41,15	-0,27	6,48
17:00:00	18,40	19,39	18,90	4,66	45,29	-0,56	11,63
18:00:00	17,06	18,55	17,81	4,70	43,08	-0,89	21,71
19:00:00	16,56	18,03	17,29	4,64	39,39	-1,03	27,47
20:00:00	16,15	17,61	16,88	4,48	37,40	-1,13	32,01
21:00:00	15,79	17,26	16,52	4,15	37,04	-1,21	35,88
22:00:00	15,45	16,92	16,19	3,75	38,09	-1,28	39,36
23:00:00	15,14	16,60	15,87	3,60	39,91	-1,34	42,56
11/01/2018							



01:00:00	14,65	16,05	15,35	3,89	41,58	-1,45	48,12
02:00:00	14,43	15,80	15,12	3,88	41,40	-1,50	50,74
03:00:00	14,18	15,55	14,87	3,61	41,16	-1,55	53,68
04:00:00	13,91	15,30	14,60	3,19	40,91	-1,61	56,72
05:00:00	13,64	15,04	14,34	2,81	40,62	-1,67	59,88
06:00:00	13,37	14,78	14,08	2,45	40,62	-1,72	62,85
07:00:00	13,11	14,53	13,82	2,11	41,00	-1,77	65,72
08:00:00	12,87	14,29	13,58	1,94	41,76	-1,82	68,24
09:00:00	17,10	15,92	16,51	1,90	38,60	-1,33	41,89
10:00:00	18,36	16,85	17,60	1,96	41,31	-0,95	24,23
11:00:00	18,79	17,46	18,13	1,94	41,90	-0,83	19,37
12:00:00	19,09	17,94	18,51	1,78	41,17	-0,75	16,71
13:00:00	19,31	18,32	18,82	1,51	40,04	-0,69	14,89
14:00:00	19,49	18,63	19,06	1,28	39,23	-0,64	13,58
15:00:00	19,67	18,90	19,28	1,14	39,38	-0,59	12,37
16:00:00	19,87	19,14	19,50	1,04	40,01	-0,54	11,19
17:00:00	16,92	18,21	17,57	0,69	45,18	-0,85	20,39
18:00:00	15,45	17,25	16,35	0,06	43,61	-1,20	35,43
19:00:00	14,80	16,63	15,72	-0,70	40,19	-1,37	43,77
20:00:00	14,28	16,12	15,20	-1,19	38,01	-1,49	50,42
21:00:00	13,86	15,68	14,77	-1,30	36,91	-1,59	55,76
22:00:00	13,50	15,29	14,39	-1,24	36,75	-1,67	60,16
23:00:00	13,16	14,93	14,04	-1,26	37,14	-1,74	64,04
12/01/2018							
01:00:00	12,54	14,25	13,40	-1,36	38,21	-1,88	70,89
02:00:00	12,24	13,94	13,09	-1,53	38,70	-1,94	73,90
03:00:00	11,93	13,62	12,78	-1,79	39,02	-2,00	76,88
04:00:00	11,61	13,31	12,46	-2,09	39,13	-2,07	79,75
05:00:00	11,32	13,00	12,16	-2,20	39,18	-2,13	82,32
06:00:00	11,06	12,71	11,89	-2,20	39,50	-2,19	84,48
07:00:00	10,82	12,44	11,63	-2,08	40,06	-2,24	86,33
08:00:00	10,61	12,19	11,40	-1,88	40,93	-2,29	87,84
09:00:00	15,04	13,94	14,49	-1,55	36,34	-1,77	65,69
10:00:00	16,61	15,02	15,81	-1,15	38,87	-1,35	42,96
11:00:00	17,14	15,67	16,41	-0,81	39,67	-1,21	35,58
12:00:00	17,54	16,18	16,86	-0,45	40,08	-1,11	30,89
13:00:00	17,92	16,62	17,27	-0,11	40,50	-1,02	26,94
14:00:00	18,27	17,03	17,65	0,13	40,69	-0,94	23,51
15:00:00	18,59	17,40	18,00	0,33	40,75	-0,86	20,65
16:00:00	18,89	17,75	18,32	0,53	40,81	-0,79	18,19
17:00:00	16,03	16,86	16,44	0,85	46,66	-1,08	29,63
18:00:00	14,44	15,92	15,18	1,25	47,50	-1,44	47,72
19:00:00	13,90	15,38	14,64	1,78	45,78	-1,57	54,95
20:00:00	13,48	14,97	14,22	1,50	43,81	-1,67	60,30
21:00:00	13,01	14,57	13,79	0,33	42,58	-1,77	65,41
22:00:00	12,47	14,16	13,32	-1,45	41,22	-1,87	70,74
23:00:00	12,04	13,75	12,90	-1,89	39,64	-1,97	75,59

In seguito si è deciso di rappresentare l'andamento dei due indici di Fanger durante l'orario di apertura della scuola, con due grafici per valutarne il loro andamento. I nuovi CAM, in particolare la UNI EN ISO 7730, impongono determinati limiti per rientrare nella classe B (classe minima) e sono:

- un PMV compreso tra -0,5 e +0,5
- un PPD massimo del 10%

I limiti vengono rappresentati da una linea rossa su entrambi i grafici.

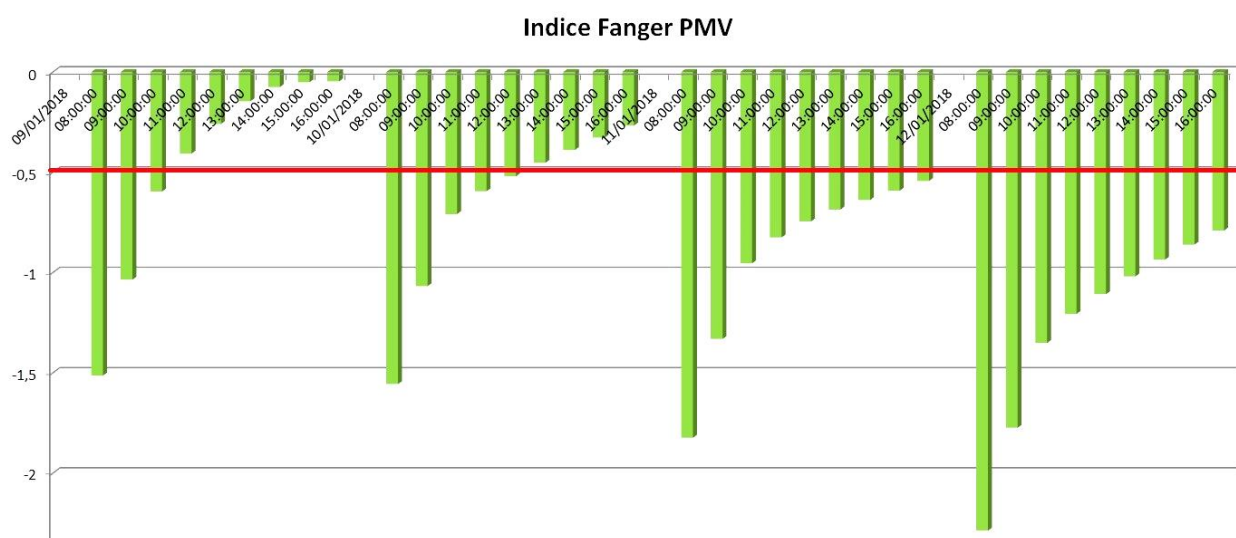


Immagine n°98: andamento PMV invernale

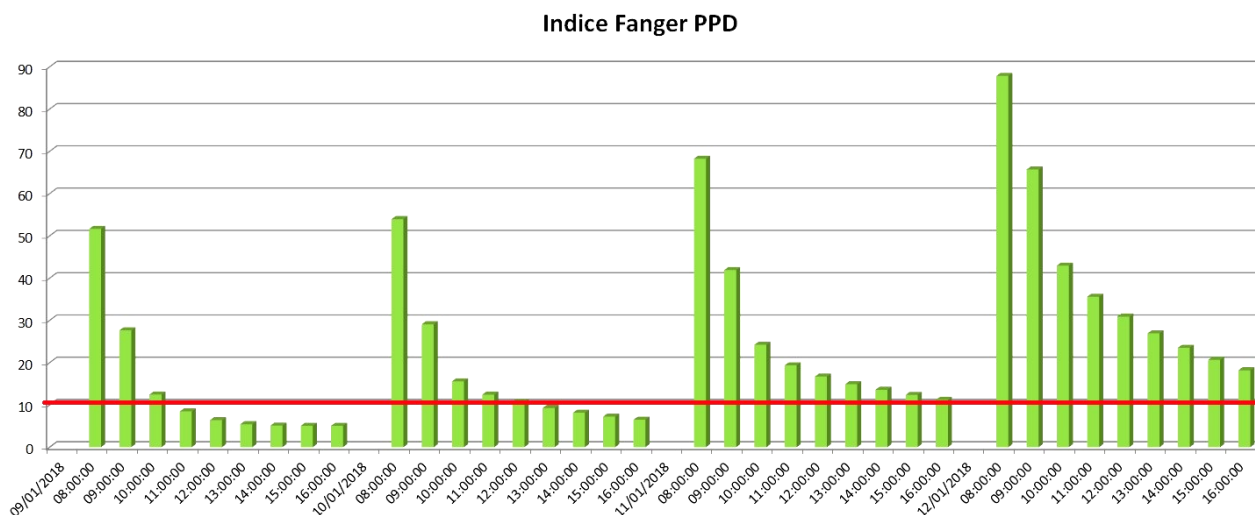


Immagine n°99: andamento PPD invernale

Da quanto si evince dai grafici, i limiti vengono rispettati solo parzialmente. In particolare durante le prime ore della mattina i valori sono sopra a quelli consentiti per legge. Nelle ore seguenti abbiamo un aumento del PMV con valori prossimi a quelli da normativa, mentre il PPD si avvicina ai valori da normativa abbassandosi. Si vede comunque come i valori non vengano rispettati

completamente. Questo potrebbe essere dovuto alle molteplici variabili inserite all'interno del software, il quale fa evidentemente fatica ad assimilarle tutte.

Risultati analisi di comfort periodo estivo (5-8 Giugno)

Lo stesso procedimento è stato svolto per il periodo estivo, in particolare sono stati presi sempre 4 giorni di riferimento cioè dal 5 all'8 Giugno. Sono stati usati gli stessi indici del periodo precedente, con varianza oraria.

Data/Ora	Temp. Aria (°C)	Temp. Radiante (°C)	Temp. Operante (°C)	Temp. Esterna a Bulbo Secco (°C)	Umidità Relativa (°C)	Indice Fanger PMV	Indice Fanger PPD
05/06/2018							
01:00:00	25,28	26,16	25,72	19,78	42,37	0,17	5,58
02:00:00	25,31	26,06	25,69	20,66	47,06	0,20	5,81
03:00:00	25,21	25,95	25,58	20,64	49,98	0,19	5,75
04:00:00	25,08	25,82	25,45	20,48	51,63	0,17	5,57
05:00:00	24,96	25,70	25,33	20,34	53,18	0,14	5,39
06:00:00	24,95	25,72	25,34	20,24	54,82	0,14	5,43
07:00:00	25,04	25,85	25,44	20,08	56,70	0,18	5,71
08:00:00	25,10	26,40	25,75	20,06	67,49	0,33	7,32
09:00:00	25,38	26,86	26,12	20,29	68,73	0,47	9,58
10:00:00	25,75	27,35	26,55	20,65	68,43	0,60	12,53
11:00:00	26,01	27,81	26,91	20,74	67,00	0,72	15,76
12:00:00	26,08	28,15	27,12	20,51	64,62	0,77	17,33
13:00:00	26,03	28,34	27,19	20,15	61,44	0,77	17,38
14:00:00	26,01	28,37	27,19	20,06	58,94	0,74	16,46
15:00:00	26,09	28,29	27,19	20,35	57,75	0,73	16,14
16:00:00	26,97	27,99	27,48	20,81	52,76	0,78	17,67
17:00:00	26,96	27,86	27,41	21,00	50,33	0,78	17,74
18:00:00	26,80	27,69	27,24	20,88	49,46	0,72	15,81
19:00:00	26,58	27,48	27,03	20,55	49,37	0,65	13,84
20:00:00	26,30	27,20	26,75	20,21	49,13	0,56	11,63
21:00:00	26,05	26,96	26,51	19,91	47,41	0,47	9,68
22:00:00	25,83	26,76	26,30	19,55	44,00	0,38	8,08
23:00:00	25,60	26,56	26,08	19,09	40,22	0,29	6,72
06/06/2018							
01:00:00	25,13	26,15	25,64	18,03	42,54	0,15	5,50
02:00:00	24,90	25,95	25,43	17,55	47,48	0,12	5,30
03:00:00	24,68	25,73	25,20	17,21	51,38	0,08	5,14
04:00:00	24,46	25,52	24,99	16,91	53,95	0,03	5,02
05:00:00	24,29	25,36	24,82	16,86	55,56	-0,01	5,00
06:00:00	24,28	25,33	24,80	17,09	56,97	-0,01	5,00
07:00:00	24,40	25,42	24,91	17,58	58,50	0,02	5,01
08:00:00	24,32	25,97	25,14	18,18	69,32	0,16	5,51
09:00:00	24,59	26,38	25,49	18,90	70,92	0,27	6,48
10:00:00	25,20	26,90	26,05	19,83	70,10	0,44	8,98
11:00:00	25,80	27,46	26,63	20,64	68,76	0,62	13,08
12:00:00	26,31	27,95	27,13	21,28	66,90	0,77	17,60
13:00:00	26,73	28,35	27,54	21,81	64,52	0,89	21,88
14:00:00	26,98	28,56	27,77	22,13	62,76	0,96	24,65



15:00:00	27,00	28,57	27,78	22,14	62,18	0,97	24,93
16:00:00	27,27	28,19	27,73	21,91	59,64	0,94	23,50
17:00:00	27,15	27,98	27,57	21,74	56,86	0,88	21,46
18:00:00	26,98	27,81	27,39	21,64	54,59	0,81	18,80
19:00:00	26,80	27,63	27,22	21,48	52,11	0,73	16,36
20:00:00	26,57	27,41	26,99	21,09	49,50	0,64	13,71
21:00:00	26,31	27,19	26,75	20,46	46,71	0,55	11,29
22:00:00	26,05	26,99	26,52	19,70	43,64	0,45	9,26
23:00:00	25,81	26,78	26,30	19,15	41,39	0,36	7,69
07/06/2018							
01:00:00	25,40	26,39	25,90	18,64	47,39	0,26	6,43
02:00:00	25,23	26,21	25,72	18,48	54,25	0,26	6,38
03:00:00	25,04	26,03	25,53	18,34	59,15	0,24	6,17
04:00:00	24,87	25,84	25,36	18,24	61,71	0,20	5,86
05:00:00	24,74	25,69	25,22	18,45	62,48	0,16	5,55
06:00:00	24,78	25,70	25,24	18,98	62,89	0,17	5,57
07:00:00	24,97	25,84	25,41	19,70	63,32	0,22	5,97
08:00:00	25,24	26,45	25,84	20,38	69,83	0,38	8,02
09:00:00	25,78	26,98	26,38	21,04	68,08	0,55	11,22
10:00:00	26,34	27,56	26,95	21,74	64,28	0,70	15,43
11:00:00	26,76	28,12	27,44	22,13	61,92	0,85	20,08
12:00:00	27,00	28,57	27,78	22,20	62,32	0,96	24,45
13:00:00	27,09	28,86	27,98	22,08	64,35	1,04	27,74
14:00:00	27,11	28,97	28,04	22,00	64,62	1,07	29,02
15:00:00	27,06	28,92	27,99	21,94	61,64	1,03	27,61
16:00:00	27,65	28,60	28,12	21,84	55,50	1,02	26,92
17:00:00	27,55	28,43	27,99	21,74	50,59	0,97	24,91
18:00:00	27,38	28,26	27,82	21,64	46,93	0,89	21,54
19:00:00	27,20	28,08	27,64	21,48	43,74	0,80	18,57
20:00:00	26,95	27,83	27,39	21,09	41,73	0,71	15,49
21:00:00	26,67	27,59	27,13	20,46	42,73	0,63	13,26
22:00:00	26,40	27,38	26,89	19,70	46,76	0,58	11,96
23:00:00	26,14	27,16	26,65	19,09	52,24	0,54	11,10
08/06/2018							
01:00:00	25,69	26,76	26,23	18,15	57,14	0,45	9,19
02:00:00	25,47	26,55	26,01	17,88	56,97	0,38	8,02
03:00:00	25,28	26,35	25,82	17,80	56,04	0,31	7,02
04:00:00	25,11	26,14	25,63	17,93	54,47	0,24	6,22
05:00:00	24,97	25,98	25,47	18,13	52,59	0,18	5,66
06:00:00	24,99	25,98	25,48	18,45	51,02	0,16	5,55
07:00:00	25,14	26,10	25,62	18,85	49,87	0,19	5,76
08:00:00	24,90	26,59	25,75	19,38	57,71	0,27	6,52
09:00:00	25,34	27,02	26,18	19,98	61,16	0,42	8,62
10:00:00	25,88	27,56	26,72	20,70	65,16	0,61	12,80
11:00:00	26,40	28,12	27,26	21,31	67,93	0,82	19,04
12:00:00	26,81	28,60	27,70	21,75	68,17	0,97	24,79
13:00:00	27,13	28,95	28,04	22,09	66,90	1,07	29,36
14:00:00	27,34	29,12	28,23	22,39	66,20	1,13	32,03
15:00:00	27,46	29,11	28,28	22,69	67,28	1,16	33,48
16:00:00	27,95	28,79	28,37	22,93	64,59	1,18	34,20
17:00:00	27,84	28,60	28,22	22,88	63,44	1,15	32,63
18:00:00	27,62	28,42	28,02	22,49	63,09	1,08	29,53
19:00:00	27,37	28,21	27,79	21,86	62,33	1,00	26,13
20:00:00	27,07	27,95	27,51	21,29	60,95	0,90	22,12



21:00:00	26,81	27,70	27,26	20,85	58,87	0,80	18,55
22:00:00	26,59	27,51	27,05	20,39	56,03	0,71	15,66
23:00:00	26,37	27,31	26,84	20,01	52,99	0,62	13,10

Come svolto precedentemente, i dati nella fascia oraria di utilizzo della scuola sono stati rappresentati su un grafico per verificarne il loro andamento. I limiti da normativa con i quali sono stati confrontati sono gli stessi del periodo invernale.

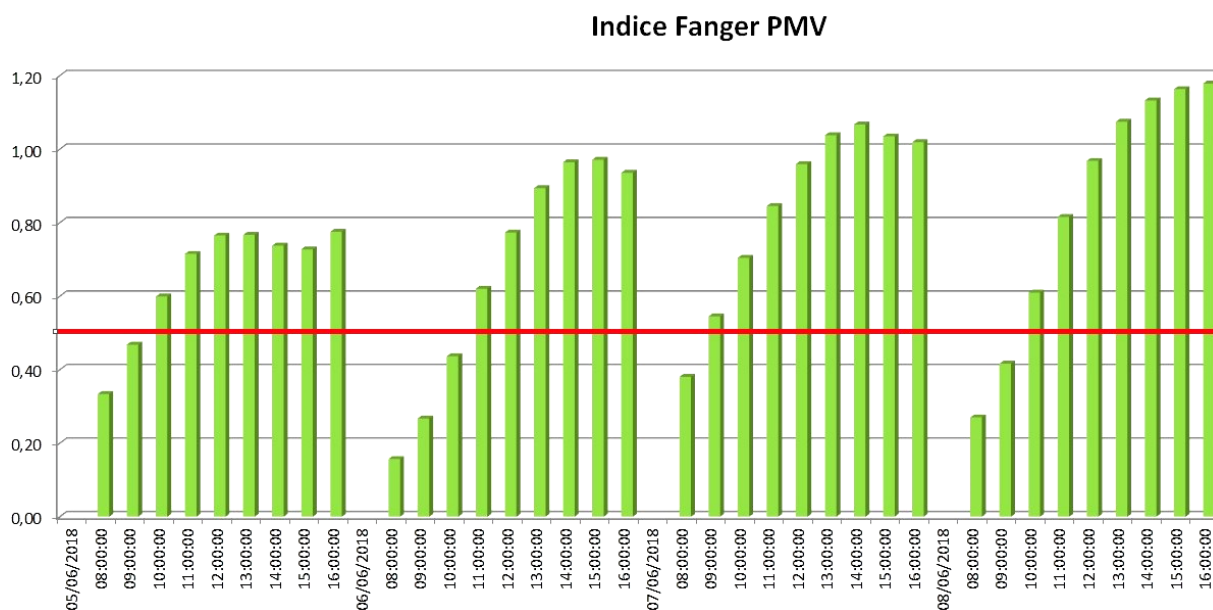


Immagine n°100: andamento PMV estivo

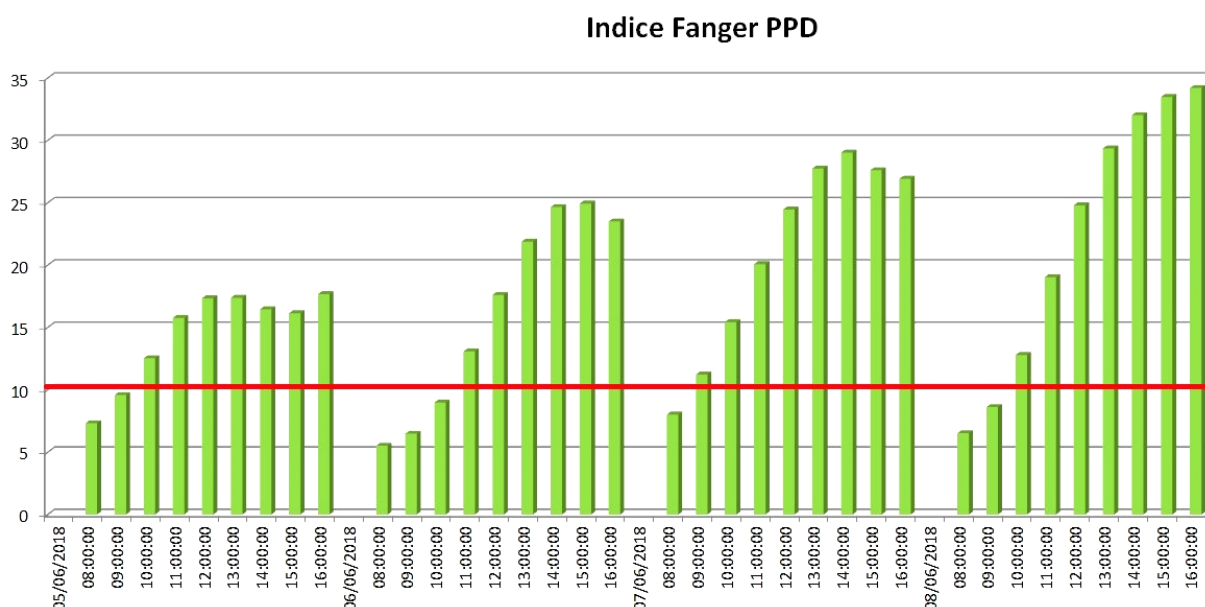


Immagine n°101: andamento PPD estivo

I risultati ottenuti, mostrano le stesse difficoltà del software accertate nel periodo invernale. In questo caso i valori sopra norma sono quelli nella fascia oraria pomeridiana, mentre quelli rientranti nei range consigliati sono quelli delle prime ore di funzionamento dell'impianto. Un errore



derivante anche qui dal gran numero di variabili inserite nel modello, le quali determinano parecchie difficoltà nella loro assimilazione.

7.7 Radon

Il radon è un gas radioattivo presente in natura, chimicamente inerte, inodore, incolore e privo di sapore. Viene prodotto dal radio nella catena di decadimento dell'uranio, elemento presente in quantità variabili in tutte le rocce e nel suolo. Quando il gas radon si libera dal sottosuolo passando nell'aria, i suoi prodotti di decadimento, che emettono radiazioni, possono aderire alla polvere e ad altre particelle presenti nell'aria che respiriamo così da riuscire a depositarsi nelle cellule di rivestimento delle vie aeree dove le particelle possono esplicare la loro azione dannosa. In particolare, se inalato, il gas radon può indurre nelle cellule polmonari danni al DNA. Per questo motivo in molti paesi, soprattutto in Europa e nel nord-America sono state attivate politiche sanitarie finalizzate alla riduzione di questo rischio. La normativa attualmente vigente in Italia, costituita dal Decreto Legislativo n. 230/95 e s.m.i. fissa un limite di concentrazione di attività di gas radon in aria solo per i luoghi di lavoro. Tale limite inteso come "livello di azione" per eventuali successivi interventi e provvedimenti è posto ad un livello di concentrazione di attività di radon media in un anno pari a 500 Bq/m³. Tra gli anni '80 e '90 è stata realizzata dall'Istituto Superiore della Sanità e dai Centri Regionali di Riferimento della Radioattività Ambientale degli assessorati regionali alla Sanità, oggi confluiti nelle Agenzie per la protezione dell'ambiente regionali e provinciali (ARPA e APPA), un'indagine nazionale sulla concentrazione del radon su tutto il territorio nazionale. La mappa riportata di seguito evidenzia i livelli di attività radon nella nostra penisola.

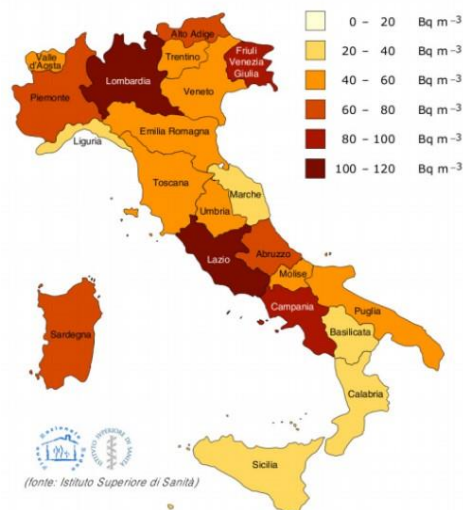


Immagine n°102: mappa radon in Italia

In ogni modo, questo pericolosissimo materiale, non è presente in alcun modo nella scuola sita a Palombina oggetto di studio. Questo parametro CAM risulta quindi verificato.

7.8 Piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti/piano di gestione

Il piano di manutenzione è il documento complementare al progetto esecutivo che prevede, pianifica e programma, tenendo conto degli elaborati progettuali esecutivi effettivamente realizzati, l'attività di manutenzione dell'intervento al fine di mantenerne nel tempo la funzionalità, le caratteristiche di qualità, l'efficienza ed il valore economico. Tale documento è costituito dai seguenti documenti operativi, salvo diversa motivata indicazione del responsabile del procedimento:

- Il manuale d'uso: si riferisce all'uso delle parti significative del bene, ed in particolare degli impianti tecnologici. Il manuale contiene l'insieme delle informazioni atte a permettere all'utente di conoscere le modalità per la migliore utilizzazione del bene, nonché tutti gli elementi necessari per limitare quanto più possibile i danni derivanti da un'utilizzazione impropria, per consentire di eseguire tutte le operazioni atte alla sua conservazione che non richiedono conoscenze specialistiche e per riconoscere tempestivamente fenomeni di deterioramento anomalo al fine di sollecitare interventi specialistici. Il manuale d'uso contiene le seguenti informazioni:
 - la collocazione nell'intervento delle parti menzionate;
 - la rappresentazione grafica;
 - la descrizione;
 - le modalità di uso corretto.

- Il manuale di manutenzione: si riferisce alla manutenzione delle parti significative del bene ed in particolare degli impianti tecnologici. Esso fornisce, in relazione alle diverse unità tecnologiche, alle caratteristiche dei materiali o dei componenti interessati, le indicazioni necessarie per la corretta manutenzione nonché per il ricorso ai centri di assistenza o di servizio. Il manuale di manutenzione contiene a sua volta le seguenti informazioni:
 - la collocazione nell'intervento delle parti menzionate;
 - la rappresentazione grafica;
 - la descrizione delle risorse necessarie per l'intervento manutentivo;
 - il livello minimo delle prestazioni;
 - le anomalie riscontrabili;
 - le manutenzioni eseguibili direttamente dall'utente;
 - le manutenzioni da eseguire a cura di personale specializzato.

- Il programma di manutenzione: si realizza, a cadenze prefissate temporalmente o altrimenti prefissate, al fine di una corretta gestione del bene e delle sue parti nel corso degli anni. Esso si articola in tre sottoprogrammi:



- 1) Il sottoprogramma delle prestazioni, che prende in considerazione, per classe di requisito, le prestazioni fornite dal bene e dalle sue parti nel corso del suo ciclo di vita;
- 2) Il sottoprogramma dei controlli, che definisce il programma delle verifiche comprendenti, ove necessario, anche quelle geodetiche, topografiche e fotogrammetriche, al fine di rilevare il livello prestazionale (qualitativo e quantitativo) nei successivi momenti della vita del bene, individuando la dinamica della caduta delle prestazioni aventi come estremi il valore di collaudo e quello minimo di norma;
- 3) Il sottoprogramma degli interventi di manutenzione, che riporta in ordine temporale i differenti interventi di manutenzione, al fine di fornire le informazioni per una corretta conservazione del bene.

In conformità di quanto disposto all'articolo 15, comma 4, il programma di manutenzione, il manuale d'uso ed il manuale di manutenzione redatti in fase di progettazione, sono sottoposte a cura del direttore dei lavori al necessario aggiornamento. Questo viene eseguito per rendere disponibili, all'atto della consegna delle opere ultimate, tutte le informazioni necessarie sulle modalità per la relativa manutenzione e gestione di tutte le sue parti, delle attrezzature e degli impianti.



Capitolo 8. Valutazione comfort acustico

In ottemperanza ai CAM del 2017, descritti nel paragrafo 2.5.6.6, viene valutato l'ultimo criterio, quello di comfort acustico. Questo, è avvenuto mediante la realizzazione di prove all'interno delle aule scolastiche. Vengono definiti innanzitutto il significato di "livello del rumore di fondo" e "indici di intelligibilità".

Livello del rumore di fondo

Il livello di rumore di fondo è uno dei principali parametri da controllare per garantire la buona comprensione della parola e un buon comfort acustico all'interno degli ambienti scolastici. L'indice di valutazione è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata A del rumore di fondo (L_{Aeq}) nel periodo T. Adottando il livello sonoro equivalente, l'effetto disturbante del rumore viene correlato al contributo energetico medio in un intervallo di tempo. In fase di progetto si determina il livello globale ponderato A del rumore di fondo, $L_{P(A)tot}$, come somma logaritmica dei livelli di pressione sonora dovuti alle diverse tipologie di rumore ambientale, nelle diverse bande di ottava o terzi di ottava, secondo la seguente formula:

$$L_{P(A)tot} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{P(A)i}}{10}} \right) dB(A)$$

Dove:

$L_{P(A)i}$ sono i livelli di pressione di rumore di fondo

(L_{Pi}) alle diverse frequenze, corretti secondo la curva di ponderazione A.

Ciascun livello L_{Pi} è ottenuto secondo la seguente formula:

$$L_{Pi} = 10 \log \left(\sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_{Pij}}{10}} \right) dB$$

Dove:

L_{Pi} è il livello di pressione sonora globale alla i-esima banda di frequenze in decibel

L_{Pij} è il livello di pressione sonora del j-esimo tipo di rumore alla i-esima banda di frequenza, in decibel.

Indici di intelligibilità

La norma di riferimento per l'osservazione degli indici di intelligibilità è la IEC EN 60268-16 (2011). In essa si trovano quegli indici in grado di dare un giudizio qualitativo sull'intelligibilità della parola come lo Speech Transmission Index (STI). Questo parametro "riassume" una quantità fisica detta



MTF (modulation transfer function), dipendente sia dalla frequenza acustica considerata, sia dalla frequenza di modulazione. Il segnale utilizzato in questo tipo di misurazione è un segnale particolare, che cerca di riprodurre le caratteristiche di ampiezza e modulazione tipiche della voce umana: viene scelto un segnale di frequenza f_1 (portante), che assume ampiezza variabile nel tempo, secondo una legge imposta da un segnale di frequenza più bassa f_2 (modulante). Per la misurazione dell'STI, la portante è considerata come rumore rosa. Per ricreare la voce umana si considera quindi una variazione di ampiezza, effetto dato tramite la moltiplicazione per la funzione modulante, generalmente una sinusoidale, di pochi hertz, che fa variare il valore risultante della portante tra 0 ed 1. Questo passaggio vuole ricreare il movimento effettuato normalmente dalla nostra bocca (bocca chiusa= 0 Hz, bocca aperta= valore massimo di 10 Hz) durante l'atto di parlare. Il segnale risultante sarà quindi contraddistinto dalla frequenza della portante (f) e dalla frequenza di modulazione (F). Il suono creato sarà quindi diffuso nell'ambiente, ma che la misurazione dell'intelligibilità del parlato sarà effettuata in un altro punto della stanza, al fine di valutare come questo suono si diffonde. Ciò che noterò è che il segnale recepito dal ricevitore sarà diverso da quello di partenza: le riflessioni e la presenza di rumori nella stanza difatti degradano il suono iniziale, il quale non avrà più una modulazione del 100% come quello iniziale. Definiremo quindi MTF il rapporto tra modulazione del segnale in uscita e modulazione del segnale in ingresso. Esso indica sostanzialmente quanto si è degradato il segnale a causa delle riflessioni e del rumore di fondo (background noise). Più l'MTF è ridotta più il rumore sarà degradato. Esistono in genere due metodi per il calcolo del MTF, il metodo RASTI (ormai quasi in disuso dopo l'avvento delle strumentazioni computerizzate poiché non utilizzava un'intermediazione elettroacustica semplificando il calcolo del MTF) e il metodo STIPA. Quest'ultimo è ora considerato l'approccio più apprezzabile sul campo sia per parlato amplificato che non. La strumentazione per fare questo tipo di misure si divide in due grandi famiglie:

- Fonometri classici attrezzati con firmware in grado di misurare e analizzare secondo il metodo STIPA;
- Sistemi computerizzati in grado di ricavare la risposta dell'ambiente con il metodo MLS (Maximum Length Sequence) o con risposta all'impulso.

Nel senso più generale possibile lo spettro delle frequenze del parlato va da 200 a 5.000 Hz. La maggiore potenza acustica si trova al di sotto dei 1.000 Hz e la più grande dinamica energetica si trova fra 200 e 600 Hz. Ragionando in bande di ottava, le tre bande di 1,0; 2,0; 4,0 kHz forniscono il 75% del contenuto dell'intelligibilità. Inoltre, le prime riflessioni (ritardi inferiori a 35-50 millisecondi) tendono ad essere integrate con il suono diretto e rafforzano il volume sonoro migliorando l'intelligibilità. Riflessioni con ritardi successivi (più di 50 millisecondi) hanno un ruolo particolarmente degradante per l'intelligibilità. È inoltre utile sapere che le consonanti tendono a durare meno di 65 millisecondi, mentre le vocali tendono a durare per più di 100 millisecondi. È



quindi importante che la riflessione di un elemento precedente della parola non mascheri un elemento seguente, questo lo si ottiene avendo un tempo di riverbero relativamente basso. Anche la dinamica segnale/disturbo gioca un ruolo importante nella determinazione dell'intelligibilità. Una buona intelligibilità richiede un elevato rapporto segnale/disturbo ovvero un livello sonoro del parlato (L_p) sensibilmente più alto del livello sonoro del rumore di fondo (L_F). Possiamo quindi intendere per rapporto segnale/rumore la quantità $S/N = L_p - L_F$ (dB).

I parametri più importanti sono:

Indice di definizione D_{50}

Viene definito con la seguente formula:

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50 \text{ ms}} P^2(t) dt}{\int_0^{\infty} P^2(t) dt}$$

In questa espressione $p(t)$ è la pressione sonora, intesa come risposta all'impulso emesso da una sorgente non direttiva e $t=0$ è l'istante in cui il suono diretto giunge nel punto di ricezione. Questo indice è definito come il rapporto tra l'energia che giunge all'ascoltatore entro i primi 50 ms e l'energia di tutto il segnale. Questo parametro, per come è definito, è una grandezza adimensionale, un numero, che può variare da 0 a 1. Nel caso di presenza di solo suono diretto vale 1, nel caso, assurdo, di completa assenza di suono diretto ed esclusiva presenza di campo riverberante il valore limite del rapporto tende a 0. Questo indice è stato definito primariamente con lo scopo di caratterizzare le sale destinate alla parola (come ad esempio le aule scolastiche), per le sale destinate a questo utilizzo i valori ottimali dell'indice di definizione sono all'incirca 0,7 / 0,8 (70-80 %).

Indice di chiarezza C_{50}

Viene definito con la seguente formula:

$$C_{50} = 10 \log_{10} \frac{\int_0^{50 \text{ ms}} P^2(t) dt}{\int_{50 \text{ ms}}^{\infty} P^2(t) dt}$$

Tale espressione rappresenta il rapporto tra l'energia dei primi 50 ms, energia utile, e l'energia che giunge all'ascoltatore da 50 ms alla fine del decadimento del segnale, energia dannosa. Tale parametro è l'inverso dell'indice massa della sala. Valori ottimali per il parlato hanno $C_{50} > 3$ dB.

Speech Transmission Index (STI)

Sviluppato a partire dal 1973 da Houtgast, Steeneken e Plomp, si basa sulla funzione di trasferimento di modulazione della sala (MTF, "Modulation Transfer Function") e sul concetto di



segnali modulati in ampiezza.

8.1 Tecniche di misurazione e strumentazione

Le prove, che hanno permesso la valutazione del comfort acustico nelle aule, sono state applicate mediante tecniche di misurazioni che hanno riguardato:

- 1) rumore di fondo
- 2) calibrazione del segnale ad 1 m
- 3) Valutazione parametri di intelligibilità della parola
- 4) Isolamento acustico

Mentre gli strumenti utilizzati per queste misure sono:

- 1) Amplificatore e scheda audio



Immagine n°103: amplificatore e scheda audio

La scheda audio in questo caso aveva due funzioni:

- la prima si occupava di elaborare un flusso audio digitale in input (inviato dal software Dirac tramite PC) in un segnale digitale da inviare in output prima all'amplificatore poi alla sorgente sonora.
- la seconda era quella di operare in maniera inversa ovvero ricevere segnali in input (dal microfono in questo caso) e inviarli all'unità di elaborazione della scheda per l'elaborazione dati in output su computer.

- 2) Fonometro



Immagine n°104: fonometro B&K 2250

Il fonometro è un misuratore di pressione acustica, dove in questo caso non la misurava

direttamente ma era collegato al microfono su tre piedi.

3) Microfono su tre piedi



Immagine n°105: microfono

Il microfono è un trasduttore di tipo elettro-acustico in grado di convertire le onde di pressione sonora in segnali elettrici. Aveva il compito di trasferire quanto misurato al computer per la registrazione dei dati.

5) calibratore di segnale



Immagine n°106: calibratore di segnale B&K2237EH

Il calibratore di segnale veniva applicato al di sopra del microfono, prima di effettuare ogni misura. La sua funzione era quella di valutare il segnale in entrata, per avere in seguito misurazioni valide. La metodologia di calibrazione viene spiegata più precisamente in seguito.

6) sorgente omnidirezionale

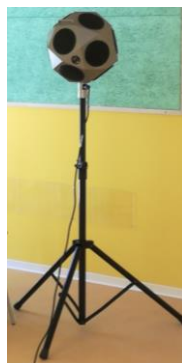


Immagine n°107: sorgente omnidirezionale

Tipologia di sorgente sonora che emana onde in tutte le direzioni.

7) sorgente direzionale



Immagine n°108: sorgente direzionale

La sorgente direzionale è un generatore di onde sonore in un'unica direzione, impostata dall'operatore in funzione del suo orientamento. La sorgente è stata creata con una cassa artigianale.

7) PC con software Dirac

Infine il computer, mediante il software Dirac, venivano mandati differenti segnali acustici in funzione delle misurazioni da effettuare.

8.1.1 Descrizione delle misurazioni

Le misurazioni acustiche effettuate riguardano 4 aule della scuola, di seguito vengono riportate le metodologie utilizzate per l'esecuzione di ogni singola misura.

Rumore di fondo

La misurazione è stata eseguita per valutare il rumore di disturbo presente nella stanza in assoluto silenzio, senza l'emissione di alcun segnale acustico. Il rumore di fondo all'interno di un'aula scolastica può essere per esempio generato dalla presenza dell'impianto di aerazione acceso oppure il passaggio di macchine nella strada affianco. Ci si è avvalsi del microfono su tre-piedi collegato al fonometro e quindi alla scheda audio.

Calibrazione

La calibrazione rappresenta una procedura degli strumenti atta a definire dei riferimenti di frequenze e di interfaccia tra i dispositivi, prima di svolgere qualsiasi tipo di misura. Tale aspetto è molto importante, poiché altrimenti non sarebbe possibile ottenere misure valide. La calibrazione ha riguardato: la scheda audio, la sorgente direzionale ed il segnale d'ingresso. Per la scheda audio, tale operazione viene chiamata Loopback test (test ad anello chiuso), consiste nel collegare

il cavo uscente dalla scheda audio, con l'ingresso della stessa. Durante la calibrazione vengono disattivate le funzioni superflue. Per quanto riguarda la calibrazione della sorgente è avvenuta con l'emanazione di un segnale di tipo MLS, con il posizionamento del microfono ad 1 m dalla sorgente. Infine per quanto riguarda il segnale d'ingresso, l'operazione si effettua tramite il calibratore di segnale B&K2237EH. Esso viene posizionato al di sopra del microfono su cavalletto tre piedi. Il calibratore genera un segnale sonoro costante ed il software memorizza il segnale al quale associa il livello di pressione sonora rilevato in ingresso.

Parametri di intelligibilità della parola

In questo caso parliamo quindi dei parametri PAR (requisiti acustici passivi) e STI (speech transmission index). Per quanto riguarda il primo parametro è stato misurato con l'utilizzo della sorgente omnidirezionale. La quale emanava un segnale lineare di tipo sweep. Questo è un tipo di segnale composto da un tono puro la cui frequenza aumenta nel tempo con un certo andamento.

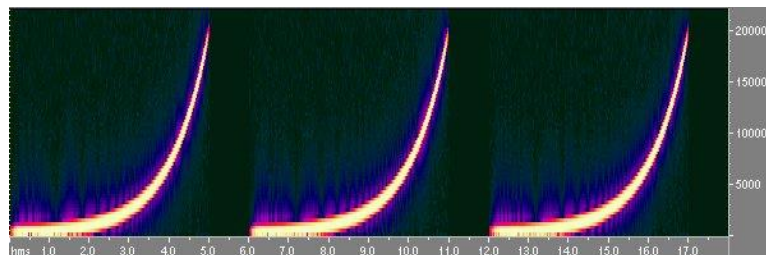


Immagine n°109: sequenza di tre segnali sweep

Per quanto riguarda invece il parametro STI, è stato misurato con sorgente direzionale ed emanazione di segnale MLS (acronimo di Maximum Length Sequence). Questo, invece, è un segnale costituito da una sequenza binaria ripetuta più volte. Quando il sistema d'analisi presenta non linearità, si possono generare echi inesistenti.

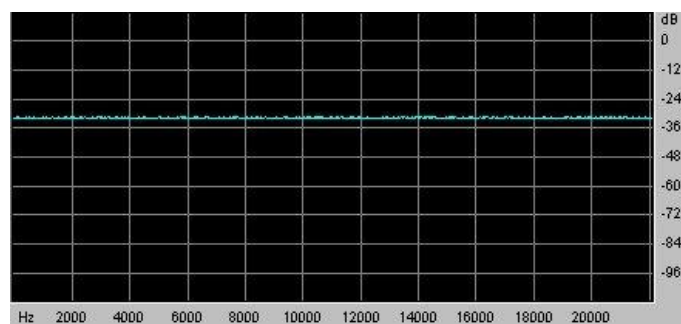


Immagine n°110: spettro di emissione segnale MLS

Misurazione del potere fonoisolante apparente

Il potere fonoisolante R determina la capacità di isolamento acustico di una parete e si misura in deciBel. Esso descrive il comportamento acustico della parete presa come elemento singolo. Il

valore più utile e quello misurato in opera, è definito R'_w che considera anche le trasmissioni laterali.

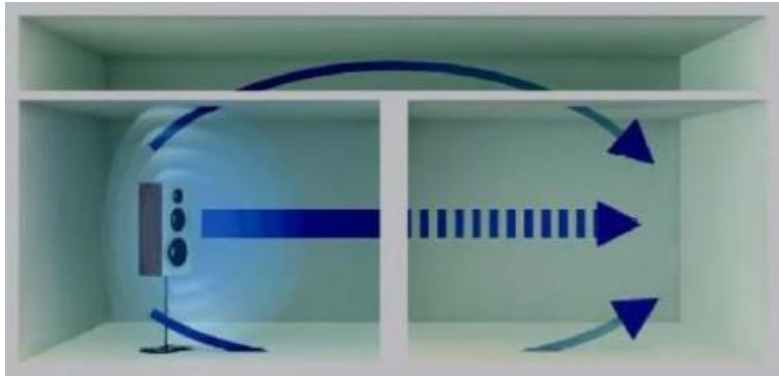


Immagine n°111: misurazione R'_w

Il potere fonoisolante apparente viene definito con la seguente espressione:

$$R'_W = L_1 + L_2 + 10\log\left(\frac{S}{A}\right)$$

Dove:

- L_1 : livello medio di pressione sonora nell'ambiente emittente (dB)
- L_2 : livello medio di pressione sonora nell'ambiente ricevente (dB)
- S : superficie del divisorio;
- A : area equivalente di assorbimento acustico dell'ambiente ricevente (m^2),

Esso è determinato in funzione del tempo di riverberazione (sec.) e del volume della camera ricevente (m^3). La verifica dell'isolamento acustico per via aerea tra ambienti, quindi, si fonda sul principio della differenza fra lo spettro misurato nel locale dove insiste la sorgente di rumore e quello rilevato all'interno dell'ambiente ricevente. La metodologia di misura, definita nella norma UNI EN ISO 140-4 "Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea tra ambienti" [61], consiste nel posizionare una cassa acustica (in questo caso di tipo omnidirezionale) all'interno del locale trasmittente e un microfono in diversi punti della stanza per minimizzare l'errore dovuto alla saturazione dell'ambiente non sempre ottimale. Nel corso della misura dello spettro L_1 , vengono individuate almeno 5 postazioni fisse dove posizionare il microfono, alla distanza di almeno 0,7 m. fra di loro e distribuite uniformemente entro il massimo spazio ammissibile del locale. Nell'ambiente ubicato al di là della partizione esaminata, si rileva la quantità di rumore trasmessa attraverso l'elemento costruttivo, posizionando il microfono su un tre piedi e tenendo sempre in funzione la sorgente di rumore. Terminata la rilevazione del livello medio di pressione sonora

nell'ambiente ricevente, denominato L2, la sorgente viene disattivata. Sempre all'interno del locale ricevente viene poi sistemata la sorgente di rumore, per eseguire la misurazione del tempo di riverbero T (espresso in secondi), finalizzata al calcolo del potere fonoisolante apparente R' per la determinazione dell'area equivalente. Il decreto riporta il valore limite del suo indice di valutazione R'_w , indicato dal pedice w, che definisce un valore ottenuto a partire dai poteri fonoisolanti apparenti alle varie frequenze secondo una procedura normalizzata, descritta dalla norma UNI EN ISO 717-1, "Isolamento acustico per via aerea" [62]

8.2 Risultati delle prove ed aule utilizzate

Le aule utilizzate per le misurazioni sono 4: due al piano terra e riguardano la scuola per l'infanzia e due al primo piano le quali riguardano la scuola primaria. Esse sono:

- 1) Mensa
- 2) Aula per attività a tavolino
- 3) Aula 5
- 4) Aule interciclo B

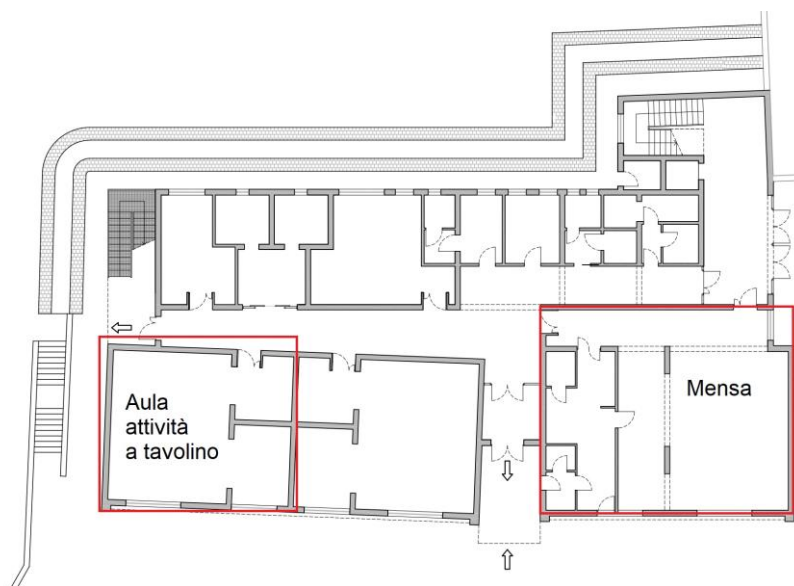


Immagine n°112: piano terra

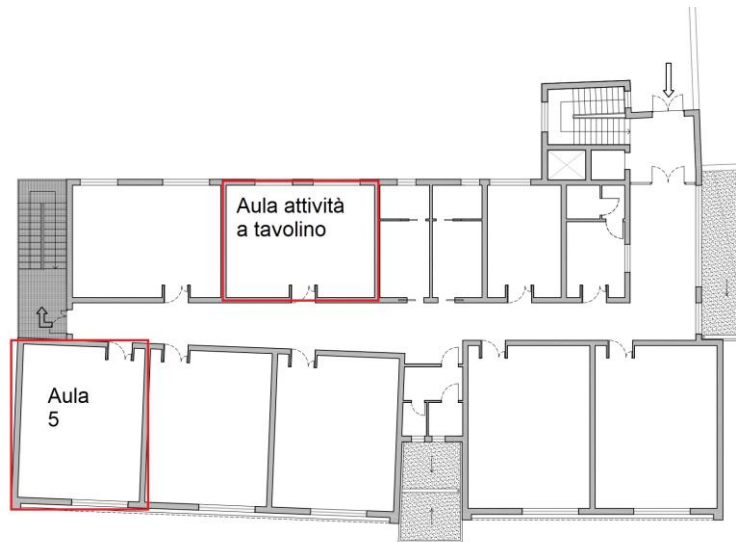


Immagine n°113: primo piano

Di seguito vengono riportate i valori ottenuti e le specifiche di ogni aula con le relative piante, all'interno delle quali è stato rappresentato il posizionamento degli strumenti e dei banchi.

1) Mensa

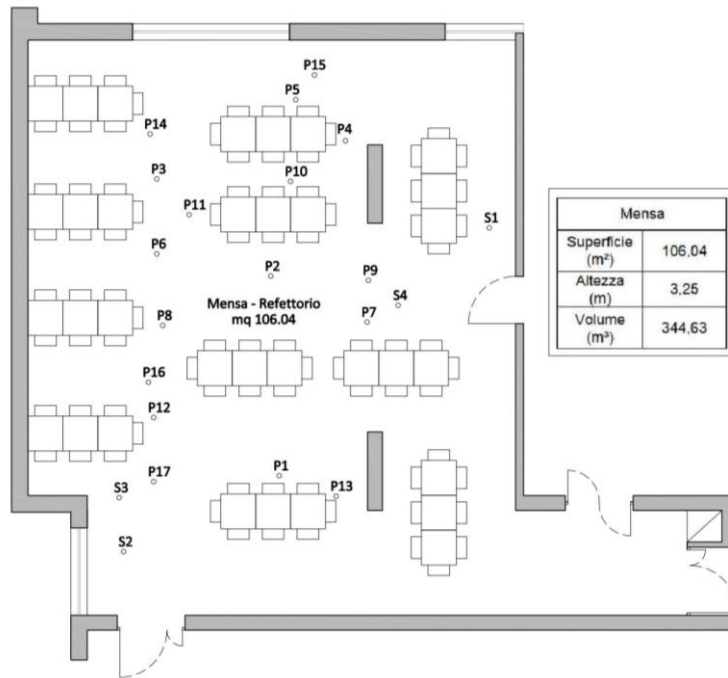


Immagine n°114: mensa

T30												
SORGENTE	RICEVITORE	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	MEDIA	Limite	Esito
S1	P1	1,05	1,87	1,67	1,49	1,23	0,94	0,98	0,81	1,25	≤0,8	✗
	P2	1,11	1,52	1,45	1,47	1,27	0,97	0,99	0,83	1,20	≤0,8	✗
	P3	0,95	1,61	1,57	1,52	1,22	0,95	1,00	0,83	1,21	≤0,8	✗
	P4	1,31	1,50	1,54	1,50	1,23	0,93	1,01	0,81	1,23	≤0,8	✗
S2	P5	1,07	1,31	1,55	1,51	1,26	0,98	0,98	0,80	1,18	≤0,8	✗
	P6	1,23	1,37	1,58	1,48	1,27	0,95	1,00	0,83	1,21	≤0,8	✗
	P7	1,00	1,55	1,58	1,48	1,19	0,91	1,01	0,81	1,19	≤0,8	✗
	P8	1,03	1,52	1,56	1,51	1,27	0,91	1,00	0,83	1,20	≤0,8	✗

C50												
SORGENTE	RICEVITORE	63,00	125,00	250,00	500,00	1K	2K	4K	8K	MEDIA	Limite	Esito
S1	P1	2,82	-3,61	-3,63	-1,65	-0,99	0,92	0,41	2,11	-0,45	≥0	✗
	P2	-0,05	-3,13	-3,71	-3,52	-1,11	0,50	0,61	2,73	-0,96	≥0	✗
	P3	-2,59	0,57	-3,52	-4,00	-1,34	-1,11	-0,30	0,38	-1,49	≥0	✗
	P4	-3,45	-5,00	-3,20	-1,61	-0,75	-1,10	-1,30	0,56	-1,98	≥0	✗
S2	P5	-1,21	1,37	-1,10	-4,73	-2,20	1,00	1,15	3,03	-0,34	≥0	✗
	P6	2,52	-3,76	-3,41	-3,09	-2,17	0,13	-0,37	-0,22	-1,30	≥0	✗
	P7	3,65	-1,73	-3,35	-0,33	-1,93	-0,34	0,04	4,08	0,01	≥0	✓
	P8	-0,23	-3,78	-2,11	0,16	-0,30	1,52	0,59	2,58	-0,20	≥0	✗

STI							
SORGENTE	RICEVITORE	STI female	Limite	Esito	STI male	Limite	Esito
S3	P9	0,61	≥0,6	✓	0,6	≥0,6	✓
	P10	0,58	≥0,6	✗	0,57	≥0,6	✗
	P11	0,57	≥0,6	✗	0,56	≥0,6	✗
	P12	0,59	≥0,6	✗	0,59	≥0,6	✗
	P13	0,6	≥0,6	✓	0,59	≥0,6	✗
S4	P14	0,54	≥0,6	✗	0,54	≥0,6	✗
	P15	0,52	≥0,6	✗	0,51	≥0,6	✗
	P16	0,64	≥0,6	✗	0,63	≥0,6	✓
	P17	0,6	≥0,6	✓	0,59	≥0,6	✗

Immagine n°115:valori ed esiti mensa

2) Aula attività a tavolino

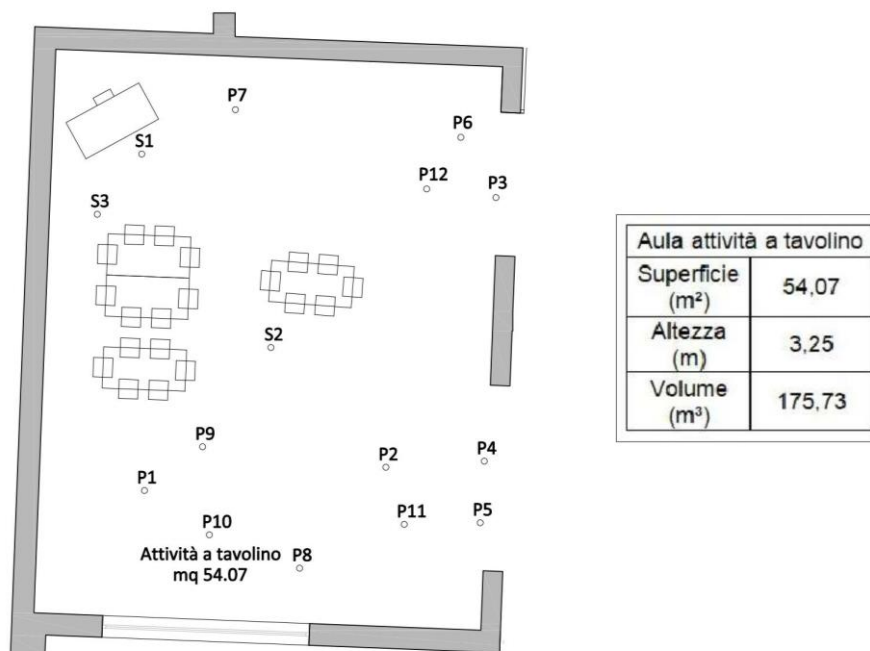


Immagine n°116: aula attività a tavolino

T30												
SORGENTE	RICEVITORE	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	MEDIA	Limite	Esito
S1	P1	0,84	0,79	1,06	1,11	1,13	1,09	1,06	0,91	1,00	≤0,8	✗
	P2	0,75	0,93	1,04	1,14	1,17	1,13	1,08	0,94	1,02	≤0,8	✗
	P3	0,77	0,87	1,00	1,08	1,14	1,12	1,10	0,92	1,00	≤0,8	✗
	P4	0,88	0,84	1,15	1,20	1,18	1,13	1,07	0,95	1,05	≤0,8	✗
S2	P5	0,94	0,98	1,07	1,16	1,12	1,12	1,07	0,92	1,05	≤0,8	✗
	P6	0,83	0,91	1,12	1,13	1,18	1,12	1,07	0,93	1,04	≤0,8	✗
	P7	0,86	0,84	1,06	1,14	1,17	1,14	1,08	0,93	1,03	≤0,8	✗
	P8	0,85	0,95	1,13	1,06	1,10	1,08	1,06	0,90	1,02	≤0,8	✗

C50												
SORGENTE	RICEVITORE	63,00	125,00	250,00	500,00	1K	2K	4K	8K	MEDIA	Limite	Esito
S1	P1	1,66	3,67	1,08	1,27	-0,14	0,28	0,59	3,04	1,43	≥0	✓
	P2	3,62	4,96	-1,70	-1,00	-0,62	-0,60	-1,51	0,45	0,45	≥0	✓
	P3	-0,93	2,60	2,20	2,42	2,55	0,68	0,59	3,01	1,64	≥0	✓
	P4	1,84	-3,82	-4,05	-2,08	-1,75	-2,56	-0,92	-1,27	-1,83	≥0	✗
S2	P5	1,43	-0,84	-4,35	-1,47	-1,93	-1,56	-2,14	-0,36	-1,40	≥0	✗
	P6	0,74	-1,82	0,55	-0,64	-0,84	0,54	1,40	2,93	0,36	≥0	✓
	P7	1,82	3,52	0,02	0,15	0,55	0,73	1,14	4,28	1,53	≥0	✓
	P8	0,22	0,99	2,11	0,69	-0,08	-0,56	-1,40	1,04	0,38	≥0	✓

STI							
SORGENTE	RICEVITORE	STI female	Limite	Esito	STI male	Limite	Esito
S3	P9	0,59	≥0,6	✗	0,59	≥0,6	✗
	P10	0,56	≥0,6	✗	0,56	≥0,6	✗
	P11	0,59	≥0,6	✗	0,58	≥0,6	✗
	P12	0,60	≥0,6	✗	0,60	≥0,6	✓

Immagine n°117: valori ed esiti aula attività a tavolino

3) Aula 5

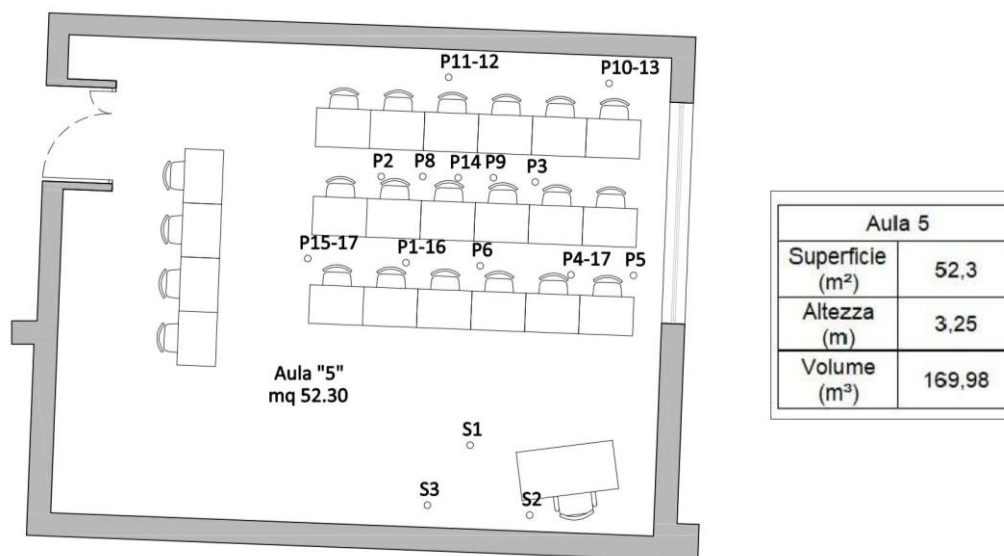


Immagine n°118: aula 5

T30												
SORGENTE	RICEVITORE	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	MEDIA	Limite	Esito
S1	P1	0,93	1,11	1,09	1,21	1,13	1,06	0,99	0,82	1,04	≤0,8	✗
	P2	0,83	1,06	1,12	1,19	1,14	1,07	1,01	0,85	1,03	≤0,8	✗
	P3	0,86	1,02	1,13	1,26	1,14	1,06	1,00	0,82	1,04	≤0,8	✗
	P4	0,75	1,02	1,08	1,21	1,17	1,09	1,02	0,85	1,02	≤0,8	✗

C50												
SORGENTE	RICEVITORE	63,00	125,00	250,00	500,00	1K	2K	4K	8K	MEDIA	Limite	Esito
S1	P1	1,59	2,56	3,03	-2,32	0,43	1,74	2,40	2,11	1,44	≥0	✓
	P2	-0,89	-0,11	1,51	0,30	-0,39	-1,35	-1,25	0,81	-0,17	≥0	✗
	P3	-2,45	-2,76	0,06	0,23	-0,63	-0,30	0,19	2,84	-0,35	≥0	✗
	P4	2,97	1,90	2,81	-0,85	1,76	1,10	2,91	4,35	2,12	≥0	✓

STI							
SORGENTE	RICEVITORE	STI female	Limite	Esito	STI male	Limite	Esito
S2	P5	0,56	≥0,6	✗	0,56	≥0,6	✗
	P6	0,66	≥0,6	✓	0,65	≥0,6	✓
	P7	0,56	≥0,6	✗	0,56	≥0,6	✗
	P8	0,58	≥0,6	✗	0,57	≥0,6	✗
	P9	0,59	≥0,6	✗	0,58	≥0,6	✗
	P10	0,57	≥0,6	✗	0,57	≥0,6	✗
	P11	0,58	≥0,6	✗	0,57	≥0,6	✗
S3	P12	0,55	≥0,6	✗	0,55	≥0,6	✗
	P13	0,53	≥0,6	✗	0,54	≥0,6	✗
	P14	0,57	≥0,6	✗	0,56	≥0,6	✗
	P15	0,55	≥0,6	✗	0,56	≥0,6	✗
	P16	0,59	≥0,6	✗	0,59	≥0,6	✗
	P17	0,52	≥0,6	✗	0,52	≥0,6	✗

Immagine n°119: valori ed esiti aula 5

4) Aula interciclo B

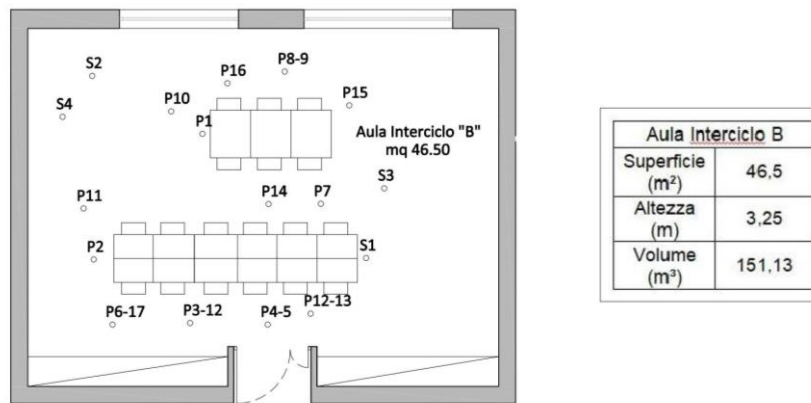


Immagine n°120: aula interciclo B

T30												
SORGENTE	RICEVITORE	63	125	250	500	1K	2K	4K	8K	MEDIA	Limite	Esito
S1	P1	0,86	0,79	1,06	1,16	1,22	1,11	1,08	0,92	1,02	≤0,8	✗
	P2	0,65	0,80	1,02	1,20	1,19	1,11	1,08	0,91	0,99	≤0,8	✗
	P3	0,89	0,86	0,97	1,09	1,17	1,11	1,08	0,93	1,01	≤0,8	✗
	P4	0,92	0,87	1,01	1,18	1,23	1,17	1,07	0,93	1,05	≤0,8	✗
S2	P5	1,06	0,86	1,06	1,11	1,23	1,15	1,06	0,93	1,06	≤0,8	✗
	P6	0,87	0,86	1,04	1,11	1,15	1,12	1,09	0,93	1,02	≤0,8	✗
	P7	1,09	0,80	0,93	1,11	1,19	1,13	1,03	0,90	1,02	≤0,8	✗
	P8	0,85	0,92	1,01	1,09	1,16	1,07	1,07	0,91	1,01	≤0,8	✗

C50												
SORGENTE	RICEVITORE	63,00	125,00	250,00	500,00	1K	2K	4K	8K	MEDIA	Limite	Esito
S1	P1	0,89	1,66	-1,66	-2,00	-1,10	-0,70	-0,68	0,24	-0,42	≥0	✗
	P2	4,43	-1,21	0,09	-0,41	-0,73	-1,16	-0,53	-0,67	-0,02	≥0	✗
	P3	5,17	3,80	-0,86	-1,75	-1,97	-1,34	-1,34	-0,14	0,20	≥0	✓
	P4	1,63	3,51	1,03	-1,95	-1,52	-1,06	-1,06	0,17	1,61	0,43	≥0
S2	P5	0,57	-0,50	-0,69	-2,65	-1,86	-1,42	-0,82	0,92	-0,81	≥0	✗
	P6	6,19	4,61	-0,16	0,96	-0,59	0,41	0,56	2,89	1,86	≥0	✓
	P7	-1,34	-1,39	-2,61	-1,05	-0,41	-1,60	-1,10	1,10	-1,05	≥0	✗
	P8	1,18	-5,57	-2,19	-2,71	-0,93	-1,60	-1,14	1,35	-1,45	≥0	✗

STI							
SORGENTE	RICEVITORE	STI female	Limite	Esito	STI male	Limite	Esito
S3	P9	0,53	≥0,6	✗	0,53	≥0,6	✗
	P10	0,58	≥0,6	✗	0,58	≥0,6	✗
	P11	0,57	≥0,6	✗	0,56	≥0,6	✗
	P12	0,58	≥0,6	✗	0,58	≥0,6	✗
	P13	0,56	≥0,6	✗	0,56	≥0,6	✗
S4	P14	0,57	≥0,6	✗	0,56	≥0,6	✗
	P15	0,56	≥0,6	✗	0,56	≥0,6	✗
	P16	0,57	≥0,6	✗	0,56	≥0,6	✗
	P17	0,57	≥0,6	✗	0,58	≥0,6	✗
	P18	0,60	≥0,6	✓	0,59	≥0,6	✗

Immagine n°121: valori ed esiti aula interciclo B

In sintesi, per ogni aula sono stati confrontati con i valori da normativa tre parametri: T30, C50 e STI. Per i primi due valori sono state usate sorgenti omnidirezionali, mentre per lo STI una sorgente direzionale. Il risultato dei valori elaborati, ha evidenziato un basso comfort acustico all'interno delle quattro aule. La motivazione tuttavia può essere ricondotta all'assenza delle tende interne, che essendo in tessuto andrebbero ad aumentare le superfici fonoassorbenti ed eliminare contestualmente le riflessioni delle superfici vetrate

Capitolo 9. Conclusioni

Questo lavoro di tesi ha avuto l'obiettivo di verificare il rispetto dei criteri ambientali minimi (CAM), in una scuola nel comune di Ancona. Un edificio su due piani di nuova costruzione, realizzato mediante assemblaggio di pannelli in legno già completi di tutti i loro componenti all'arrivo in cantiere. Una metodologia costruttiva che ha permesso ai progettisti di realizzare un fabbricato con elevati standard di comfort termo-igrometrico. Una costruzione che guarda al futuro, dove principi di risparmio energetico e basso impatto ambientale ne fanno da padrone. Viene definito infatti, edificio nZEB. La progettazione ha rispettato circa l'85% dei criteri ambientali minimi. Un risultato comunque importante, ottenuto mediante una progettazione ecocompatibile. La valutazione dei CAM è avvenuta per mezzo di un software chiamato DesignBuilder, un programma che ha permesso l'inserimento dei dati climatici della zona di riferimento e la costruzione del modello 3D in tutti i suoi componenti. L'inserimento dei dati climatici è stato fondamentale per una simulazione reale delle precipitazioni annue e mensili, nonché delle temperature presenti all'esterno. Una modellazione quindi dettagliata, che si è conclusa con il lancio di simulazioni energetiche in regime dinamico per mezzo di EnergyPlus. Simulazioni che sono servite per valutare il corretto funzionamento di tutta l'impiantistica presente. Il passo successivo è stato la verifica dei CAM. La verifica ha portato risultati nel complesso soddisfacenti. Viene riportata una check-list riassuntiva per la verifica di tutti i criteri ambientali minimi.

Requisito	Verifica	Esito
Illuminazione naturale	FLDm (Fattore medio di Luce Diurna) $\geq 2\%$	✓
Areazione naturale e ventilazione meccanica	Rapporto aeroilluminante $> 1/8$	✓
	Portata d'aria minima	✓
Dispositivi di protezione solare	In fase di montaggio	-
Inquinamento elettromagnetico indoor	Quadro generale, contatori e colonne montanti collocati all'esterno	✗
	Impianto elettrico a stella	✓
Emissioni dei materiali	Non valutabile	-
Comfort acustico	Non rispettate	✓
Comfort termo-igrometrico	Valori minimi per: PMV (Voto medio previsto) e di PPD (Percentuale prevista di insoddisfatti)	✗
Radon	Non presente	✓

Piano di manutenzione e controllo	Presente	✓
-----------------------------------	----------	---

Si è evidenziato come tre requisiti non hanno soddisfatto i minimi normativi. A livello di comfort acustico, sono state condotte delle prove in sito mediante l'utilizzo di casse omnidirezionali e direzionali. Dopo un'elaborazione dei dati strumentali ottenuti si è visto come i valori di comfort non sono stati rispettati, per via dell'assenza dei dispositivi di protezione solare. Essi sono in fase di montaggio, di conseguenza vengono comunque considerati rispettati i minimi normativi. Mentre per quanto riguarda i valori di PMV (voto medio previsto) e PPD (percentuale prevista di insoddisfatti), hanno evidenziato degli importanti deficit. Probabilmente l'eccessivo numero di variabili inserite all'interno del software, non sono state assimilate dal programma.

Bibliografia

- [1] Legge 373, del 30/04/1976. Prima legge riguardante il consumo energetico per usi termici negli edifici.
- [2] Decreto 11 gennaio 2017: “Adozione dei criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici per la gestione dei cantieri della pubblica amministrazione e criteri ambientali minimi per le forniture di ausili per l'incontinenza.”
- [3] Protocollo di Kyoto - trattato internazionale. Redatto a Kyoto l'11 Dicembre 1997
- [4] Delibera CIPE 137/08 del 19.12.1998 – “Linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra”.
- [5] Legge n. 120/02 del 02.06.2002 – “Ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997”.
- [6] Delibera CIPE 123/02 del 19.12.2002 – Approvazione del “Piano Nazionale per la riduzione delle emissioni di gas responsabili dell'effetto serra, 2003-2010”, quale revisione delle linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra (Legge 120/2002)
- [7] Direttiva 2001/77/CE Direttiva 2002/91/CE - articolo 1 oggetto e ambito di applicazione, - articolo 2 definizioni.
- [8] Direttiva 2002/91/CE articolo 1 obiettivo- articolo 2 definizioni
- [9] Direttiva 2004/8/CE articolo 1 scopo- articolo 2 ambito di applicazione
- [10] Direttiva 2006/32/CE articolo 1 scopo- articolo 2 campo di applicazione
- [11] Decisione 2007/74/CE Decisione Commissione Ue 2011/877/Ue
- [12] Direttiva 2008/1/CE articolo 1 finalità e ambito di applicazione - articolo 2 scopo
- [13] Direttiva 2009/28/CE articolo 1 oggetto e ambito di applicazione - articolo 2 definizione
- [14] Direttiva 2009/31/CE articolo 1 obiettivo e ambito di applicazione
- [15] Decisione n. 406/2009/ CE, 23 aprile 2009 concernente gli sforzi degli Stati membri per ridurre le emissioni dei gas a effetto serra al fine di adempiere agli impegni della Comunità in materia di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra entro il 2020
- [16] Direttiva 2009/72/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 luglio 2009, relativa a norme comuni per il mercato interno dell'energia elettrica e che abroga la direttiva 2003/54/CE [Gazzetta ufficiale L 211 del 14.8.2009].
- [17] Direttiva 2009/73/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 13 luglio 2009, relativa a norme comuni per il mercato interno del gas naturale e che abroga la direttiva 2003/55/CE [Gazzetta ufficiale L 211 del 14.8.2009]
- [18] Direttiva 2010/30/UE articolo 1 ambito di applicazione – articolo 2 definizioni.
- [19] Direttiva 2010/31/UE articolo 1 oggetto – articolo 2 definizioni
- [20] Direttiva 2012/27/UE capo 1: oggetto, ambito di applicazione, definizioni e obiettivi di efficienza energetica.
- [21] Direttiva 2012/27/UE, sancisce il ruolo fondamentale dell'efficienza energetica come



strumento strategico nell'attuale scenario europeo.

[22] Legge 3 agosto 2013, n. 90 - "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63, recante disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale"

[23] Decreto legislativo 29 dicembre 2006, n. 311 – “Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia” –

[24] Delibera amministrativa n°42 del 20 Dicembre 2016, approva il Piano Energetico Ambientale Regionale (PEAR 2020) e sostituisce il vecchio PEAR 2005

[25] Normativa “Burden Sharing” (DM 15 marzo 2012 e DM 11 maggio 2015 - normativa attuativa della Strategia Europea 20.20.20 in materia di clima ed energia, in particolare, del D.lgs. 28/2011 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili)

[26] D.lgs. 28/2011, definizione degli obblighi di utilizzo delle fonti rinnovabili negli edifici di nuova costruzione e sottoposti a ristrutturazioni importanti.

[27] PSR 2014-2020 (Piano di Sviluppo Rurale) della Regione Marche, illustra le azioni e gli approcci prioritari per dare risposta ai fabbisogni del territorio rurale marchigiano per il periodo di programmazione che va dal 2014 al 2020.

[28] Legge 28 dicembre 2015, n. 221 - Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali -

[29] PAN GPP (Piano Nazionale d'azione sul Green Public Procurement) definisce degli obiettivi nazionali, identifica le categorie di beni, servizi e lavori di intervento prioritarie per gli impatti ambientali e i volumi di spesa sulle quali definire i ‘Criteri Ambientali Minimi’ (CAM)

[30] COM 397-2008 – “comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni” - sul piano d'azione "Produzione e consumo sostenibili" e "Politica industriale sostenibile" -

[31] COM 400-2008 – “comunicazione della commissione al parlamento europeo, al consiglio, al comitato economico e sociale europeo e al comitato delle regioni” - appalti pubblici per un ambiente migliore -

[32] D.lgs. 4 luglio 2014, n. 102 - Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE-

[33] Decreto Legislativo n. 56/2017 pubblicato in data 05.05.2017 - disposizioni integrative e correttive al Codice dei contratti pubblici -

[34] Decreto del 26 giugno 2015 - “Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici“-

[35] NORMA TECNICA UNI EN ISO 13786:2008 “Prestazione termica dei componenti per l'edilizia – Caratteristiche termiche dinamiche – Metodi di calcolo”

[36] UNI EN 15251:2008 - Criteri per l'ambiente interno tra cui termico, qualità dell'aria interna (ventilazione), luce e rumore -

[37] UNI 10375: 2011 - “Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti”-

[38] Decreto 7 marzo 2012, approvato il 28 Marzo 2012 - “Adozione dei criteri ambientali minimi da



inserire nei bandi di gara della Pubblica Amministrazione per l'acquisto di servizi energetici per gli edifici, servizio di illuminazione e forza motrice, servizio di riscaldamento/raffrescamento” -.

[39] Allegato 3 D.Lgs 28/2011 - Obblighi di sfruttamento di energie rinnovabili per i nuovi edifici o gli edifici sottoposti a ristrutturazioni rilevanti -

[40] UNI/TS 11445:2012 - “Impianti per la raccolta e utilizzo dell'acqua piovana per usi diversi dal consumo umano, progettazione, installazione e manutenzione” -

[41] UNI EN 805:2002 - “Approvvigionamento di acqua, requisiti per sistemi e componenti all'esterno di edifici” -

[42] D.lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 - “Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137” -

[43] UNI 10339:1995 - “Impianti aeraulici al fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura” -

[44] UNI EN 13779:2008 - “Ventilazione degli edifici non residenziali, requisiti di prestazione per i sistemi di ventilazione e di climatizzazione” -

[45] UNI EN 14501:2006 - “Tende e chiusure oscuranti - Benessere termico e visivo - Caratteristiche prestazionali e classificazione” -

[46] UNI 11367:2010 - “Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari - Procedura di valutazione e verifica in opera” -

[47] UNI 11444:2012 - “Acustica in edilizia - Classificazione acustica delle unità immobiliari - Linee guida per la selezione delle unità immobiliari in edifici con caratteristiche non seriali” -

[48] UNI 11532:2014 - “Acustica in edilizia - Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati”

[49] ISO 7730:2005 - “Ergonomics of the thermal environment -- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria”

[50] UNI EN ISO 13788:2013 - “Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo”

[51] Linee guida scuole innovative, decreto 11/04/2013 - “norme tecniche-quadro, contenenti gli indici minimi e massimi di funzionalità urbanistica, edilizia, anche con riferimento alle tecnologie in materia di efficienza e risparmio energetico e produzione da fonti energetiche rinnovabili, e didattica indispensabili a garantire indirizzi progettuali di riferimento adeguati e omogenei sul territorio nazionale” -

[52] Legge 26 ottobre 1995, n. 447 - “ legge quadro sull'inquinamento acustico” -

[53] UNI EN 12600:2004 - “Vetro per edilizia - Prova del pendolo - Metodo della prova di impatto e classificazione per il vetro piano”

[54] Guida sull'efficienza energetica negli edifici scolastici 21 Aprile 2016 - “riapertura dello sportello per la presentazione delle domande per accedere alle risorse residue e riprogrammate del Fondo Kyoto per l'efficientamento energetico degli edifici scolastici” -

[55] Decreto 28 dicembre 2012 - “Determinazione degli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico che devono essere perseguiti dalle imprese di distribuzione dell'energia elettrica e il gas per gli anni dal 2013 al 2016 e per il potenziamento del meccanismo dei certificati bianchi” -



[56] Decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28 – “Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE”

[57] Circolare Ministero LL. PP. n.3151 22/5/1967 – “criteri di valutazione delle grandezze atte a rappresentare le proprietà termiche, igrometriche, di ventilazione e di illuminazione nelle costruzioni edilizie”-

[58] UNI EN ISO 16000-5: “Sampling strategy for volatile organic compounds (VOCs)”

[59] UNI EN ISO 16017-1: “Campionamento ed analisi di composti organici volatili mediante tubo di adsorbimento/desorbimento termico/cromatografia gassosa capillare. Parte 1: Campionamento mediante aspirazione con pompa”

[60] UNI EN 14412:2005 Qualità dell'aria in ambienti confinati - Campionatori diffusivi per la determinazione della concentrazione di gas e di vapori - Guida per la scelta, l'utilizzo e la manutenzione

[61] UNI EN ISO 140-4: 2000 -"Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea tra ambienti"-

[62] UNI EN ISO 717-1: 2013 -"Isolamento acustico per via aerea"-

Alcuni riferimenti teorici sono stati presi da tesi realizzate in passato nello stesso dipartimento da:

- Walter Ruggeri
- Eleonora Filippini Battistelli
- Martina Di Federico
- Elisabetta Omenetti



Sitografia

- [1] <http://biblus.acca.it/focus/benessere-termoigrometrico-e-comfort-termico/>
- [2] https://www.anit.it/wp-content/uploads/2018/03/miniGuidaANIT_gennaio2018.pdf
- [3] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036054420600329X>
- [4] http://www.vortice.it/it/guide_tecniche_di_dimensionamento
- [5] <https://www.regionieambiente.it/guida-efficienza-energetica-edifici-scolastici/>
- [6] <http://www.mygreenbuildings.org/>
- [7] <https://www.anit.it/>
- [8] <https://www.reteclima.it/protocollo-di-kyoto/>
- [9] https://www.politesi.polimi.it/bitstream/2015_04/Bianchi_Valli
- [10] <http://www.designbuilderitalia.it/>
- [11] <https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Energia/Piano-Energetico-Ambientale-Regionale>
- [12] <http://www.regione.marche.it/Default.aspx>
- [13] http://www.provincia.ancona.it/Engine/RAServeFile.php/f//Download/Slides_Ansuini_TRAINING_MARCHE_tec.pdf
- [14] <https://core.ac.uk/download/pdf/14697604.pdf>
- [15] <http://pcfarina.eng.unipr.it/dispense99/bianchi118871/bianchi118871.htm>
- [16] <http://www.isprambiente.gov.it/it>
- [17] <http://www.arpa.marche.it/>
- [18] <https://www.minambiente.it/pagina/i-criteri-ambientali-minimi>
- [19] <https://www.ahoraarchitettura.it/isolamento-e-impermeabilizzazione-tetto-piano-scuola---cesana-torinese-to---conto-termico.html>

