## **POLITECNICO DI TORINO**

Corso Duca degli Abruzzi, 24 - 12129 Torino

A.A. 2020/2021



# Tesi corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica e Nucleare

Uso Razionale dell'Energia e Progettazione Termotecnica

Studio sulla fattibilità energetica di una facciata ventilata a base ceramica nel settore residenziale

Relatore:

Prof.ssa Monica Ferraris

Correlatori:

Prof. Arnaldo Moreno Berto Arch. Tec. Javier Mira Peidro Arch. Jorge Corrales Garcia

Candidato:
Pasquale Cammareri

### Abstract:

Negli ultimi decenni l'importanza del settore energetico ha avuto una crescita esponenziale, soprattutto attraverso una sensibilizzazione sociale e civile, rispetto ai temi di sostenibilità, riciclaggio dei materiali, risparmio energetico e cambiamento climatico.

In questa tesi magistrale, viene analizzato il ruolo che ricopre il settore edilizio, nello specifico il residenziale, nella produzione di gas serra, anche in riferimento ai processi di riscaldamento o raffreddamento che svolgono gli impianti associati alle unità immobiliari plurifamiliari, che corrispondono alla maggioranza delle tipologie di edifici ad occupazione domestica. Successivamente, verrà studiato da un punto di vista della fattibilità energetica un caso studio di un'applicazione di un dispositivo per l'efficientamento energetico, che nel caso in esame si tratta di una facciata ventilata composta da un materiale a base ceramico. La scelta del materiale utilizzato, i dati ottenuti attraverso degli appositi sensori all'interno del dispositivo sperimentale energetico e la loro elaborazione, è il risultato della collaborazione con l'Istituto di Tecnologia Ceramica (ITC-Spagna). In seguito, verrà presentata una simulazione energetica attraverso il software EnergyPlus, per caratterizzare il supporto della facciata ventilata al sistema centralizzato di riscaldamento e ventilazione di un edificio residenziale plurifamiliare. Sulla base dei dati ricavati si proseguirà con un'analisi sia da un punto di vista energetico che economico, esponendone i vantaggi e le criticità. In conclusione, in considerazione dei risultati ottenuti si evidenzierà la posizione della facciata ventilata, come soluzione tecnologica efficiente e compatibile con i quesiti del mercato, all'interno del panorama energetico-impiantistico.

# **INDICE**

## Abstract

CAPI	TOL	O 1	
	QUA	ADRO ENERGETICO DEL SETTORE RESIDENZIALE	
	1.1	Consumi energetici nel settore residenziale	6
	1.2	Emissioni GHG nel settore residenziale	9
	1.3	Motivazioni a supporto del caso studio	12
CAPI	TOL	O 2	
	PRE	SENTAZIONE DELLO STUDIO SPERIMENTALE	
	2.1	Panoramica generale sulla facciata ventilata	17
	2.2	Il materiale ceramico utilizzato	22
		2.2.1 Preparazione della composizione	25
		2.2.2 Preparazione del composto	26
		2.2.3 Conformazione	27
		2.2.4 Essiccatura	28
		2.2.5 Smaltatura	28
		2.2.6 Decorazione	31
		2.2.7 Cottura	32
	2.3	La Facciata Ventilata a base ceramica	33
	2.4	Sensori e Componenti	4
		2.4.1 Il sistema di controllo automatico	5
	2.5	Strategie di funzionamento.	52
CAPI	TOL	O 3	
	ANA	ALISI SISTEMA SPERIMENTALE	
	3.1	Elaborazione dei dati ricavati	55
	3.2	Analisi energetica	57
		3.2.1 Efficienza di pre-ventilazione	59
		3.2.2 Efficienza di riscaldamento della camera ventilata	
		3.2.3 Risultati ed analisi dei parametri	62
	3.3	Fattibilità energetica.	81

#### CAPITOLO 4

ANA	LISI SIMULAZIONE EDIFICIO RESIDENZIALE	
4.1	Modello di simulazione energetica	91
	4.1.1 Posizione geografica ed ubicazione	92
	4.1.2 Soluzioni costruttive	93
	4.1.3 Carichi endogeni	97
	4.1.4 Edificio anni '80	101
	4.1.5 Edificio riqualificato	105
	4.1.6 Edificio riqualificato con facciata ventilata	108
4.2	Analisi energetica	110
4.3	Fattibilità energetica	117
4.3.1	Risultati ed analisi secondo la normativa italiana	123
	4.3.1.1 Risultati ed analisi zona climatica B3	123
	4.3.1.2 Risultati ed analisi zona climatica A4	128
	4.3.1.3 Risultati ed analisi zona climatica E1	132
4.3.2	Risultati ed analisi secondo la normativa spagnola	136
	4.3.2.1 Risultati ed analisi zona climatica B3	136
	4.3.2.2 Risultati ed analisi zona climatica A4	140
	4.3.2.3 Risultati ed analisi zona climatica E1	144
CAPITOLO	) 5	
VALU	JTAZIONE ECONOMICA DEL PROGETTO	
5.1	Vantaggi e svantaggi economici	148
5.2	Tempo di ammortamento delle differenti strategie analizzate	·151
CAPITOLO	06	
PRO!	SPETTIVE FUTURE E POSSIBILI MIGLIORAMENTI	167
CONICULO	I O N II	
CONCLUS	IONI	
APPENDIC	`F	

# CAPITOLO 1 QUADRO ENERGETICO DEL SETTORE RESIDENZIALE

### 1.1 Consumi Energetici nel settore Residenziale

Il settore energetico svolge un ruolo cruciale nella società di oggi, grazie alle molteplici influenze nei differenti campi socioeconomici, geo-politici ed ambientali. La transizione energetica dalle fonti fossili alle fonti rinnovabili interessa quasi tutti gli ambiti quali l'industria secondaria e terziaria, i trasporti, l'agricoltura, i rifiuti, il residenziale, servizi e molti altri nel dettaglio, per questo il peso specifico di ogni singolo miglioramento tecnologico, che possa aumentare l'efficienza dell'applicazione, può avere ripercussioni positive in maniera diretta nel settore interessato ed in modo indiretto nelle altre aree connesse ad esso.

Cambiamenti che possano portare degli effetti visibili nel breve tempo soprattutto in termini economici, possono essere addebitati a settori come l'industria ed i trasporti, ma una sostanziale variazione dei principali parametri energetico-ambientali verso la direzione voluta, può avvenire con delle modifiche strutturali in particolari settori come quello edilizio e nello specifico il residenziale, poiché in questo modo si agirebbe su una base di apparati poco efficienti, con un effetto molto più profondo e drastico, ma soprattutto molto più duraturo, dunque un cambiamento a lungo termine che renderebbe l'intero sistema più sostenibile direttamente alla radice.

Nella Figura 1 si può notare il consumo finale di energia per ogni settore all'interno dei 27 Stati dell'Unione Europea, in cui gran parte è richiesto dai servizi domestici delle famiglie in applicazioni residenziali. Naturalmente, è presumibile associare questi consumi in maggior quantità al riscaldamento e raffrescamento dell'abitazione, nonché all'energia elettrica per utilizzo di piccoli e grandi elettrodomestici ed altri dispositivi elettronici.

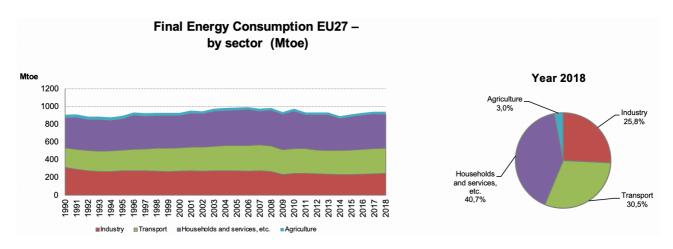


Figura 1- Final Energy Consumption [1]

Non solo da un punto di vista numerico, ma anche osservando lo storico dei dati si può intendere che il ramo dedicato ai servizi ed utilizzi residenziali domestici ricopre la maggior parte dei consumi finali. Dunque, è importante capire la distribuzione dei differenti edifici sul suolo europeo, in modo da quantificare l'impatto sulla superficie terrestre, ed inoltre osservando la Figura 2, si potrebbe capire in quali nazioni intervenire con miglioramenti dell'efficienza energetica nel settore residenziale.

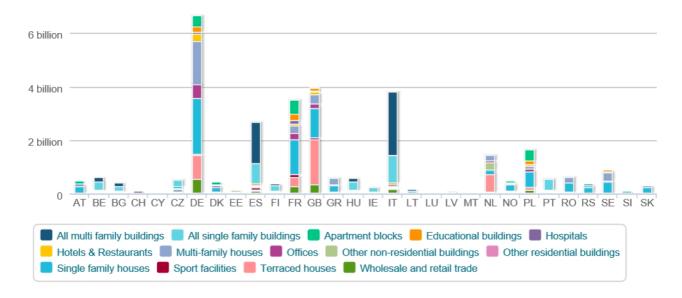


Figura 2 – Building stock floor area  $(m^2)$  per building type per Member State [2]

Diverse sono le analisi permesse da questo grafico, sia differenziando per paese che per tipologia di edificio in esame. Concentrandoci nel caso specifico nell'Italia (IT), si può evincere una notevole presenza di edifici plurifamiliari, che corrispondono in termini percentuali ad un valore di suolo occupato in  $m^2$  superiore al 50% del suolo totale. Questo indirizza la tipologia di accorgimenti energetici principalmente su soluzioni adatte a questo tipo di edifici, a differenza per esempio della Germania (DE), che presenta una alta percentuale di edifici plurifamiliari ma con unità immobiliari indipendenti, dunque da un punto di vista energetico, separabili nei consumi e nell'efficienza.

In Figura 3 sono espressi i consumi finali di energia nel caso specifico dell'Italia, per differenti settori:

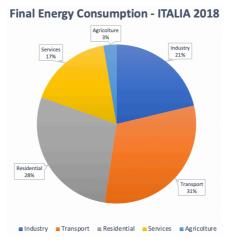


Figura 3 – Final Energy Consumption ITALIA 2018 [1]

Circa un terzo dei consumi finali in Italia al 2018 è imputabile al settore residenziale, questo esprime la necessità di comprendere i vantaggi che si potrebbero ottenere se si migliorassero le tecnologie utilizzate, i principi costruttivi e gli apparati energetici che li assistono, non solo per edifici cosiddetti nZEB (Nearly Zero Energy Building), ma anche per i classici edifici di larga scala, che purtroppo rappresentano la maggioranza del parco costruzioni nel settore residenziale. In generale, è possibile affermare che circa il 40 % degli edifici possiede un anno di costruzioni antecedente il 1960, mentre circa il 90 % presenta un anno di costruzione precedente il 1990. Inoltre, la percentuale di edifici di nuova costruzione ogni anno si attesta intorno al 1%. Un valore davvero basso, per cui nuove tecniche di efficientamento energetico avrebbero un peso specifico maggiore.

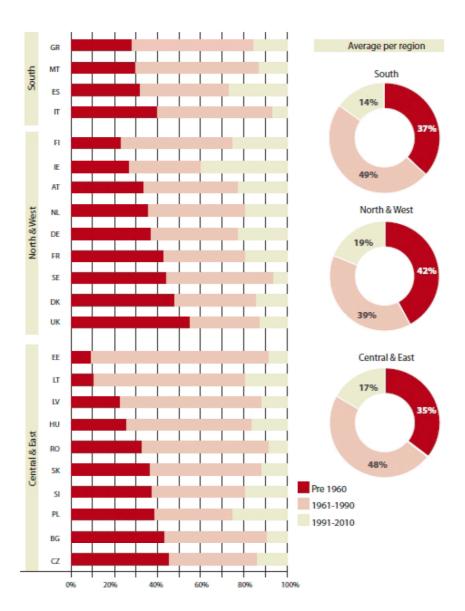
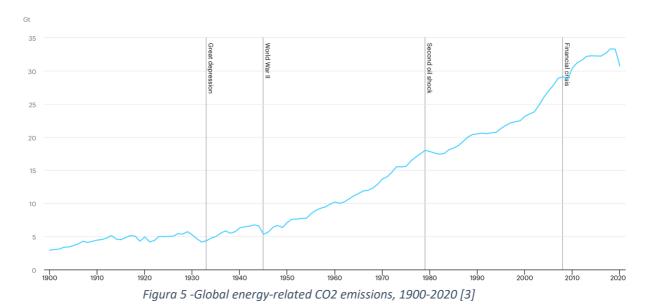


Figura 4 – Residential stock according to age band [2]

#### 1.2 Emissioni GHG (Greenhouse Gases) nel settore residenziale

Al giorno d'oggi, diversi sono i temi energetici che influenzano la società moderna, come il riciclo dei materiali e dei rifiuti, la transizione energetica verso fonti di tipo rinnovabili, e molti altri dipendendo anche dalla località, ma forse il più importante è il cambiamento climatico dovuto al riscaldamento dell'atmosfera, a causa della presenza dei cosiddetti gas serra che fungono da riflettenti e assorbenti sia della radiazione solare che terrestre. Questi composti, prodotti principalmente da sistemi industriali e civili ed inoltre anche nel settore dei trasporti, sono aumentati esponenzialmente negli ultimi decenni, rendendo la problematica del riscaldamento climatico una tematica rilevante ed urgente. Tra i differenti composti di natura organica e non organica, la grande presenza della CO2 rispetto alla quantità delle altre tipologie di composti conferisce all' anidride carbonica il ruolo cruciale all'interno di questa tematica.

Global energy-related CO2 emissions, 1900-2020



Condizione sempre più critica rispetto alla presenza dei GHG (Greenhouse Gases), nello specifico della CO2 confermata dalla Figura 5; soltanto in corrispondenza dell'anno 2020 è presente una diminuzione, questo è dovuto ai differenti lockdown locali nelle diverse nazioni, che a causa della pandemia sanitaria "Covid-19", e al fine di evitare la trasmissione del virus, hanno adottato misure di "smart-working", che hanno portato ad una riduzione

dei trasporti e della produzione industriale in molte aree del settore terziario.

Da un punto di vista europeo, come mostrato in Figura 6 e Figura 7, è possibile differenziare le emissioni di GHG e CO2 per i differenti settori. Naturalmente, la quantità in percentuale in riferimento al settore residenziale non è molto elevata, in entrambi i casi si avvicina al 10%, ma considerando l'impatto indiretto che potrebbe avere una riduzione consistente delle emissioni rispetto gli altri settori e la qualità della vita delle famiglie occupanti gli edifici residenziali, rende questo settore di significativa importanza nell'ottica di miglioramenti strutturali al fine di aumentarne l'efficienza degli edifici.

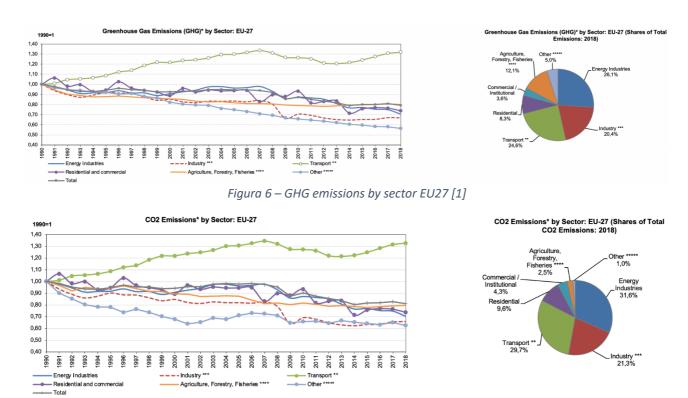


Figura 7 – CO2 Emissions by sector EU27 [1]

La quantità di emissioni GHG per quanto riguarda l'Italia, presenta una configurazione ancor più critica, poiché l'apporto del settore residenziale si avvicina a circa il 20%, come mostrato in Figura 8. Le efficienze dei sistemi di produzione di calore, la tipologia di combustibile utilizzato, la bassa efficienza energetica dell'edificio ed inoltre, un non corretto comportamento degli utenti in tutte le situazioni di potenziale risparmio energetico, sono alcune delle principali cause di questo valore; il quale può essere in parte paragonato alle emissioni del settore trasporti, con differenti motivazioni facilmente intuibili.

Infine, è importante dire che per la mobilità soprattutto pubblica è ormai ben stabilizzata in una fase di cambiamento verso nuove tipologie di sistemi a batteria alimentati ad energia elettrica e non più con motori termici, mentre invece per il settore residenziale è molto più indietro l'onda di cambiamento verso una effettiva standardizzazione di costruzione, manutenzione, gestione efficiente e sostenibile.



Figura 8 – Emissioni GHG per settore 2018 ITALIA [4]

Osservando il grafico riportato in Figura 9, è mostrata la particolare condizione in Italia del settore residenziale, infatti il livello di decrescita delle emissioni dal 1990 al 2018 interessa molti campi, comprendendo le industrie e l'agricoltura, ma il valore percentuale per il settore residenziale e dei rifiuti è con segno positivo con una crescita del 5,7%.

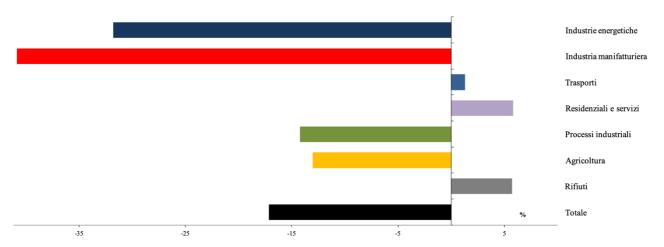


Figura 9 – Livello di decrescita delle emissioni GHG dal 1990 al 2018 [4]

Dunque, dopo aver analizzato il quadro attuale dei differenti settori, con un occhio di riguardo per il settore residenziale, sia da un punto di vista europeo, che italiano, è immediato riconoscere che è necessaria una variazione negli atti decisionali, in ogni singolo comparto della filiera energetica. Il settore residenziale rappresenta una potenziale area piena di nuove tecnologie ed apparati che, considerando la bassa efficienza degli edifici tutt'ora in esercizio, potrebbero portare a nuove frontiere, che vengono definite al giorno d'oggi nZEB (Nearly Zero Energy Building) oppure ZEB (Zero Energy Buildings). Questi edifici permettono la sostenibilità, delle funzioni essenziali e dei servizi di un ambiente residenziale, con un bassissimo impatto energetico e conseguentemente ambientale. Per ottenere questo, è necessaria una armonica collaborazione dei sistemi di produzione di calore/freddo, con i diversi apparati satelliti, ed inoltre con la presenza di particolari tecniche strutturali, che rendono l'intero edificio una singola unità che collabora in ogni sua parte. Materiali utilizzati, corretto Window to Wall ratio dipendenti dalla zona climatica e geografica, componenti di produzione di energia efficienti e soprattutto sfruttamento di fonti rinnovabili, sono solo alcuni degli aspetti che questi edifici devono rispettare per ottenere questi risultati.

In conclusione, sono molteplice le motivazioni che portano ad una esigenza costruttiva e tecnologica differente. La qualità di ogni singolo apparato all'interno dell'insieme edificio residenziale, non solo possiede un effetto positivo sul componente stesso, ma indirettamente sgrava parte del carico sugli altri componenti, raggiungendo così, i livelli energetici ed ambientali normati per i prossimi decenni, soprattutto dalla Conferenza delle Parti dell'UNFCCC (COP21 di Parigi) e dalle principali organizzazioni energetiche come la IEA in campo internazionale e le rispettive associazioni in campo nazionale.

Nel seguente paragrafo verranno evidenziati gli obiettivi prefissati nei prossimi decenni da raggiungere, che motivano l'utilizzo di nuove tecnologie ed apparati costruttivi sempre più efficienti come nell'esempio del Case Study in esame in questa relazione tecnico-scientifica.

#### 1.3 Motivazioni a supporto del Case Study

Le principali strategie da seguire per poter raggiungere gli obiettivi per i prossimi decenni possono essere molteplici, come ad esempio una sensibilizzazione nei confronti dell'utente verso un uso razionale dell'energia, ma soprattutto come mostrato in Figura 10, degli interventi di efficienza energetica, costituiscono circa il 50 % delle tipologie di attività utilizzate ad oggi in Italia. Osservando ancor di più nello specifico, si può notare che l'area con maggior potenziale ai fini di incremento dell'efficienza energetica è proprio il settore residenziale.

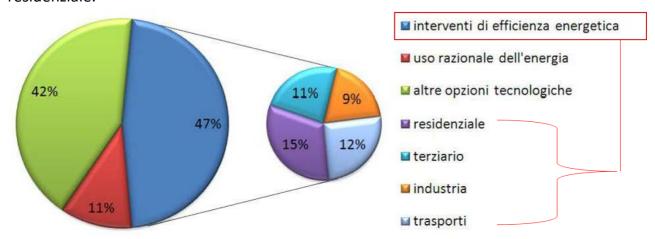


Figura 10 – Edilizia ed Energia: possibili interventi [5]

A questo proposito, l'Agenzia Internazionale per l'Energia cioè l'IEA, attraverso il report per lo status di edifici e costruzioni del 2019, evidenzia l'effettiva quota che si è risparmiata in termini di energia, nel momento in cui si attuano delle procedure di intervento. Si può affermare che il contributo positivo prodotto dall'intervento di efficientamento copre interamente l'aliquota di energia spesa dovuta alla tipologia di struttura dell'edificio, ecco dunque che, attraverso apparati di intervento di tipo strutturali ed edilizio si possono ridurre gli impatti che si hanno sulla richiesta totale di energia. Questa è l'idea principale che sta dietro il Case Study in esame in questo elaborato, cioè l'utilizzo di una facciata ventilata con materiali di tipo ceramico, in tipologie di edifici di tipo residenziale multifamiliari.

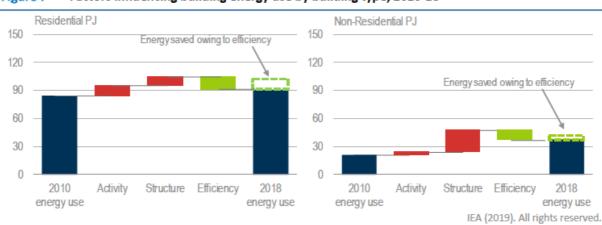


Figure 7 • Factors influencing building energy use by building type, 2010-18

Figura 11 – Factors influencing building energy use by building type 2010-2018 [6]

Lo scenario future descritto dalla IEA, definito come il Sustainable Development Scenario (SDS) per l'anno 2030, presenta una crescita sostanziale di edifici definiti nZEB, si prevede che circa il 50% degli edifici in progetto di costruzione saranno identificati con questo status. Condizione necessaria è dunque, utilizzo di tecniche di efficientamento energetico come l'utilizzo di facciate ventilate, materiali sempre più performanti in modalità isolante, utilizzo di sistemi di generazione dell'energia di tipo rinnovabile e molto più efficienti.

 $\times$ 

# Global building construction area by type of building code in the Sustainable Development Scenario, 2019-2030

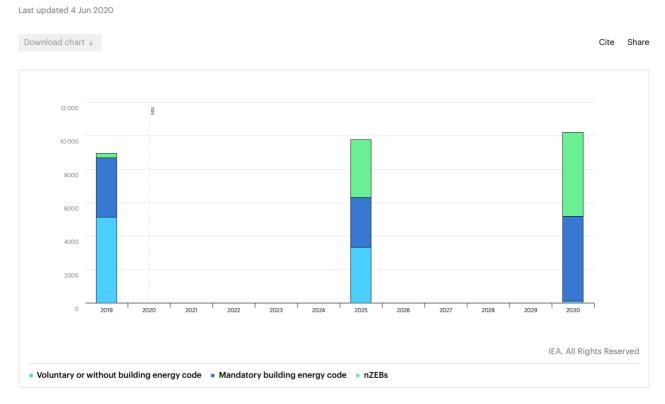


Figura 12 – Global building construction area by type of building code in SDS [3]

# Share of households purchasing heat pumps for heating and hot water production in selected regions the Sustainable Development Scenario, 2010-2030



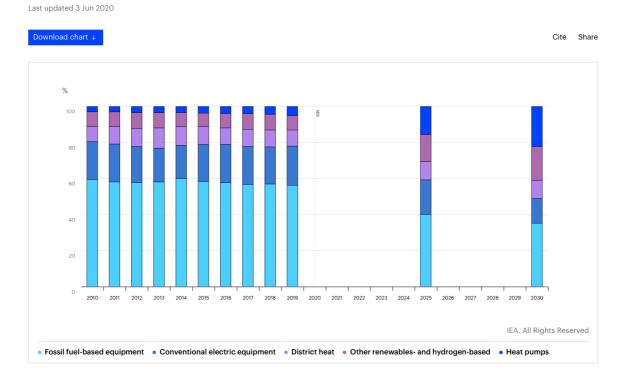


Figura 13 – Share of households purchasing heat pumps for heating and hot water in SDS [3]

La tipologia, i vantaggi ed i difetti, l'impatto effettivo della facciata ventilata, sono alcuni dei temi in oggetto di questo report che verranno approfonditi nei prossimi capitoli, ma in maniera preliminare permettono di affermare che l'apparato costruttivo costituisce un supporto non trascurabile agli impianti di produzione di calore e/o raffrescamento soprattutto dell'aria immessa in ambiente. Infatti, una corretta e congrua implementazione della facciata ventilata potrebbe essere associarla ad un impianto a ventilazione meccanica oppure ancora meglio un impianto HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning), che rappresenta la miglior tecnologia in termini di efficienza nel mantenere il comfort termo-igrometrico ed anche un'ambiente salubre grazie al filtraggio dell'aria.

Nelle rispettive condizioni di operabilità, cioè in fase estiva ed invernale, la facciata ventilata, grazie al principio fisico che la contraddistingue, contribuisce a fornire aria ad una temperatura più adatta e vicina a quella richiesta dall'utente, rispetto a quella esterna, riducendo così l'energia necessaria all'impianto centrale di gestione, controllo e distribuzione dell'aria di avere un carico maggiore. Naturalmente, questi principi fisici verranno approfonditi nei capitoli successivi. Ad ogni modo, questa configurazione tecnologico-strutturale dell'edificio si coniuga bene in entrambi i casi di riscaldamento e raffrescamento dell'aria immessa in ambiente, per questo presenta dei pregi spalmabili per tutto il periodo di funzionamento dell'impianto di climatizzazione dell'aria, andando dunque a ridurre le richieste di energia primaria ed emettendo una minor quantità di emissioni GHG in ambiente, inoltre, si rispettano anche gli obiettivi dettati dalla IEA in termini di riscaldamento e raffrescamento, espressi nelle figure seguenti:

#### ×

#### Heating technology sales in the Sustainable Development Scenario, 2010-2030

Last updated 3 Jun 2020

Cite Share

Cite Share

Cite Share

Conventional allows represent the state of pulposes.

Final purposes

Possible based opulposes.

IEA. All Rights Reserved.

Figura 14 – Heating technology sales in SDS. [3]

Heat pumps
 District heat

Other renewables- and hydrogen-based

Figure 4 • Global buildings sector final energy consumption by end use, 2010-18

Fossil fuel-based equipment 
 Conventional electric equipment

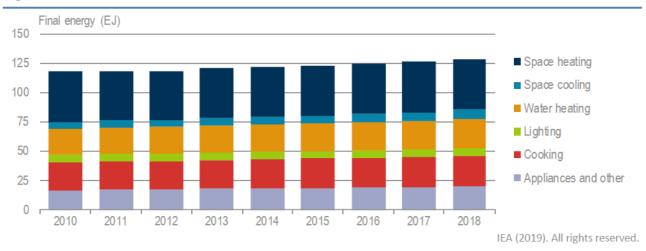


Figura 15 – Global buildings sector final energy consumption by end use [6]

Dal grafico si evince che l'aliquota maggiore dei consumi finali è richiesta dal riscaldamento degli ambienti occupati, per questo è di cruciale importanza l'utilizzo di sistemi efficienti che possano ridurre questo impatto energetico, al fine di soddisfare i SDS mostrati precedentemente.

# Space cooling intensity index in the Sustainable Development Scenario, 1990-2030

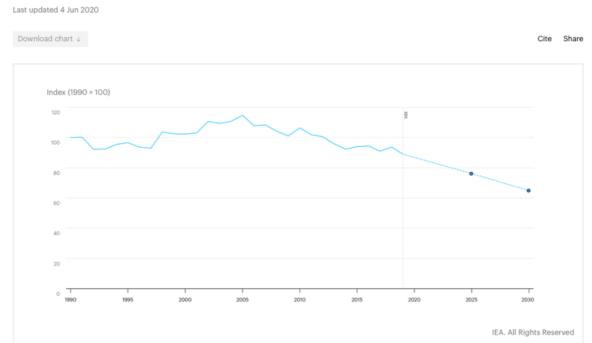


Figura 16 – Space cooling intensity index in SDS [3]

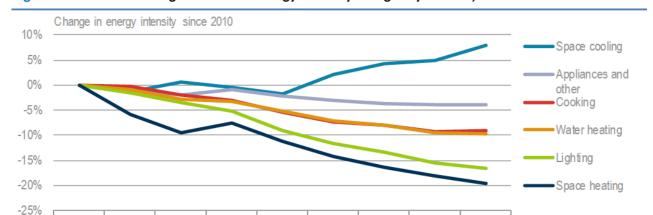


Figure 5 • Global buildings sector final energy intensity changes by end use, 2010-18

2014

2010

2011

2012

2013

IEA (2019). All rights reserved.

2016

2017

2018

Figura 17 – Global buildings sector final energy intensity changes by end use [6]

2015

In questa immagine si nota invece che, nonostante il raffrescamento degli ambienti non sia la voce principale di consumo di energia, presenta però un andamento rilevante rispetto le altre voci, questo evidenzia il fatto che negli ultimi anni la necessità del freddo, soprattutto in località marittime, con un clima molto caldo in estate, stia diventando sempre più un bisogno imprescindibile, così come il riscaldamento in inverno, rendendo le due voci energetiche, quasi di ugual importanza.

Indubbiamente, queste sono alcune delle motivazioni che portano all'analisi e sviluppo di nuove tecnologie impiantistiche, atte a contribuire ad un funzionamento più armonico di ogni componente dell'edificio, che per questo Case Study è rappresentato da una facciata ventilata a base ceramica.

# CAPITOLO 2 PRESENTAZIONE DELLO STUDIO SPERIMENTALE

#### 2.1 Panoramica generale sulla facciata ventilata

Con il termine "facciata ventilata" ci si riferisce ad un insieme di soluzioni tecniche, con tipologie di materiali, proprietà e dispositivi differenti, ma che si basano sullo stesso principio, cioè la presenza di una intercapedine d'aria tra un involucro edilizio interno ed uno esterno.

L'idea di base può essere applicata anche ad altre configurazioni come pavimenti o tetti ventilati, in alcuni casi definiti anche tetti verdi, caratterizzati dalla presenza di un'area verde nella parte soprastante, in grado di sfruttare la capacità evaporativa-traspirante fornita dal terreno.

Nel seguente capitolo verrà presentata la facciata ventilata convenzionale, applicata ad una parete laterale dell'edificio, con presenza di materiale opaco, che possa apportare dei benefici energetici e dunque economici in fase di riscaldamento, raffrescamento oppure entrambi per il locale in esame.

Per facciata ventilata s'intende comunemente una struttura, messa in opera a secco, realizzata per rivestire una superficie verticale esterna. L'intercapedine tra il rivestimento e la parete è progettata in modo tale che l'aria, in essa presente, possa fluire per effetto camino in modo naturale, a seconda delle stagioni e delle ore del giorno, al fine di migliorarne le prestazioni termo-energetiche complessive. Le facciate ventilate permettono sia di soddisfare esigenze estetiche sia di perseguire obiettivi di qualità come maggior comfort abitativo e durabilità dell'opera architettonica. [7] Infatti, le infinite soluzioni e scelte di colori e materiali per il rivestimento concedono al progettista piena libertà d'espressione; mentre caratteristiche tecniche quali la protezione dall'acqua meteorica e dai raggi solari, la traspirabilità della parete e la ventilazione presente nell'intercapedine conferiscono all'edificio importanti requisiti qualitativi. [8]

SCHEMA DI FUNZIONAMENTO DI UNA FACCIATA VENTILATA

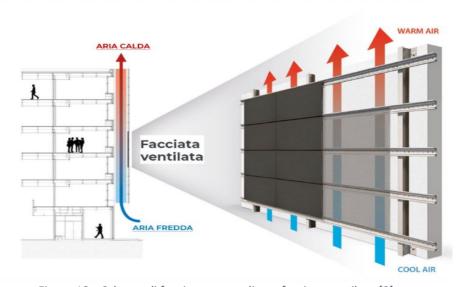


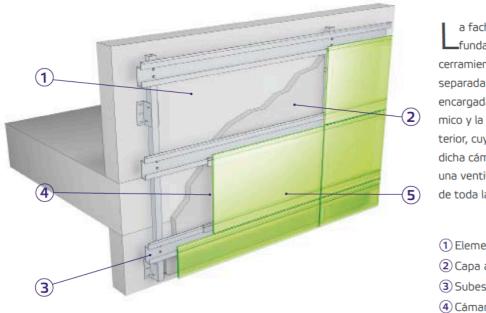
Figura 18 – Schema di funzionamento di una facciata ventilata [9]

Le facciate ventilate possono essere classificate in funzione di: [10]

- Tipo di ventilazione (naturale, meccanica, naturale con supporto di ventilatori);
- Origine del flusso d'aria (dall'interno, dall'esterno);
- Destinazione del flusso d'aria (verso l'interno o verso l'esterno);
- Verso di percorrenza del flusso d'aria (verso l'alto, o verso il basso in caso di ventilazione meccanica);
- Larghezza dell'intercapedine (stretta da 3 cm, larga fino a 2 metri).

Molteplici possono essere le configurazioni di facciate ventilate, dipendendo dalle caratteristiche che la conformano. Vi sono anche altri fattori che competono alla scelta della soluzione tecnologica più adatta, quali la tipologia di edificio, la località, l'incidenza della radiazione solare nella superficie in esame, nonché considerazioni sia energetiche che economiche.

I componenti principali di una facciata ventilata convenzionale con involucro edilizio esterno di tipo opaco sono [11]:



a fachada ventilada se caracteriza fundamentalmente por ser un cerramiento con una cámara aireada, separada por dos hojas, una interior, encargada de resolver el aislante térmico y la estanqueidad, y otra hoja exterior, cuya misión principal es formar dicha cámara de aire, garantizando una ventilación continuada a lo largo de toda la superficie de la fachada.

- 1 Elemento soporte
- 2 Capa aislante térmico
- 3 Subestructura metálica
- 4 Cámara de aire
- 5 Paramento exterior (Cerámica)

Figura 19 – Componenti di una facciata ventilata [11]

#### Elemento di supporto:

ESQUEMA 1.1. Partes de una fachada.

In una facciata ventilata l'elemento di supporto ha il compito di dare stabilità all'intera struttura, fornire le proprietà di isolamento sia termico che acustico, ed inoltre si configura come chiusura edilizia opaca dell'ambiente interiore. Deve possedere una buona compatibilità meccanica con la struttura metallica, ed ugualmente possedere un buon comportamento sia a basse che ad alte temperature che si possono raggiungere all'interno della camera d'aria, soprattutto nella parte alta dell'intercapedine.

#### • Strato di materiale isolante:

La funzione principale dell'isolante termico è quella di garantire un'alta resistenza termica all'intera parete, per questo è necessario un materiale con rilevanti proprietà isolanti, ma anche che sia disposto in maniera uniforme su tutta la superficie in esame, in modo che si possano ridurre al minimo tutti i ponti termici, costituendo un vero e proprio scudo contro il trasferimento di calore. Altre caratteristiche rilevanti sono la traspirabilità per evitare la condensa e dunque prevenire la formazione di muffe, la resistenza allo sfaldamento ed essere ignifughi, mantenendo una buona compatibilità ambientale.

#### Struttura metallica:

La struttura metallica funge da supporto strutturale all'involucro edilizio esterno. Essa è fissata agli elementi di supporto. È costituita nella maggior parte dei casi di materiale metallico ad esempio l'alluminio, per via della sua leggerezza e il suo ampio ventaglio di possibilità di utilizzo sia in campo industriale che architettonico, nonché per un costo non eccessivamente alto. La norma a cui fare riferimento per i dispositivi di fissaggio, è la UNI 11018:2003 "Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico". In generale, questo componente rappresenta l'ossatura portante dell'intera facciata ventilata, su cui viene posizionato l'involucro edilizio esterno.

#### • Camera d'aria:

La camera d'aria è un elemento caratteristico e fondamentale di tutta la facciata ventilata. Questa intercapedine che si viene a creare tra l'involucro edilizio interno ed esterno, intermezzata dalla struttura metallica, permette la ventilazione dell'aria, grazie al cosiddetto "effetto camino" o "stack effect", migliorando il comportamento della facciata in termini di isolamento termico ed acustico, elimina la condensa nei paramenti murari asciugando l'acqua eventualmente contenuta in essi, ed infine riducendo notevolmente i ponti termici.

#### Involucro edilizio esterno:

Una delle principali funzioni del paramento opaco esterno è quella di chiudere esternamente la struttura, configurando al suo interno la camera d'aria e garantendo una corretta ventilazione. Inoltre, ha il compito di trasmettere tutte le sollecitazioni meccaniche e termiche agli altri componenti della struttura, resistendo alle forze orizzontali e/o a flessione ma, allo stesso tempo fungere da prima barriera contro gli agenti atmosferici. Infine, costituisce un'espressione estetica dell'edificio, per questo sempre più negli ultimi anni è divenuto un requisito importante, al fine di avere anche una finalità artistico-architettonica direttamente nell'involucro edilizio esterno, attraverso immagini, simboli oppure un disegno che conferisca originalità ed identità all'edificio.

Nella figura seguente viene presentata la comparazione di alcuni materiali utilizzati come involucro edilizio esterno, dalla quale si può notare un'alta efficienza nel comportamento di un materiale ceramico di tipo gres porcellanato, che costituisce lo stesso materiale utilizzato nel caso studio che verrà presentato nei paragrafi successivi.

<b>C</b> aracterísticas		<b>m</b> ateriales								
		porce natural	lánico pulido	mármol	caliza	granito	madera	plástico	aluminio lacado	hormigón
características dimensionales	UNE-EN ISO 10545-2	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto		-
resistencia a la flexión	UNE-EN ISO 10545-4	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	bajo	alto
resistencia a la helada	UNE-EN ISO 10545-12	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	alto	bajo
permeabilidad	BS 4131	alto	alto	medio	medio	medio	medio	medio	alto	bajo
relación masa/superficie		medio	medio	bajo	bajo	bajo	medio	medio	alto	bajo
expansión por humedad		alto	alto	alto	alto	alto	bajo	bajo		medio
dilatación térmica lineal	UNE-EN ISO 10545-8	alto	alto	alto	alto	alto	bajo	bajo	bajo	medio
resistencia a las manchas		alto	alto	bajo	alto	bajo	alto	alto	medio	bajo
corrosión niebla salina	UNE 112017 ISO 9227	alto	alto	bajo	bajo	alto	alto	alto	alto	bajo
atmósfera 502	UNE-EN ISO 6988	alto	alto	bajo	bajo	medio	medio	alto	alto	bajo
envejecimiento solar	UNE-EN ISO 11341 (M2, C-A)	alto	alto	bajo	bajo	medio	bajo	medio	medio	$oxed{\cdot}$

Figura 20 – Vantaggi del Gres Porcellanato nelle facciate ventilate [11]

Il principio di funzionamento della facciata ventilata può essere distinto a seconda delle condizioni climatiche a cui si fa riferimento, dunque in inverno (stagione di riscaldamento) ed estate (stagione di raffrescamento), presentando in entrambi i casi vantaggi energetici e di comfort termo-igrometrico degli ambienti a cui è associata il dispositivo tecnologico.

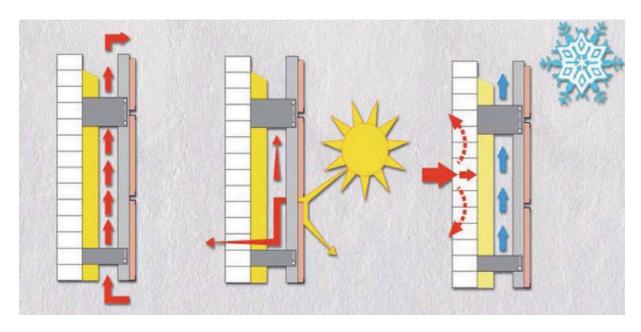


Figura 21 – Principio di funzionamento di una facciata ventilata [12]

#### • In Estate:

La facciata ventilata si comporta, durante la stagione di raffrescamento, da schermo attivo contro la radiazione solare incidente, in quanto si crea un flusso d'aria in risalita all'interno dell'intercapedine, che permette all'aria surriscaldata di essere espulsa nella sommità dell'edificio, diminuendo gli apporti termici dall'esterno, ed attuando la funzione di schermatura solare, assorbendo in parte ma soprattutto riflettendo una grande quota di energia solare. In generale, si mantiene la parete a contatto con l'ambiente interno ad una temperatura molto più bassa, in questo modo l'impianto di raffrescamento necessita, di minor energia per raffreddare le superfici parietali, migliorando il risparmio energetico ed il comfort degli occupanti.

#### In Inverno:

La facciata ventilata durante di il periodo di riscaldamento, svolge un supporto attivo per le pareti dell'edifico, poiché la ventilazione nella camera d'aria favorisce l'eliminazione del vapore acqueo proveniente dai locali interni, che si deposita nei paramenti murari, in questo modo si riduce significativamente il fenomeno della condensa, migliorando il comportamento strutturale delle pareti, ed introducendo un tema di incremento del" life-time issue dei materiali", poiché sono sottoposti a condizioni meno sfavorevoli; inoltre, riducendo la condensa si migliora il comfort degli occupanti, non solo termico ma anche visivo. Infine, si evitano eventuali punti deboli dell'edificio, in cui è presente la condensa, per cui si creerebbero delle vie preferenziali per la fuoriuscita di calore dall'edificio, che il sistema di riscaldamento deve compensare, consumando maggior energia, con costi maggiori per l'intero sistema.

In entrambi i casi citati precedentemente, l'uniformità dei comportamenti esposti, dovuti non solo alla geometria della struttura ed alla posa in opera, ma ad applicazioni con altezze considerevoli, (ad es. edifici plurifamiliari, rende valido il tema della riduzione dei ponti termici, abbattendo cosi le discontinuità termico-geometriche, che renderebbero l'edificio molto più esposto e dipendente alle condizioni esterne climatiche, sprecando energia nei sistemi di raffrescamento e riscaldamento.

In aggiunta, è importante considerare le migliorie dal punto di vista del comfort acustico, riducendo eventuali rumori esterni, e dal punto di vista architettonico artistico, poiché questa nuova facciata esterna come nuova "pelle" dell'edificio, con simboli o disegni aumenterebbe il valore dell'edificio non solo in termini del comfort visivo ma anche economici.

#### 2.2 Il materiale ceramico utilizzato

La tipologia del materiale utilizzato come involucro edilizio esterno, è una scelta molto importante, poiché rappresenta il primo componente che l'ambiente esterno incontra, dunque deve possedere proprietà in termini di compatibilità con le condizioni climatiche e di resistenza ad esse rilevanti, al fine di costituire un primo scudo contro le differenti condizioni termiche. Rappresenta la "pelle" dell'edificio, svolgendo tutti i suoi compiti, con i rispettivi vantaggi e svantaggi.



Figura 22 – Esempio di Gres Porcellanato in facciata ventilata nel residenziale (Seoul) [13]

Nel caso specifico per lo studio sperimentale della facciata ventilata è stato scelto un materiale ceramico di tipo gres porcellanato smaltato. Il Gres Porcellanato è una delle

tipologie di materiale ceramico più utilizzato in campo edilizio, soprattutto in applicazioni di edifici residenziali oppure uffici, come facciata esterna, non solo per i vantaggi energetici che verranno discussi in seguito, ma anche per una buona compatibilità con eventuali composti prodotti da zone molto trafficate, l'alta resistenza ai cambiamenti chimicostrutturali nel tempo, la facilità di pulizia senza l'utilizzo di particolari macchinari specifici, ed inoltre, grazie alla refrattarietà del materiale si aumenta il contrasto al fuoco, riducendo l'eventuale rischio di propagazione di incendi. Infine, notevoli in alcuni casi possono essere i vantaggi artistici da un punto di vista dell'architettura esteriore dell'edificio, conferendo identità alla struttura, ed in maniera indiretta una miglioria economica al valore dell'edificio.



Figura 23 – Gres Porcellanato nel residenziale (Bruxelles) [13]

Figura 24 – Gres Porcellanato nel residenziale (Istanbul) [13]

Il processo di produzione del gres porcellanato smaltato prevede diverse fasi, tuttavia il percorso da seguire è abbastanza lineare, questo ne conferisce una miglior adattabilità ai differenti impianti di produzione, in alcuni dei quali è possibile eseguire tutti i sotto processi in-situ, riducendone così le tempistiche e dunque i costi. Lo schema funzionale è illustrato nella figura seguente:

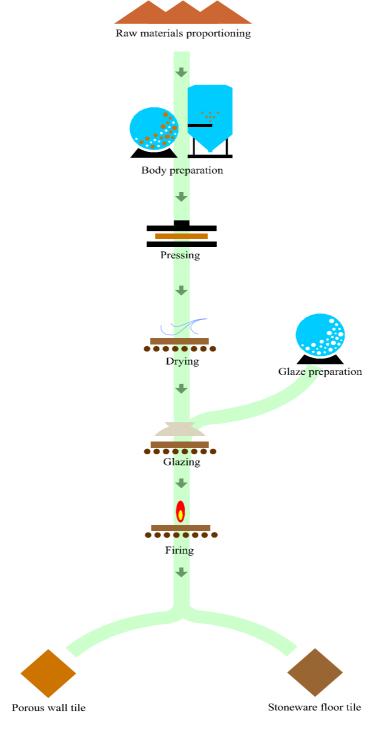


Figura 25 – Processo di manifattura del materiale ceramico [14]

#### 2.2.1 Preparazione della composizione

#### Scelta delle materie prime:

Questa fase rappresenta il primo passo per la realizzazione del prodotto ceramico, per questo è rilevante scegliere i giusti ingredienti, in modo che siano compatibili tra di loro per ottenere una buona armonia tra i componenti, inoltre, è importante tenere in considerazione la facilità di approvvigionamento, anche in termini economici, e la capacità che queste materie prime possiedono per essere lavorate in condizioni termo-fisiche accettabili.

La composizione chimica del materiale utilizzato è mostrata nella figura seguente, con percentuali espresse in massa.



Figura 26 – Composizione in massa del Gres Porcellanato [15]

L'argilla silicea è uno dei materiali più impiegati per quanto riguarda l'implementazione in applicazioni ceramiche, esso favorisce la conformazione del prodotto grazie alla sua plasticità ed evita la creazione di difetti come crepe e sfaldamenti. Inoltre, proporziona la resistenza meccanica del pezzo durante le diverse tappe per la lavorazione prima della fase di cottura.

L'argilla plastica associato alla presenza dell'argilla classica (silicea) conferisce maggior plasticità al composto, in modo da essere modellato e ridefinito, ed inoltre, durante il processo riduce la possibilità di creazione di sospensioni di materie prime non plastiche, evitando la sedimentazione delle stesse.

Feldspato è uno dei materiali più comuni utilizzati per queste applicazioni, è un minerale composto da diversi elementi chimici, come sodio calcio e potassio. Nel caso specifico di questo materiale, è utilizzato un feldspato alcalino, il quale migliora la fusibilità e la reattività del composto, riducendo la temperatura di cottura e dunque non solo un risparmio tempistico ma anche economico.

*Talco* favorisce non solo la riduzione della temperatura in fase di cottura per raggiungere la fusione, ma inoltre aumenta il coefficiente di dilatazione e contemporaneamente riduce l'espansione dovuta all'umidità del prodotto dopo la fase di cottura.

#### 2.2.2 Preparazione del composto

La "Macinazione per via umida" è un processo che viene effettuato attraverso l'utilizzo di un mulino con corpo cilindrico-conico, che gira grazie alla presenza di un albero centrale che fa ruotare l'intera struttura, imponendo un moto ciclonico, scaturendo dunque delle forze centrifughe al composto che inizia a configurarsi in piccole particelle sferiche, con dimensioni variabili. Le più piccole vengono raccolte in basso attraverso la sezione conica, le altre particelle con dimensioni maggiori vengono infrante da uno getto di vapore a temperatura molto alta proveniente dal basso, che sospinge parte di esse in alto, producendo così una sospensione di materiale ceramico, che in gergo tecnico, viene definita "barbottina", la quale verrà utilizzata nelle altre fasi del processo di lavorazione. Le dimensioni medie delle particelle sono tra gli 80-125  $\mu m$ . Le dimensioni ottenute possono variare rispetto alle tempistiche di lavorazione ed agli intervalli di temperatura entro i quali lavora il mulino ed il flusso di vapore.

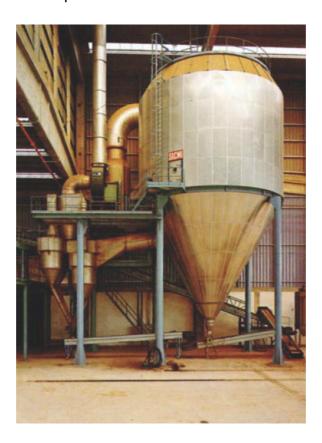


Figura 27 – Mulino per la macinazione per via umida [16]

L'Atomizzazione è lo step successivo, nel quale la "barbottina" ottenuta precedentemente viene lavorata attraverso uno getto di vapore che va a rimpicciolire ulteriormente le particelle, in modo che, riducendone le dimensioni si vada a migliorare non solo la fase di

seccatura, eliminando più facilmente l'acqua contenuta all'interno, ma si migliora la fase di pressione e conformazione, migliorandone l'aggregazione.

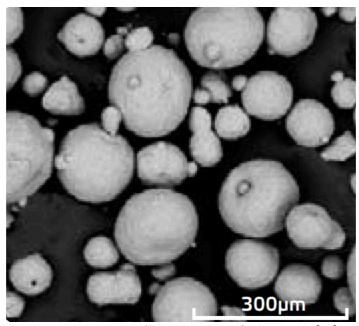


Figura 28 – Processo di atomizzazione al microscopio [15]

#### 2.2.3 Conformazione

La "Pressione a secco" è la prima fase di formatura del composto, in cui a determinate condizioni di umidità, pressione meccanica e densità del composto, esposte nella figura seguente, riferite per il Gres Porcellanato, si riesce a definire una struttura molto più concreta e solida, rispetto al composto quasi liquido precedente. I vantaggi di questo processo sono l'elevata efficienza di produzione con impiego minimo di personale, facilità nella fase di seccatura ed infine, una minima deformazione del pezzo solido nelle successive fasi di lavorazione.

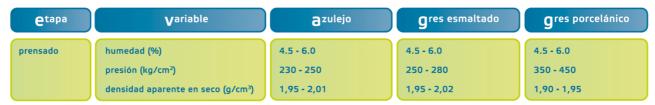


Figura 29 – Variabili di processo del "pressato a secco" [15]

L' Estrusione è un'altra via da poter seguire al fine di conformare il pezzo solido a partire dal composto chimico in fase liquida. La pasta semi-solida viene fatta passare attraverso appositi macchinari, che oltre a diminuire la presenza di acqua all'interno grazie ad una prima pressione, riescono a definire la forma solida che in seguito verrà tagliata in pezzi adeguati alle lavorazioni successive. Questo processo ha come vantaggio quello di essere svolto in continuo, riducendo al minimo le interruzioni per le fasi di carico e scarico.





ESQUEMA 1.2. Métodos de extrusión.

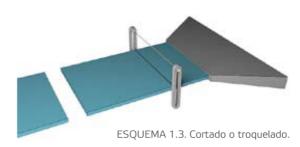


Figura 30 – Metodi di estrusione e taglio [15]

Extrusión a pistón

#### 2.2.4 Essiccatura

Il processo di seccatura è estremamente importante che sia uniforme e costante in ogni parte del materiale, al fine di ridurre la produzione di difetti puntuali, con cricche e piccoli vuoti, che possono produrre degli sforzi interni nella struttura, riducendone così la resistenza meccanica del pezzo ceramico. Per assicurare ciò, è necessario un flusso di aria calda ben definito nelle sue proprietà. Inoltre, è importante che il pezzo lasci la fase di seccatura ad una determinata temperatura, in modo che quando esso è pronto per la fase di smaltatura abbia già avuto la possibilità di far evaporare le particelle di acqua contenute in superficie, migliorandone dunque la seccatura generale.

#### 2.2.5 Smaltatura

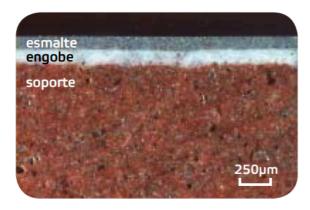
Il processo di smaltatura è di significativa importanza, soprattutto per la superficie del materiale, poiché la deposizione di un particolare smalto migliora le proprietà di tipo tecnico ed estetico quali impermeabilità, facilità di pulizia, brillantezza, colore, texture superficiale, resistenza chimica e meccanica.

I principali tipi di smalto applicati sulla superficie del pezzo ceramico derivano da elementi chimici molto comuni, soprattutto sotto forma di ossidi.

	<b>m</b> aterias primas				
Óxidos	<b>n</b> ombre	<b>f</b> órmula			
SiO <sub>2</sub>	Cuarzo Caolín Feldespatos alcalinos Wollastonita	$SiO_2$ $2SiO_2 \cdot Al_2O_2 \cdot 2H_2O$ $6SiO_2 \cdot Al_2O_2 \cdot M_2O$ (M=Na, K) $CaO SiO_2$			
Na <sub>2</sub> O	Feldespato sódico Feldespato potásico Nefelina	6SiO <sub>2</sub> ·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Na <sub>2</sub> O			
K <sub>2</sub> O	Feldespato potásico Nefelina	6SiO2·Al2O3·K2O4SiO2·Al2O3·M2O (M=Na, K)			
Li <sub>2</sub> O	Espodumeno	4SiO <sub>2</sub> ·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Li <sub>2</sub> O			
MgO	Dolomita Talco Magnesita	$\begin{array}{c} CaO \cdot MgO \cdot (CO_2)_2 \\ 3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O \\ MgO \cdot CO_2 \end{array}$			
CaO	Carbonato cálcico Dolomita Wollastonita	CaO·CO <sub>2</sub> CaO·MgO·(CO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CaO·SiO <sub>2</sub>			
ZnO	Óxido de cin c	ZnO			
BaO	Carbonato de bario	BaO·CO <sub>2</sub>			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Caolín Feldespatos alcalinos Alúmina calcinada	2SiO2·Al2O3·2H2O6SiO2·Al2O3·M2O (M=Na, K) œ Al2O3			
ZrO <sub>2</sub>	Circón	ZrO <sub>2</sub> ·SiO <sub>2</sub>			
TiO <sub>2</sub>	Anatasa	TiO <sub>2</sub>			

Figura 31 – Materie prime più utilizzate per la composizione dello smalto [15]

Un altro ruolo rilevante è svolto dall'Ingobbio, che ha il compito di aumentare la compatibilità tra lo smalto e la superficie del materiale ceramico, soprattutto da un punto di vista delle proprietà chimico-meccaniche. Infatti, esso è posizionato come intermezzo tra le due superfici, al fine di creare un'interfaccia che favorisca un adeguato accoppiamento tra i due composti. Inoltre, ha il ruolo di occultare il colore naturale del materiale ceramico e far risaltare la brillantezza dello smalto, migliorando la definizione delle decorazioni. Omogenizzare ed eliminare irregolarità superficiali, in termini di rugosità, per favorire applicazioni posteriori. Infine, creare uno strato superficiale impermeabile per evitare problemi di porosità derivanti dal supporto ceramico, soprattutto in pezzi di rivestimento esterno, nei quali è necessario eliminare la porosità.



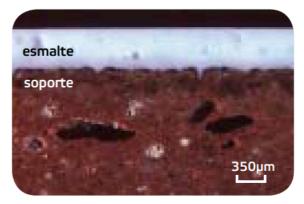


Figura 32 – Differenziazione tra i diversi strati e ruolo dell'ingobbio [15]

La deposizione dello smalto oppure dell'ingobbio viene attuata attraverso un particolare macchinario definito "deposizione a campana", per via della forma del componente di rilascio della sostanza smaltante. Lo schema funzionale è mostrato in figura:

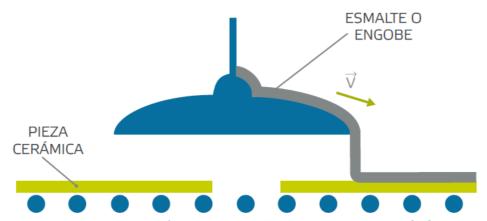


Figura 33 – Schema di funzionamento della deposizione a campana [15]



Figura 34 – Deposizione a campana dello smalto [15]

È importante dire che, ormai, nella maggior parte delle aziende del settore, la deposizione dello smalto viene effettuata anche attraverso macchinari ink-jet, che non solo riducono le tempistiche di processo, ma ne migliorano l'efficienza di deposizione.

#### 2.2.6 Decorazione

La *Serigrafia* è soltanto uno dei possibili processi di decorazione che vengono utilizzati nel settore ceramico. Dipendendo dall'applicazione finale, dal tipo di decorazione, dai costi e dalle tempistiche, viene scelta una possibile soluzione piuttosto che un'altra. Come mostrato nello schema in figura, la tinta viene depositata grazie ad una spatola ed un filtro precedentemente lavorato, in modo da lavorare in continuo, decorando il pezzo ceramico mentre esso scorre in basso.

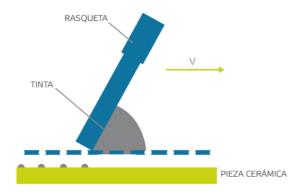


Figura 35 – Schema funzionamento Serigrafia [15]

La tecnica "Stampa a getto d'inchiostro" è la tecnica più moderna e maggiormente utilizzata per quanto riguarda la decorazione del gres porcellanato. Si basa sul passaggio dell'inchiostro attraverso un ugello, che lo spruzza, formando un flusso di piccole gocce che devono raggiungere il supporto in modo da formare un'immagine su di esso. La stampa viene eseguita senza necessità fermare il pezzo e senza entrare contatto con esso, come l'inchiostro depositi da iniettori, quindi che permette la totale decorazione del pezzo, anche quelli con rilievi e bordi arrotondati.

Una declinazione di questa tecnica è anche detta "Aerografia" utilizza il principio dell'ugello con effetto Venturi, per cui una adeguata pressione dell'aria permette la deposizione sulla superficie del materiale. La tinta viene precedentemente polverizzata a dimensioni adeguate rispetto gli scopi finali. In alcuni casi, l'efficienza di deposizione e la precisione del processo è molto alta rispetto gli altri metodi utilizzati.

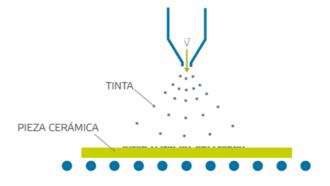


Figura 36 – Schema funzionamento Stampa a getto d'inchiostro [15]

#### 2.2.7 Cottura

La "tappa di sinterizzazione" è probabilmente una delle fasi cruciali dell'intero processo di produzione. Nel grafico seguente è mostrata la suddivisione in sotto fasi, in modo da avere una cottura crescente ed uniforme. È necessario, dunque, rispettare alcuni intervalli ideali di temperatura e tempistiche mostrate in figura, al fine di raggiungere una consistenza adeguata rispetto agli usi finali del materiale, come mostrato nello schema seguente:

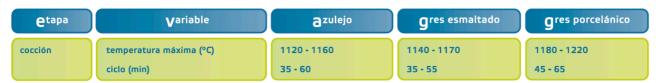


Figura 37 – Variabili di processo nella fase di cottura [15]

La "tappa di raffreddamento" riguarda l'ultima parte della fase di cottura, in cui il materiale viene raffreddato, attraverso un getto d'aria forzata a temperatura ambiente che per convezione raffredda la superficie del ceramico. Rilevante, è attuare questo trattamento senza la produzione di stress interni che si vengono a creare per tensioni strutturali e meccaniche indotte, che potrebbero scaturire l'attivazione di cricche ed in seguito la propagazione di difetti, riducendo la resistenza del materiale.

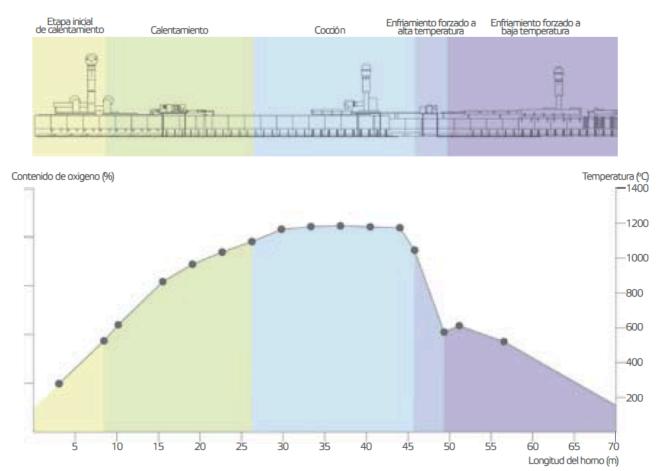


Figura 38 – Curva di cottura nel forno di un Gres Porcellanato [15]

#### 2.3 La Facciata Ventilata a base ceramica

Lo studio su cui si basa principalmente questo elaborato è su un'applicazione di una facciata ventilata a base ceramica, assemblata in una struttura costruita appositamente per il progetto "Habitat Sostenible" [17] portato avanti dall'Instituto de Tecnologia Ceramica e dall'Associancion de Investigacion de las Industria Ceramica (ITC-AICE), in collaborazione con altri istituti tecnologici come AIDIMA (Instituto Tecnologico del Mueble, Madeira, Embalaje y Afines) ed AITEX (Asociacion de Investigacion de la Industria Textil).

L'ITC è un istituto fondato sulla base di un accordo economico-scientifico tra la regione della Comunidad Valenciana, l'Universidad Jaume I di Castellòn, e l'associazione di industriali ed imprese della ceramica che operano sia nell'aree limitrofe che in tutto il territorio nazionale spagnolo. L'obiettivo principale è quello di fondere la ricerca e conoscenza scientifica, attraverso studi ed esperimenti, con applicazioni concrete e sostenibili, che possano portare vantaggi significativi al settore produttivo della ceramica, a partire dall'industria fino al consumatore finale. All'interno dell'istituto, vi sono diverse compagini associative di ricerca e sviluppo, che sono racchiuse all'interno dell'istituto, una di queste è l'AICE, che comprende tecnici, architetti, ingegneri, manager ed analisti economici, in modo che si possa spaziare il più possibile nel settore ceramico, in ogni sua applicazione finale, considerando tutti gli ambiti quali ad esempio economici ed energetici, che vi sono alla base dello sviluppo di un nuovo prodotto. Il progetto "Habitat Sostenible" ha come scopo quello di sperimentare attraverso una applicazione realistica cioè la facciata ventilata, il ruolo di una struttura opaca a base ceramica, valutandone i vantaggi e svantaggi, sia energetici che economici, con l'idea di portare questa attuazione al consumatore finale in una più larga scala di utilizzo.

All'interno di questa sezione verrà presentato il progetto, in modo da capire successivamente da dove provengono i dati ottenuti, che verranno elaborati per l'analisi energetica. Esternamente, la struttura su cui si basa il progetto si presenta cosi:



Figura 39 - Facciata rivolta a SUD



Figura 40 - Facciata rivolta a SUD 2

Lo scheletro strutturale su cui viene basata la struttura portante della montatura del "Open Habitat", è composta da un materiale di acciaio galvanizzato, ed esternamente un sandwich di due materiali, alluminio e un isolante, come polietilene espanso.

La facciata, rivolta verso SUD, rappresenta la superficie dove verrà in seguito posizionata la copertura edilizia opaca a base ceramica. Le principali dimensioni geometriche sono mostrate in un modello simile prodotto attraverso il software Sketchup con l'utilizzo del Plug-in di OpenStudio.

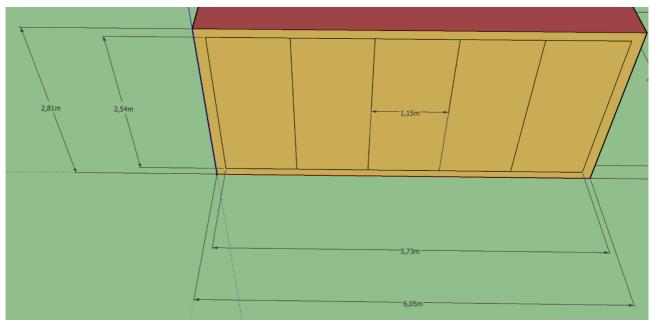


Figura 41 - Dimensioni facciata SUD

Dalle figure precedenti è possibile notare la struttura di supporto metallica, sulla quale successivamente verrà fissato il materiale ceramico in esame. Essa è composta da alluminio galvanizzato, in modo da poter sostenere i carichi meccanici dei pezzi ceramici, ma anche di poter garantire nel tempo una buona resistenza alle variazioni di temperatura e pressione a cui è sottoposta, visto il lungo periodo di monitoraggio del funzionamento, inoltre è un materiale a buon mercato, facile da reperire ed affidabile.

Di seguito è mostrata una foto durante la fase di montaggio ed assemblaggio di ogni elemento ceramico che andrà a comporre la facciata esterna. Il montaggio in loco è stato possibile grazie al sostegno di appositi supporti, precedentemente disposti, su cui ogni singolo pezzo veniva fissato tramite incastro e/o scorrimento.



Figura 42 - Installazione materiale ceramico

Mentre, il supporto metallico su cui viene fissato ogni pezzo ceramico è costituito da acciaio inossidabile, come mostrato in Figura 44, che rende il componente capace di sostenere i carichi, mantenere in posizione la struttura, limitando eventuali discontinuità geometriche e di conseguenza energetiche.



Figura 43 - Focus materiale ceramico



Figura 44 - Supporto metallico del materiale ceramico



Figura 45 - Facciata ventilata completa

La struttura nello specifico della sua facciata rivolta a SUD, si presenta così, nella fase post montaggio del corpo edilizio opaco esterno, con i pezzi ceramici che vanno a comporre uniformemente, un layer esterno, dunque la cosiddetta "seconda pelle" della facciata.

Il materiale utilizzato è, come detto precedentemente, un Gres Porcellanato Smaltato, il quale processo di produzione è stato presentato nel paragrafo antecedente. La colorazione superficiale è di un colore molto scuro, tendente al nero, in modo che si possa assorbire più radiazione solare possibile durante i giorni soleggiati, ottimizzando gli apporti solari, e dunque, rendendo il comportamento dell'intera facciata più efficiente. Ogni elemento utilizzato per comporre la facciata ceramica, possiede 1,195 m di lunghezza, 0,595 m di altezza ed 11 mm di spessore.

La facciata, rivolta verso EST, è mostrata nella figura seguente. Si nota che è suddivisa in due parti, una con chiusura opaca, l'altra con una chiusura trasparente, sulla quale sono montati degli strumenti di supporto che verranno presentati in seguito.



Figura 46 - Facciata rivolta ad EST

Le principali dimensioni geometriche sono raffigurate, anche in questo caso, attraverso il software Sketchup con l'utilizzo del Plug-in di OpenStudio.

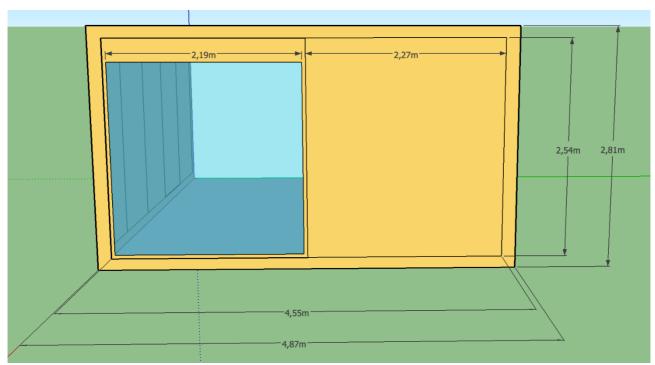


Figura 47 - Dimensioni facciata EST

È importante affermare che il componente finestrato della facciata rivolta ad EST, durante il periodo di simulazione, è stato coperto da uno strato riflettente bianco, in grado di limitare le possibili ingressi di radiazione solare, al fine di evitare eventuali apporti solari all'interno della struttura che potrebbero influenzare le dinamiche termiche del progetto nonché le misurazioni dei sensori e quindi dei risultati ottenuti.

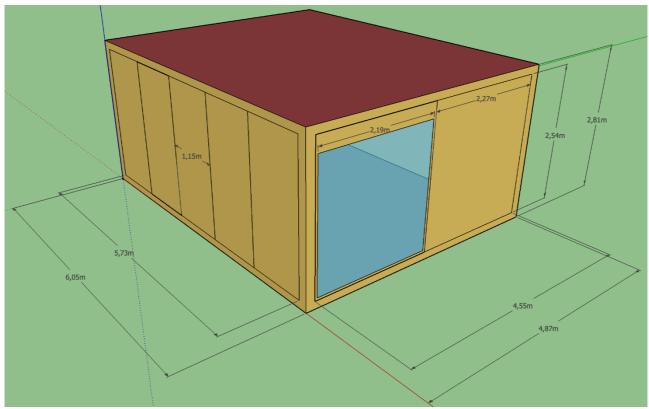


Figura 48 - Dimensioni generali Open Habitat

In modo da avere un quadro chiaro di queste due facciate, sia quella rivolta a SUD che ad EST, sono rappresentate attraverso il software Sketchup, con il supporto del Plug-in di OpenStudio.

La facciata NORD e la facciata OVEST sono mostrate nella figura sottostante. I componenti trasparenti fanno parte della parete NORD, mentre la parete OVEST e completamente chiusa, con una struttura opaca.



Figura 49 - Facciata rivolta a NORD



Figura 50 - Facciata rivolta a Nord 2

La struttura utilizzata come modello sperimentale, all'interno del progetto "Habitat Sostenible" si trova all'interno del campus universitario associato all'Università Jaume I, situata in Castellò, nella "Comunidad Valenciana", in Spagna. La posizione esatta è 39,59 °N ed 0.04 °O.

Inoltre, come si può notare dalle foto, il sistema progettato per l'attuazione del progetto, prevede la presenza di componenti atti a misurare parametri termo-fisici, in modo da immagazzinare dati sperimentali, cioè attraverso degli appositi sensori, quali termometri, termocoppie, solarimetro, e sensori di pressione. A questi elementi sono accompagnate delle serrande di apertura e chiusura del locale, in modo da produrre una differente configurazione, per il passaggio dell'aria sia nella camera ventilata che da e verso l'esterno, rispetto l'ambiente interno.

La sezione dedicata agli strumenti utilizzati per monitorare i circa 5 mesi di funzionamento del progetto, verrà presentata nel capitolo successivo.

# 2.4 Sensori e Componenti

Il processo di acquisizione dei dati sperimentali, per una successiva elaborazione ed analisi, viene effettuato attraverso degli strumenti che permettono la misura di una grandezza fisica, durante il processo di funzionamento. Questi strumenti vengono definiti sensori, ed in base alla tipologia di grandezza registrata possiedono un nome differente, come termometri, barometri, solarimetri, accelerometri, microfoni, ecc... Rilevante è anche il posizionamento corretto dell'apparecchio, in modo che non la misura non possa essere influenzata da altri fattori esterni, falsando quindi il comportamento del sistema per quella determinata grandezza.

Nel caso in esame, il posizionamento di tutti i sensori è mostrato in figura, in cui lo schema a sinistra espone una sezione della facciata ventilata esposta sul piano con normale verso SUD, mentre lo schema a destra è una sezione della facciata ventilata ma sul piano con normale verso l'EST.

L'intero arco temporale di rilevazione delle grandezze fisiche è dal 2/12/2015 al 27/05/2016.

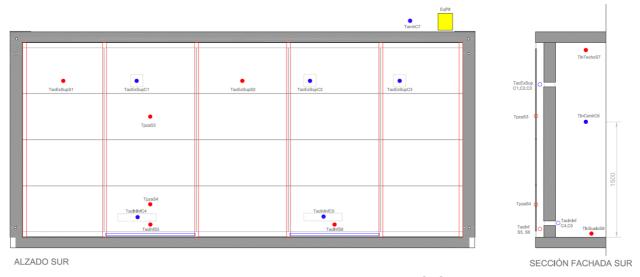


Figura 51 - Posizione e tipologia dei sensori [17]

Tutti i sensori utilizzati possiedono un passo di misura di un minuto, in modo che durante il periodo di monitoraggio di un giorno si possiedono 1440 misurazioni, mantenendo comunque un'accuratezza abbastanza alta.

Sensore	Tipologia	Scopo
TacExSup S1	Termocoppia	Il sensore registra la temperatura dell'aria nella parte alta della camera ventilata, nei punti senza estrattore, per rilevare eventuali punti di raccolta dell'aria calda che salendo verso l'alto si possa accumulare influenzando il sistema e la misura degli altri sensori.

TacExSup S2	Termocoppia	Il sensore registra la temperatura dell'aria nella parte alta della camera ventilata, nei punti senza estrattore, per rilevare eventuali punti di raccolta dell'aria calda che salendo verso l'alto si possa accumulare influenzando il sistema e la misura degli altri sensori.		
Tpieza S3	Termocoppia	Il sensore acquisisce la temperatura superficiale interna del rivestimento opaco ceramico.		
Tpieza S4	Termocoppia	Il sensore acquisisce la temperatura superficiale interna del rivestimento opaco ceramico.		
TacInf S5	Termocoppia	Lo strumento valuta la temperatura dell'aria nella parte bassa della camera ventilata successivamente alla sua entrata nella camera ventilata.		
TacInf S6	Termocoppia	Lo strumento valuta la temperatura dell'aria nella parte bassa della camera ventilata successivamente alla sua entrata nella camera ventilata.		
TacInTecho S7	Termocoppia	L'apparecchio misura la temperatura superficiale dell'aria in corrispondenza del tetto all'interno dell'ambiente interno.		
TacInSuelo S8	Termocoppia	L'apparecchio misura la temperatura superficiale dell'aria in corrispondenza del suolo all'interno dell'ambiente interno.		
TacExSup C1	Termocoppia	Il sensore rileva la temperatura dell'aria nella parte alta della camera ventilata in corrispondenza della bocchetta dell'estrattore verso l'interno.		
TacExSup C2	Termocoppia	Il sensore rileva la temperatura dell'aria nella parte alta della camera ventilata in corrispondenza della bocchetta dell'estrattore verso l'interno.		
TacExSup C3	Termocoppia	Il sensore rileva la temperatura dell'aria nella parte alta della camera ventilata in corrispondenza della bocchetta dell'estrattore verso l'interno.		
TacInInf C4	Termocoppia	Il sensore acquisisce la temperatura dell'aria in corrispondenza del canale inferiore all'interno della bocchetta dell'estrattore verso la camera ventilata.		
TacInInf C5	Termocoppia	Il sensore acquisisce la temperatura dell'aria in corrispondenza del canale inferiore all'interno della bocchetta dell'estrattore verso la camera ventilata.		
TacInCentro C6	Termocoppia	L'apparecchio misura la temperatura dell'aria dell'ambiente interno.		
Tamb C7	Termocoppia	Lo strumento misura la temperatura esterna ambientale.		
EqPir	Solarimetro	Lo strumento registra il valore della radiazione solare incidente sulla facciata.		

Tabella 1 - Sensori sistema sperimentale

I sensori codificati con la lettera C sono definiti come strumenti utili per il sistema di controllo automatico, in modo che attraverso queste informazioni il sistema sperimentale possa autonomamente cambiare configurazione, ad esempio aprendo o chiudendo le serrande posizionate in facciata.

I sensori codificati con la lettera S sono definiti come strumenti per il monitoraggio delle grandezze fisiche, svolgendo difatti il vero compito di sensore e rilevatore di dati utili per la validazione del sistema.



Figura 52 - Facciata SUD vista esterna

Nella foto precedente sono mostrati in maniera generale i diversi sensori, nello specifico quelli esterni, ed i loro posizionamenti sul sistema sperimentale. Di seguito, verranno presentati alcuni di essi con foto più dettagliate.



Figura 53 - Facciata SUD vista interna

Questa foto presenta una vista dall'interno della facciata ventilata, nella quale in alto è possibile notare le aperture corrispondenti ai fori per i tre estrattori dell'aria, nei quali sono state inserite le termocoppie definite come sensore C1, C2, C3.

Nella parte bassa, invece, sono presenti le due aperture che mettono in comunicazione l'ambiente interno con la camera d'aria della facciata ventilata, esse possono svolgere la funzione di serranda chiudendosi ed aprendosi dipendendo dalla configurazione analizzata, modulando quindi la portata d'aria in uscita o in entrata. Si può attuare quindi, un ricircolo tra ambiente interno e camera ventilata oppure una chiusura completa dell'uscita dell'aria, configurando un solo percorso all'aria, cioè solamente all'interno della camera ventilata.



Figura 54 - Estrattore facciata SUD

Nell'immagine precedente è mostrato in primo piano l'estrattore dell'aria dalla camera d'aria della facciata ventilata verso l'interno della stanza. La foto è stata fatta dal punto di vista interno.



Figura 55 - Serranda facciata SUD

Foto in primo piano da un punto di vista interno della stanza della serranda posizionata nella parte bassa della parete rivolta a SUD. Si può notare che al componente è associato un motorino comunicante con un sistema di controllo opportunamente sviluppato per poter configurare tutte le diverse condizioni di funzionamento durante tutto il periodo di monitoraggio del sistema sperimentale.



Figura 56 - Serranda facciata SUD vista esterna

Lo stesso componente mostrato precedentemente da un punto di vista interno è presentato adesso da una visione esterna, nella fase precedente al montaggio della parete ceramica della facciata ventilata. Come si può notare, essa comunica direttamente con la camera d'aria in caso di sua apertura. Il componente metallico, posto nella parte bassa rispetto alla serranda appena citata, rappresenta un'ulteriore serranda posizionata all'entrata della camera d'aria della facciata ventilata, in questo modo, chiudendo questa ulteriore serranda, non entra aria all'interno della camera ventilata, configurando una condizione di buffering, in cui l'aria della camera ventilata non ha ricambio, riscaldandosi e rappresentando così una sorta di accumulo di calore per la facciata SUD.



Figura 57 - Serranda facciata SUD e serranda camera ventilata

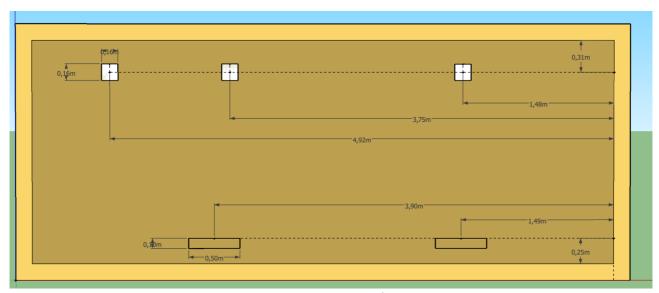


Figura 58 - Posizione apparati facciata SUD

Lo schema mostrato nella figura precedente, prodotto attraverso il Plug-in di OpenStudio all'interno del software SketchUp, presenta il posizionamento dei sensori nella facciata SUD, con le rispettive dimensioni e quotature sia degli estrattori in alto, che delle serrande di apertura e chiusura in basso, per la circolazione dell'aria.



Figura 59 - Estrattore e serranda facciata SUD

In alto è mostrato l'estrattore dell'aria dalla camera ventilata verso l'interno della stanza, mettendo in comunicazione le due zone. Inoltre, come è possibile notare dalla foto successiva, in corrispondenza dell'estrattore è stata posizionata una delle termocoppie (C1-C2-C3), per misurare la temperatura d'ingresso dell'aria in ambiente ma all'uscita della camera ventilata.



Figura 60 - Estrattore con termocoppia



Figura 61 - Estrattore con termocoppia 2

Altra immagine che presenta l'estrattore utilizzato, mostrato nella fase precedente il montaggio della copertura ceramica esterna. In basso, è mostrata la modalità di apertura dell'estrattore per poter far passare l'aria dalla camera ventilata all'interno della stanza.



Figura 62 - Vista interna dell'estrattore



Figura 63 - Apparati facciata EST

Nella figura precedente, vengono mostrati i tre estrattori, posizionati nella facciata rivolta ad EST, dell'aria della stanza che viene raccolta per essere espulsa verso l'esterno. Successivamente, sono mostrati gli stessi componenti però da un punto di vista esterno.



Figura 64 - Sensori facciata EST

Nella figura seguente è invece mostrata la serranda di apertura e chiusura dell'aria interna, posizionata nella zona alta della parete esposta a NORD. La tipologia di questo componente è dello stesso tipo delle altre serrande motorizzate utilizzate nei casi precedenti.



Figura 65 - Serranda facciata NORD

Di seguito sono raffigurati altri due sensori, nello specifico un solarimetro a sinistra ed un termometro esterno a destra, definiti precedentemente rispettivamente come EqPir ed C7.

Il Solarimetro oppure anche detto Pirometro, registra la quantità di radiazione solare incidente nella componente verticale che colpisce la parete ogni minuto in W/m^2.



Figura 66 - Solarimetro

Estremamente importanti per la misura della temperatura non solo superficiale sono le termocoppie, che sono mostrate in figura nella fase di montaggio e preparazione del sistema. Alcune di esse sono fissate alla parete bianca in modo che si possa registrare la temperatura superficiale altre invece vengono lasciate libere per poi essere poste in contatto con il materiale ceramico durante l'assemblaggio, in modo da ottenere la temperatura superficiale della copertura edilizia ceramica.



Figura 67 - Termocoppie ed estrattore facciata SUD

## 2.4.1 Il sistema di controllo automatico

Il sistema di controllo automatico che possiede il compito di acquisire i dati ottenuti dai sensori, ed inoltre, di poter variare la strategia di funzionamento dipendendo dalle condizioni esterne di temperatura e radiazione solare, è stato sviluppato internamente all'Istituto di Tecnologia Ceramica (ITC). L'acquisizione dei dati è basata su una serie di moduli ADAM 6000, che permettono di immagazzinare una serie di variabili ed in base al loro valore, prendere di conseguenza una serie di decisioni, prescritte in anticipo, che verranno comunicate a dei relè ed attuatori che mettono in funzione i componenti responsabili al conseguimento della decisione presa.

Il programma informatico è stato sviluppato attraverso l'utilizzo di un linguaggio di programmazione in C++, ed al suo interno vi sono le sezioni dedicate all'acquisizione dei dati ed all'attuazione del controllo automatico del sistema. Il programma presenta un'interfaccia grafica che permette di visualizzare la variabile registrata con il suo rispettivo valore in tempo reale, in questo modo è possibile monitorare in maniera molto più semplice le decisioni del sistema di controllo, al fine di poter cambiare le condizioni di funzionamento volute.

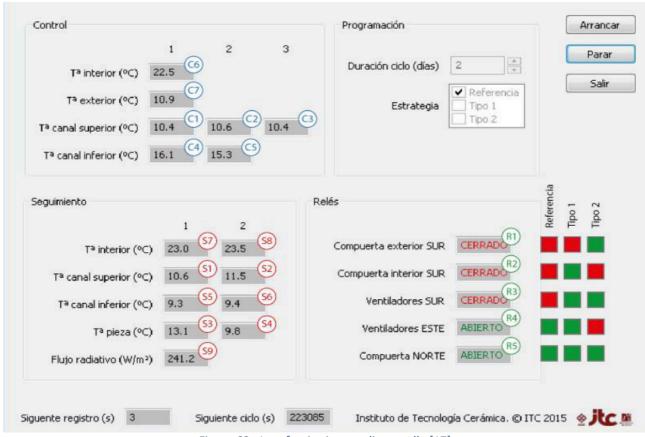


Figura 68 - Interfaccia sistema di controllo [17]

Come si può notare dalla schermata raffigurante l'interfaccia grafica del sistema di controllo, vi sono presenti tre differenti strategie di funzionamento, nello specifico la condizione di Referenza, definita anche condizione 0, in seguito la condizione 1 ed infine la strategia 2; ognuna di esse verrà presentata più in dettaglio nel paragrafo successivo.

## 2.5 Strategie di funzionamento

Strategia di Referenza: Tipo 0

Il principio di funzionamento svolto durante questa condizione consiste nel rinnovo dell'aria interna, direttamente dall'ambiente esterno, come se non fosse presente la facciata ventilata. Questa configurazione è definita appunto come referenza, poiché è la condizione sulla quale basare i successivi vantaggi e/o apporti energetici dovuti alla presenza della facciata ventilata rispetto alla non presenza della stessa, e dunque, rispetto alla strategia di tipo 0.

Come mostrato in figura, l'aria esterna entra con una portata fissa ben definita di  $108 \ \frac{m^3}{h}$ , valore di riferimento per il ricambio dell'aria per ambienti dedicati a finalità ospedaliere secondo la norma spagnola del DBSI e del RITE-IDA1. Il sistema di controllo, dunque, al fine di generare questa conformazione, esclude la facciata ventilata andando a chiudere le serrande di apertura in basso, non immettendo aria all'interno attraverso gli estrattori, ma soltanto attraverso gli estrattori posti nella facciata rivolta a EST, espellendo l'aria dalle serrande posizionate nella facciata NORD.

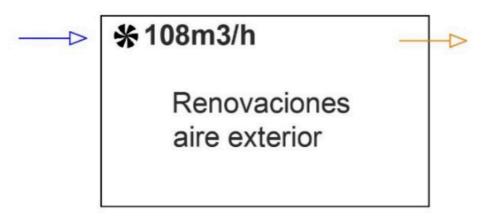


Figura 69 - Strategia di tipo 0 [17]

All'interno della stanza del sistema sperimentale "Open Habitat" è stata impostata una temperatura di comfort di 20 °C secondo la norma UNI-EN-ISO 7730.

Questa temperatura è mantenuta nell'ambiente interno grazie alla presenza di un sistema di produzione di calore esterno alla struttura del progetto "Habitat Sostenible".

## • Strategia: Tipo 1

Questa strategia permette di sviluppare due differenti comportamenti del sistema dipendendo dal confronto dei parametri  $Tc_{sup}$  cioè la temperatura dell'aria nella parte superiore della facciata ventilata,  $Tc_{inf}$  la temperatura dell'aria nella parte inferiore della camera della facciata ventilata ed inoltre, la  $T_{int}$  cioè la temperatura interna nella stanza. Dunque, quando il valore di  $Tc_{sup}$  è inferiore a  $T_{int}$ , si continua a proseguire nella condizione definita come di Referenza, cioè la strategia di Tipo 0, questo poiché la temperatura dell'aria in uscita dalla facciata ventilata non è sufficientemente alta, tale da poter riscaldare l'ambiente interno, apportando del calore. Mentre, quando diviene valida la condizione per cui la  $Tc_{sup}$  è superiore a  $T_{int}$  contemporaneamente alla condizione  $T_{int}$ <25°C, ecco che dunque in questo caso, si può attuare il ricircolo attraverso l'interno della camera, incrementando la temperatura dell'aria e riducendo così il carico di riscaldamento sul sistema di generazione di calore.

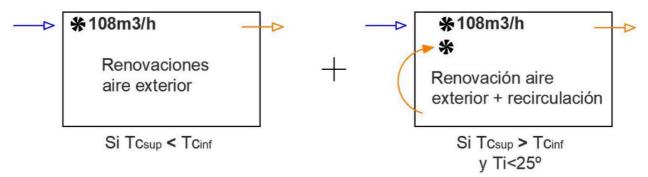


Figura 70 - Strategia di tipo 1 [17]

## • Strategia: Tipo 2

La strategia di Tipo 2 permette di sfruttare a pieno la presenza della facciata ventilata al compimento di determinate condizioni. Se la  $Tc_{sup}$  è inferiore della  $T_e$ , cioè la temperatura dell'aria nell'ambiente esterno, allora non vi è guadagno nel recuperare l'aria dalla facciata ventilata, per questo la rinnovazione avviene attraverso l'aria esterna. Mentre, quando la  $Tc_{sup}$  è maggiore della  $T_e$ , ma comunque inferiore a 25°C, si manifesta una condizione per cui è più vantaggioso estrarre l'aria direttamente dalla facciata ventilata rispetto che dall'esterno, poiché grazie ad esempio ad un'alta radiazione solare, l'aria presente dentro la camera della facciata ventilata si riscalda, diminuendo la sua densità e risalendo verso l'alto viene raccolta dagli estrattori di ripresa che immettono l'aria all'interno nella stanza, riducendo il carico di riscaldamento, poiché l'aria viene già riscaldata in parte o completamente, rispetto alla domanda energetica richiesta, dalla facciata ventilata.

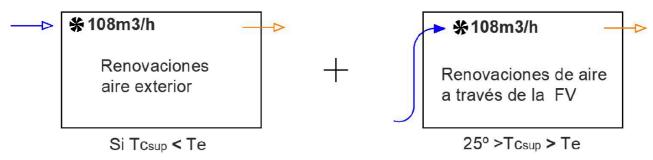


Figura 71 - Strategia di tipo 2 [17]

Il passaggio attraverso le differenti strategie presentate precedentemente avviene grazie al sistema di controllo, che trasmette l'informazione agli strumenti nel sistema sperimentale, nel caso specifico, le serrande di apertura e chiusura e gli estrattori, cambiando la configurazione per il passaggio dell'aria, sia nella facciata ventilata che dentro l'ambiente interno.

# CAPITOLO 3 ANALISI DEL SISTEMA SPERIMENTALE

## 3.1 Elaborazione dei dati ricavati

Il sistema sperimentale, all'interno del progetto "Habitat Sostenible", sviluppato dal gruppo di ricerca dell'Istituto di Tecnologia Ceramica (ITC), ha ricavato, misurato e monitorato, differenti grandezze fisiche durante tutto il periodo di funzionamento del sistema. Questi dati rappresentano la base di partenza su cui elaborare le analisi successive, soprattutto di tipo energetico ed economico.

Per ogni tipologia di strategia scelta per valutare il comportamento del sistema sperimentale, a causa della mancanza di più dimostratori per poter lavorare in simultanea, si è deciso di scegliere dei giorni prefissati per ogni strategia, in modo da avere in grandi linee la stessa condizione climatica, ed un numero di dati similari in quantità e qualità.

Nella tabella di seguito, dunque, è possibile capire quali giorni siano stati usati per una particolare configurazione di funzionamento, usualmente nell'arco di tre giorni si cambiavano le tre strategie, ovviamente, questo non sempre è avvenuto, per via di congruenze climatiche ed acquisizione dei dati da parte dei sensori, oltre che ad una fattibilità fisica di cambiamento della configurazione in esame.

Strategia TIPO 0	Strategia TIPO 1	Strategia TIPO 2
2/12/2015	3/12/2015	4/12/2015
5/12/2015	6/12/2015	7/12/2015
8/12/2015	9/12/2015	10/12/2015
11/12/2015	12/12/2015	13/12/2015
14/12/2015	16/12/2015	20/12/2015
23/12/2015	17/12/2015	25/12/2015
26/12/2015	19/12/2015	28/12/2015
29/12/2015	24/12/2015	31/12/2015
1/01/2016	27/12/2015	3/01/2016
4/01/2016	30/12/2015	6/01/2016
7/01/2016	2/01/2016	9/01/2016
10/01/2016	5/01/2016	12/01/2016
13/01/2016	8/01/2016	15/01/2016
16/01/2016	11/01/2016	18/01/2016
19/01/2016	14/01/2016	23/01/2016
24/01/2016	17/01/2016	26/01/2016
27/01/2016	20/01/2016	29/01/2016
30/01/2016	22/01/2016	1/02/2016
9/02/2016	25/01/2016	11/02/2016

12/02/2016			
18/02/2016       13/02/2016       20/02/2016         21/02/2016       16/02/2016       23/02/2016         24/02/2016       19/02/2016       26/02/2016         27/02/2016       22/02/2016       3/03/2016         1/03/2016       25/02/2016       6/03/2016         4/03/2016       28/02/2016       19/03/2016         16/03/2016       22/03/2016       20/03/2016         21/03/2016       5/03/2016       25/03/2016         21/03/2016       17/03/2016       26/03/2016         2/04/2016       18/03/2016       5/04/2016         2/04/2016       18/03/2016       5/04/2016         3/04/2016       24/03/2016       11/04/2016         13/04/2016       24/03/2016       11/04/2016         21/04/2016       3/04/2016       12/04/2016         21/04/2016       4/04/2016       25/04/2016         22/04/2016       15/04/2016       25/04/2016         29/04/2016       15/04/2016       25/04/2016         29/04/2016       15/04/2016       24/04/2016         29/04/2016       15/04/2016       24/04/2016         20/05/2016       26/05/2016       26/05/2016	12/02/2016	28/01/2016	14/02/2016
21/02/2016 16/02/2016 23/02/2016 24/02/2016 19/02/2016 26/02/2016 3/03/2016 27/02/2016 22/02/2016 3/03/2016 1/03/2016 25/02/2016 6/03/2016 4/03/2016 28/02/2016 19/03/2016 20/03/2016 20/03/2016 20/03/2016 21/03/2016 25/03/2016 25/03/2016 25/03/2016 25/03/2016 25/03/2016 25/03/2016 25/03/2016 26/03/2016 26/03/2016 26/03/2016 26/03/2016 20/04/2016 20/04/2016 23/03/2016 5/04/2016 23/03/2016 5/04/2016 23/03/2016 24/03/2016 11/04/2016 13/04/2016 3/04/2016 12/04/2016 12/04/2016 12/04/2016 21/04/2016 21/04/2016 21/04/2016 21/04/2016 22/04/2016 22/04/2016 22/04/2016 22/04/2016 22/04/2016 22/04/2016 23/04/2016 22/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 24/04/2016 24/04/2016 24/04/2016 23/04/2016 24/04/20	15/02/2016	10/02/2016	17/02/2016
24/02/2016	18/02/2016	13/02/2016	20/02/2016
27/02/2016	21/02/2016	16/02/2016	23/02/2016
1/03/2016 25/02/2016 6/03/2016 4/03/2016 28/02/2016 19/03/2016 16/03/2016 2/03/2016 20/03/2016 21/03/2016 5/03/2016 25/03/2016 1/04/2016 17/03/2016 26/03/2016 2/04/2016 18/03/2016 5/04/2016 7/04/2016 23/03/2016 6/04/2016 8/04/2016 24/03/2016 11/04/2016 13/04/2016 3/04/2016 12/04/2016 13/04/2016 3/04/2016 12/04/2016 14/04/2016 4/04/2016 17/04/2016 21/04/2016 9/04/2016 25/04/2016 22/04/2016 15/04/2016 22/04/2016 15/04/2016 23/04/2016 15/04/2016 23/04/2016 15/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 22/04/2016 15/04/2016 23/04/2016 25/04/2016 23/04/2016 24/04/2016 24/04/2016 25/05/2016	24/02/2016	19/02/2016	26/02/2016
4/03/2016       28/02/2016       19/03/2016         16/03/2016       2/03/2016       20/03/2016         21/03/2016       5/03/2016       25/03/2016         1/04/2016       17/03/2016       26/03/2016         2/04/2016       18/03/2016       5/04/2016         7/04/2016       23/03/2016       6/04/2016         8/04/2016       24/03/2016       11/04/2016         13/04/2016       3/04/2016       12/04/2016         14/04/2016       4/04/2016       17/04/2016         21/04/2016       9/04/2016       25/04/2016         22/04/2016       15/04/2016       25/04/2016         29/04/2016       15/04/2016       23/04/2016         23/04/2016       24/04/2016       24/04/2016         1/05/2016       24/05/2016       24/05/2016	27/02/2016	22/02/2016	3/03/2016
16/03/2016       2/03/2016       20/03/2016         21/03/2016       5/03/2016       25/03/2016         1/04/2016       17/03/2016       26/03/2016         2/04/2016       18/03/2016       5/04/2016         7/04/2016       23/03/2016       6/04/2016         8/04/2016       24/03/2016       11/04/2016         13/04/2016       3/04/2016       12/04/2016         14/04/2016       4/04/2016       17/04/2016         21/04/2016       9/04/2016       25/04/2016         22/04/2016       15/04/2016       25/04/2016         29/04/2016       15/04/2016       23/04/2016         24/04/2016       24/04/2016       24/04/2016         1/05/2016       26/05/2016       26/05/2016	1/03/2016	25/02/2016	6/03/2016
21/03/2016 5/03/2016 25/03/2016 1/04/2016 17/03/2016 26/03/2016 2/04/2016 18/03/2016 5/04/2016 7/04/2016 23/03/2016 6/04/2016 8/04/2016 24/03/2016 11/04/2016 13/04/2016 3/04/2016 12/04/2016 14/04/2016 4/04/2016 17/04/2016 21/04/2016 9/04/2016 25/04/2016 22/04/2016 10/04/2016 22/04/2016 15/04/2016 29/04/2016 15/04/2016 29/04/2016 15/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 24/04/2016 25/04/2016 25/04/2016 25/04/2016 25/04/2016	4/03/2016	28/02/2016	19/03/2016
1/04/2016 17/03/2016 26/03/2016 2/04/2016 18/03/2016 5/04/2016 7/04/2016 23/03/2016 6/04/2016 8/04/2016 24/03/2016 11/04/2016 13/04/2016 3/04/2016 12/04/2016 14/04/2016 4/04/2016 17/04/2016 21/04/2016 9/04/2016 25/04/2016 22/04/2016 10/04/2016 22/04/2016 15/04/2016 29/04/2016 15/04/2016 29/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 24/04/2016 24/04/2016 24/04/2016 22/05/2016	16/03/2016	2/03/2016	20/03/2016
2/04/2016	21/03/2016	5/03/2016	25/03/2016
7/04/2016 23/03/2016 6/04/2016 8/04/2016 24/03/2016 11/04/2016 13/04/2016 3/04/2016 12/04/2016 14/04/2016 4/04/2016 17/04/2016 21/04/2016 9/04/2016 25/04/2016 22/04/2016 10/04/2016 29/04/2016 15/04/2016 29/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 24/04/2016 24/04/2016 25/05/2016 26/05/2016	1/04/2016	17/03/2016	26/03/2016
8/04/2016 24/03/2016 11/04/2016 13/04/2016 3/04/2016 12/04/2016 14/04/2016 4/04/2016 25/04/2016 21/04/2016 9/04/2016 25/04/2016 22/04/2016 10/04/2016 29/04/2016 15/04/2016 29/04/2016 16/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 24/04/2016 24/04/2016 205/2016 26/05/2016	2/04/2016	18/03/2016	5/04/2016
13/04/2016 3/04/2016 12/04/2016 14/04/2016 4/04/2016 17/04/2016 21/04/2016 9/04/2016 25/04/2016 22/04/2016 10/04/2016 29/04/2016 15/04/2016 29/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 24/04/2016 24/04/2016 26/05/2016	7/04/2016	23/03/2016	6/04/2016
14/04/2016       4/04/2016       17/04/2016         21/04/2016       9/04/2016       25/04/2016         22/04/2016       10/04/2016       25/04/2016         29/04/2016       15/04/2016       23/04/2016         23/04/2016       24/04/2016       1/05/2016         2/05/2016       26/05/2016       26/05/2016	8/04/2016	24/03/2016	11/04/2016
21/04/2016 9/04/2016 25/04/2016 22/04/2016 10/04/2016 29/04/2016 15/04/2016 16/04/2016 23/04/2016 23/04/2016 24/04/2016 1/05/2016 2/05/2016 26/05/2016	13/04/2016	3/04/2016	12/04/2016
22/04/2016 10/04/2016 29/04/2016 15/04/2016 16/04/2016 23/04/2016 24/04/2016 1/05/2016 2/05/2016 26/05/2016	14/04/2016	4/04/2016	17/04/2016
29/04/2016 16/04/2016 23/04/2016 24/04/2016 1/05/2016 2/05/2016 26/05/2016	21/04/2016	9/04/2016	25/04/2016
16/04/2016 23/04/2016 24/04/2016 1/05/2016 2/05/2016 26/05/2016	22/04/2016	10/04/2016	
23/04/2016 24/04/2016 1/05/2016 2/05/2016 26/05/2016	29/04/2016	15/04/2016	
24/04/2016 1/05/2016 2/05/2016 26/05/2016		16/04/2016	
1/05/2016 2/05/2016 26/05/2016		23/04/2016	
2/05/2016 26/05/2016		24/04/2016	
26/05/2016		1/05/2016	
		2/05/2016	
27/05/2016		26/05/2016	
		27/05/2016	

Tabella 2 - Giorni per ogni strategia

Come è possibile notare dalla tabella precedente, i giorni si susseguono in modo che in maniera generale, ogni giorno vi sia una strategia di tipo diverso, al fine di avere i dati più comparabili possibili, naturalmente dipendendo dalle condizioni climatiche, al fine di raggiungere orientativamente la stessa quantità di giorni e dunque, dati ricavati dai sensori, per ognuna delle differenti strategie, equiparando la base di partenza su cui eseguire le analisi energetiche successive.

Per via della sua tipologia di funzionamento, la strategia di Tipo 1, verrà analizzata in secondo piano all'interno di questo elaborato, poiché si è voluto enfatizzare sia da un punto di vista strutturale-energetico che economico, la presenza della facciata ventilata rispetto alla sua assenza, dunque, verrà eseguito un focus maggiore sulla strategia di Tipo 0 e la strategia di Tipo 2.

La strategia di Tipo 0 è anche considerata come referenza cioè, la condizione di funzionamento che avrebbe un ambiente in assenza della facciata ventilata, quindi di una condizione standard, su cui valutare le eventuali migliorie apportate dalla presenza della facciata ventilata, rappresentata dalla strategia di Tipo 2.

Il confronto tra queste due condizioni è oggetto dei paragrafi successivi, attraverso l'analisi dei dati con l'introduzione di alcuni parametri energetici, che descrivono l'efficienza nell'utilizzo della facciata ventilata.

# 3.2 Analisi energetica

Lo studio del sistema sperimentale prevede una attenta analisi dei dati ottenuti, principalmente con la finalità di quantificare i benefici che vengono apportati dall'utilizzo di determinati dispositivi energetici, in questo caso della facciata ventilata. Per poter ottenere dei valori complessivi generali, traendo le dovute conclusioni finali, è però necessario, entrare nello specifico, cioè nel comportamento del sistema al variare di alcune variabili principali, quali delle differenti condizioni climatiche, dunque temperatura esterna, radiazione solare ma anche delle variabili proprie del sistema come la temperatura dell'aria all'interno della camera ventilata, oltre che la temperatura interna della stanza. Questi sono alcuni dei principali parametri che correlati con altri che forniscono una visione di contorno, rendono l'analisi più precisa.

Naturalmente, soltanto in conseguenza alla tipologia di grandezze fisiche misurate, ed alla loro affidabilità e frequenza, è possibile trarre conclusioni utili per una analisi di tipo energetico.

Inoltre, è importante dire che, alcune particolari analisi comparative rispetto diverse configurazioni di funzionamento che includono le tre differenti strategie, sono poco ragionevoli visto che i dati ottenuti per ognuna delle strategie sono stati ottenuti con valori delle condizioni climatiche esterne differenti in prima analisi, poiché le differenti configurazioni delle strategie sono state applicate a giorni diversi, che comportano un'influenza differente sul comportamento del sistema sperimentale. Perciò, come verrà affermato in seguito, sarà necessario passare ad una seconda approssimazione che introduce valori medi delle grandezze fisiche considerate, in modo da poter comparare giorni e strategie di funzionamento diversi, ma con criteri di giudizio simili e quindi più ragionevoli.

#### **IPOTESI**

- Le proprietà fisiche e chimiche dei materiali utilizzati, vengono considerati costanti nello spazio, trascurando eventuali discontinuità di geometria, di composizione chimica o di altra natura, che possono indurre un comportamento locale differente dei materiali.
- Le proprietà fisiche e chimiche dei materiali applicati, vengono assunti costanti nel tempo, eliminando dall'analisi energetica eventuali peggioramenti del materiale, dovuti ad usura durante tutto il periodo di funzionamento, oppure dovuti all'esposizione agli agenti atmosferici, che potrebbero inficiare la resa di alcune caratteristiche dei materiali impiegati.

- I dati acquisiti dal sistema di monitoraggio rappresentano il valore di quella grandezza fisica in esame al momento considerato, perciò viene trascurata la possibilità di interferenze di piccola entità con i sensori, che potrebbero influenzare il dato ricavato, anche in misura minima.
- L'apparecchiatura, la tipologia e la precisione del sensore, presentano ovviamente, dei gradi di incertezza, nella misurazione della grandezza fisica, tuttavia quest'ultima viene considerata ma in ogni caso non oltre la terza cifra decimale. Sia per una questione di affidabilità dei dati, uniformità di confronto, che per considerazioni realistiche dell'effettiva natura del dato numerico.
- I dati riportati dai sistemi di acquisizione dei dati sono associati a salti temporali di un minuto, si trascurano quindi, eventuali discontinuità temporali o imprecisioni, dei valori definiti dal rispettivo sensore atto al monitoraggio della grandezza.
- Il sistema di controllo interagisce con gli strumenti posti nel sistema sperimentale, come serrande e ventilatori. Tuttavia, si tralasciano eventuali ritardi o variazioni puntuali di comunicazione tra gli apparati, che potrebbero inficiare in maniera temporanea la misurazione e dunque l'analisi energetica.

Nei paragrafi successivi verranno presentati i principali parametri energetici utilizzati per analizzare il comportamento della facciata ventilata.

## 3.2.1 Efficienza di pre-ventilazione [18]

$$\eta_{PH} = rac{T_{up} - T_{interna}}{T_{interna} - T_{esterna}}$$

- $T_{up}$  è la temperatura dell'aria all'interno della camera della facciata ventilata misurata nella parte alta, dai corrispettivi sensori definiti precedentemente C1-C2-C3; in seguito, è stata eseguita la media aritmetica di questi tre valori in modo da ottenere un unico valore dell'aria, che sarà considerato il valore di temperatura che l'aria possiede quando entra all'interno dell'ambiente interno.
- $T_{interna}$  è la temperatura dell'aria interna nella stanza del sistema sperimentale, monitorata dal sensore definito precedentemente C6.
- ullet  $T_{esterna}$  è la temperatura dell'aria esterna, acquisita dallo strumento definito precedentemente C7.

L'efficienza di pre-ventilazione rappresenta un parametro per qualificare la capacità della facciata ventilata di poter preriscaldare l'aria all'interno della camera ventilata prima di essere successivamente immessa in ambiente o inviata ad una zona di raccolta per un successivo trasferimento ad un impianto HVAC. Dunque, attraverso il valore di questa relazione di efficienza è possibile avere una prima visione generale sul comportamento della facciata durante i diversi giorni di funzionamento, al variare di particolari grandezze fisiche, come la presenza di radiazione solare, il tutto in base alla strategia di funzionamento in esame. L' $\eta_{PH}$  rappresenta il rapporto tra il flusso entalpico riferito all'aria che fluisce all'interno della facciata ventilata, rispetto al flusso entalpico richiesto per riscaldare l'aria necessaria per la ventilazione, e dunque per compensare le cosiddette perdite per ventilazione. Seguendo quest'ottica è possibile discretizzare alcune casistiche in base al valore del parametro:

- $\eta_{PH}$  < 0, caso in cui la temperatura dell'aria nella parte alta della camera ventilata, dunque  $T_{up}$  è inferiore alla  $T_{interna}$ , configurando il caso in cui non è conveniente immettere l'aria in ambiente, in quanto non vi è recupero termico. [18]
- $\mathbf{0} < \eta_{PH} < \mathbf{1}$ , in questo frangente, la  $T_{up}$  è inferiore rispetto la  $T_{interna}$ , ma comunque maggiore rispetto al caso precedente, dimostrando dunque che la facciata ventilata ha effettivamente riscaldato l'aria attraverso il passaggio nella camera ventilata, permettendo dunque di pre-riscaldare l'aria, attuare un recupero termico e quindi, compensare in parte le perdite per ventilazione, tuttavia si necessita di un riscaldamento supplementare per compensare completamente le perdite per ventilazione. [18]

- $\eta_{PH}$  = 1, in questo momento in cui il valore di efficienza è unitario, si configura la situazione per cui la facciata ventilata produce dell'aria a temperatura uguale alla  $T_{interna}$ , permettendo quindi un recupero di calore completo ed una conseguente compensazione delle perdite per ventilazione, non rendendo necessario l'apporto di un sistema di riscaldamento successivo prima dell'immissione dell'aria in ambiente. [18]
- $\eta_{PH}$  > 1, la facciata ventilata riesce a riscaldare l'aria della facciata ventilata ad una  $T_{up}$  >  $T_{interna}$ , configurando un recupero di calore completo, non solo compensando le perdite per ventilazione, ma fornendo un apporto extra di calore al sistema di riscaldamento, utile per coprire anche se in parte le altre perdite, ad esempio come le perdite per trasmissione attraverso l'involucro edilizio. In questo caso, come in quello precedente, la facciata ventilata rappresenta una effettiva sostituzione del sistema di riscaldamento dell'aria per l'aspetto della ventilazione. [18]

## 3.2.2 Efficienza di riscaldamento della camera ventilata [19]

$$\eta_{sol} = \frac{\emptyset_{supply}}{\emptyset_{sol}} = \frac{Q * c_p * (T_{up} - T_{down})}{\emptyset_{sol}}$$

- $\emptyset_{supply}$  è la potenza energetica in termini di calore introdotta all'interno della stanza interna, dalla facciata ventilata, per via del riscaldamento dell'aria durante il suo passaggio nella camera ventilata, grazie alla presenza della radiazione solare che riscalda a sua volta l'involucro edilizio ceramico esterno.
- $\emptyset_{sol}$  è la potenza energetica sotto forma di radiazione solare che durante il giorno colpisce la superficie ceramica esterna della facciata ventilata, riscaldandola ed aumentando la temperatura del materiale ceramico in sé, che a sua volta cede calore all'aria all'interno della camera ventilata.
- Q è la portata di aria in  $\frac{m^3}{s}$ , intesa come portata d'aria di rinnovo, per motivazioni igienico-sanitarie, con valore fisso di  $108 \, \frac{m^3}{h}$ , valore di riferimento per il ricambio dell'aria per ambienti dedicati ad usi ospedalieri secondo la norma spagnola del DBSI e del RITE-IDA1.
- $c_p$  è il calore specifico dell'aria a pressione costante, definito per semplicità con un valore fisso di 1005  $\frac{J}{Kg*K}$ .
- ullet  $T_{up}$  è la temperatura dell'aria all'interno della camera della facciata ventilata misurata nella parte alta, dai corrispettivi sensori definiti precedentemente C1-C2-

C3; in seguito, è stata eseguita la media aritmetica di questi tre valori in modo da ottenere un unico valore dell'aria, che sarà considerato il valore di temperatura che l'aria possiede quando entra all'interno dell'ambiente interno.

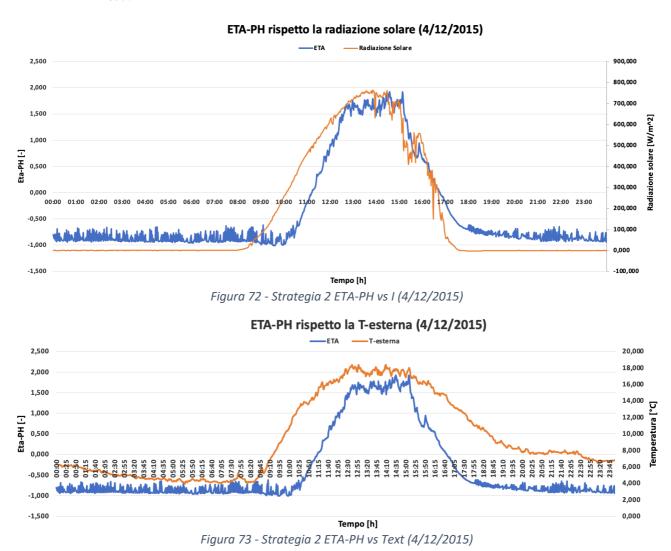
•  $T_{down}$  è la temperatura dell'aria all'interno della camera della facciata ventilata misurata nella parte bassa, nel punto di immissione dell'aria esterna all'interno della facciata ventilata, valore acquisito attraverso i sensori definiti precedentemente S5-S6; successivamente è stata prodotta la media aritmetica dei valori registrati, al fine di ottenere un unico valore di temperatura che identifichi questo parametro.

L'efficienza di riscaldamento della facciata ventilata costituisce un parametro per identificare la capacità della facciata ventilata di poter trasferire l'energia termica sotto forma di calore ricevuta dalla radiazione solare alla camera d'aria, in modo da riscaldare l'aria all'interno della camera d'aria. Naturalmente, diversi sono i fattori che incorrono al miglioramento di questa relazione, come la tipologia del materiale ceramico, quindi spessore, capacità di assorbimento della radiazione solare, colore superficiale, calore specifico, ma anche spessore della camera d'aria, nonché la presenza dei supporti per la struttura della facciata ventilata. In seguito, fattori variabili come inclinazione della radiazione incidente, temperatura esterna dell'aria, presenza di vento, sono alcuni delle altre variabili che possono influenzare l'efficienza di riscaldamento della facciata ventilata. Il parametro  $\eta_{sol}$  può assumere valori compresi tra 0 ed 1, in cui si ha un valore nullo, nella configurazione per cui tutta l'energia termica ricevuta dalla facciata ventilata non è trasferita all'aria presente nella camera ventilata, mentre il caso opposto rappresenta un completo trasferimento dell'energia. Per convenzione, verrà trasformato il valore in percentuale per visualizzare intuitivamente la quantità di calore trasferito, rispetto alla quota ricevuta dalla radiazione solare. [19]

## 3.2.3 Risultati ed analisi dei parametri

## Strategia di tipo 2:

Il calcolo delle efficienze precedentemente esposte è stato effettuato per tutti i giorni riferiti ad una specifica strategia di funzionamento, nel caso in esame, per la configurazione di tipo 2 e di tipo 0. A titolo esemplificativo, verrà presentato inizialmente un giorno tipo, in questo caso il 4/12/2015 per cui si sono calcolati l' $\eta_{PH}$  in questa prima sezione ed in seguito verrà presentato l' $\eta_{Sol}$ , per poi in seguito allargare l'analisi ad altri giorni.



In base i dati rilevati il giorno 4/12/2015 è stato possibile elaborare questi grafici, che ci permettono di eseguire delle prime analisi. Naturalmente, il valore del parametro dell'efficienza di preriscaldamento varia durante le ore del giorno, in particolare, in presenza di radiazione solare, la temperatura della camera d'aria inizia a crescere, riscaldando l'aria che in seguito sarà inviata, attraverso gli estrattori, nell'ambiente interno. Durante le ore centrali del giorno, si nota chiaramente che il valore di  $\eta_{PH}$  cresce fino ad essere maggiore di 1, che come esposto precedentemente, rappresenta il punto in cui vi è compensazione completa delle perdite per ventilazione.

Tabella 3 - Analisi ETA-PH strategia 2

Giorno	Radiazione solare Media [W/m^2]	η <sub>PH</sub> MEDIO 9-18	$\eta_{PH}$ >0 [h]	η <sub>PH</sub> >0,5 [h]	η <sub>PH</sub> >1 [h]	Percentuale di compensazione totale [%]	Percentuale di compensazione 9-18 [%]
4/12/2015	168	0,47	5,6	4,6	3,4	14	38
7/12/2015	72,3	-0,24	2,4	1,3	0,1	0	1
10/12/2015	124,6	0,217	4,4	3,3	2	8	22
13/12/2015	187,1	0,543	5,7	4,8	3,5	15	39
20/12/2015	60,9	-0,136	2,7	1,6	0,5	2	6
25/12/2015	90,6	-0,121	3,5	1,7	0	0	0
28/12/2015	76,7	-0,217	1,9	1,3	0,9	4	10
31/12/2015	63,8	-0,2	3	0,5	0	0	0
03/01/2016	11,9	-0,548	0	0	0	0	0
6/01/2016	104,9	-0,459	0,7	0	0	0	0
9/01/2016	132	0,938	3,7	3,6	3,4	14	38
12/01/2016	211	0,475	5,9	4,8	3,6	15	40
15/01/2016	104	0,269	4	3	1,9	8	21
18/01/2016	187,3	0,958	5,4	4,6	3,4	14	38
23/01/2016	137,5	0,421	5	4	3,3	14	37
26/01/2016	65	-0,296	2,2	0,7	0	0	0
29/01/2016	15	-0,7	0	0	0	0	0
1/02/2016	201	4,048	7,4	6,9	6,5	27	72
11/02/2016	114,8	0,788	6,4	3,5	2,6	11	29
14/02/2016	88,4	0,264	3,9	3,1	2,4	10	27
17/02/2016	217,5	0,568	6,8	5	3,8	16	42
20/02/2016	217,4	1,279	7,2	6,4	5,7	24	63
23/02/2016	200,4	3,183	7,7	7,2	6,7	28	74
26/02/2016	88,5	-0,142	2,9	0,8	0	0	0
03/03/2016	201,3	4,143	6,9	5,5	5,1	21	57
6/03/2016	148,7	0,229	6,5	1,9	1	4	11
19/03/2016	20	-0,664	0	0	0	0	0
20/03/2016	187,5	1,05	7,2	6,3	5,4	23	60
25/03/2016	142	1,555	7,5	6	5,4	23	60
26/03/2016	174	1,478	8,7	7,6	6,8	28	76
05/04/2016	26,5	-0,168	0	0	0	0	0
6/04/2016	166,6	1,57	7,5	7	6,3	26	70
11/04/2016	197,7	0,415	6,8	5,5	2,7	11	30
12/04/2016	161,9	0,96	7,6	6	5	21	56
17/04/2016	164	0,565	9,5	7,6	5,8	24	64
25/04/2016	180,7	0,186	7,2	4,9	1,7	7	19

Esaminando i valori di  $\eta_{PH}$ , dunque quando si configura una condizione di effettivo apporto in termini energetici della facciata ventilata, è possibile capire in quali ore del giorno, vi è una miglioria e soprattutto per quanto tempo, concretizzando il vantaggio di preriscaldamento per il sistema di generazione di calore. Per ottenere questa visione, è stato eseguito un filtraggio dei dati, tra le ore 9:00 e le ore 18:00, considerato come arco di tempo durante il quale potrebbe essere presente la radiazione solare, e dunque è più coerente quantificare il valore di efficienza di preriscaldamento, in quanto si elidono le ore notturne in cui non vi è alcun apporto di recupero termico, per tutti i giorni della strategia di tipo 2. Analizzando la tabella presentata precedentemente è possibile osservare che, per i diversi giorni, in presenza di radiazione solare, vi è un effettivo aumento del valore di  $\eta_{PH}$  depurato nelle ore 9:00-18:00. Nel giorno 4/12/2015, questo corrisponde ad un valore medio di radiazione solare di circa 168  $\frac{W}{m^2}$ , con un  $\eta_{PH}$  (9-18) di 0,47.

Entrando ancor di più nel dettaglio, sono state identificate le ore per cui il parametro  $\eta_{PH}$  è maggiore di 0 – 0,5 ed 1. Si nota che per 5,6 ore durante tutto il giorno il valore dell'efficienza è maggiore di 0, mentre per 3,4 ore  $\eta_{PH}$  supera il valore unitario. In questo modo è possibile affermare che la facciata ventilata, in questo giorno specifico, riesce a compensare le perdite per ventilazione, per un 14 % considerando tutte le 24 ore del giorno, mentre se si considera l'effettivo arco di tempo per cui si potrebbe avere a disposizione la radiazione solare, quindi dalle ore 9:00 alle ore 18:00, l'apporto della facciata ventilata in termini di preriscaldamento dell'aria sale fino ad un valore pari al 38 %.

In conclusione, questo significa che durante le ore centrali del giorno, o comunque in presenza di radiazione solare, la facciata ventilata aiuta per poco meno della metà del tempo il sistema di riscaldamento dell'ambiente interno, risultando un valido alleato alla riduzione dei consumi energetici e di conseguenza delle emissioni di  ${\it CO}_2$  in ambiente.

Studiando gli altri giorni, vi sono chiaramente dei giorni di apporto pressoché nullo da parte della facciata ventilata, dovuto principalmente alla mancanza di radiazione solare, mentre per altri giorni, in cui vi si trova la condizione opposta, quindi giorni soleggiati, il valore di  $\eta_{PH}$  depurato cresce sensibilmente, aumentando così le ore in cui la facciata ventilata rappresenta un supporto per il sistema di riscaldamento, raggiungendo valori superiori al 50% come compensazione delle perdite di ventilazione, durante l'arco di tempo 9-18. Questa condizione è stata evidenziata nei giorni in verde, per cui la percentuale di compensazione supera il 50%, con picchi del 76%. I giorni evidenziati in blu, sono quei giorni scelti per un confronto con la strategia di tipo 0, che verrà esposta successivamente.

E' possibile però, definire alcuni dettagli da considerare, infatti vi sono comunque giorni che in comparazione con gli altri, presentano valori di radiazione solare più bassi o più alti, ma che non presentano valori congrui di efficienza di preriscaldamento, e conseguentemente un apporto significativo in percentuale, questo perché vi potrebbe essere la presenza di altri fattori che possono influenzare l'efficacia del sistema, del riscaldamento dell'aria oppure del rilevamento dei dati, ad esempio come la presenza del vento che va a raffreddare la superficie del materiale ceramico nonostante la presenza di una giornata fortemente soleggiata; allo stesso modo la temperatura esterna potrebbe essere un'altra causa di influenza di questi dati, ed infine è necessario considerare anche fenomeni di inerzia termica, per cui periodi continuativi ad alta radiazione solare presentano dei risultati ritardati, vedasi i giorni 18/01/2016 e 23/01/2016 per cui si ha un valore diverso di  $\eta_{PH}$ 

depurato, a causa di una diversa quantità di radiazione solare media, ma comunque si presentano valori di apporto al sistema di riscaldamento in termini di compensazione delle perdite di ventilazione nell'arco di tempo 9-18, prossimi al 38 %.

Per una maggior completezza, vengono adesso presentati gli andamenti di  $\eta_{PH}$  rispetto alla radiazione solare, di alcuni dei giorni migliori in termini di efficienza della facciata ventilata.

#### ETA-PH rispetto la radiazione solare (12/01/2016)

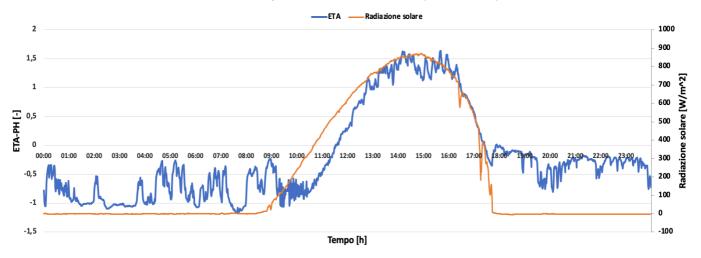


Figura 74 - Strategia 2 ETA-PH vs I (12/01/2016)

## ETA-PH rispetto la radiazione solare (23/02/2016)

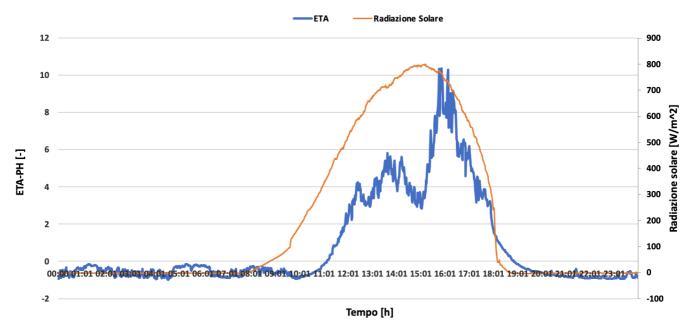


Figura 75 -Strategia 2 ETA-PH vs I (23/02/2016)

## ETA-PH rispetto la radiazione solare (25/03/2016)

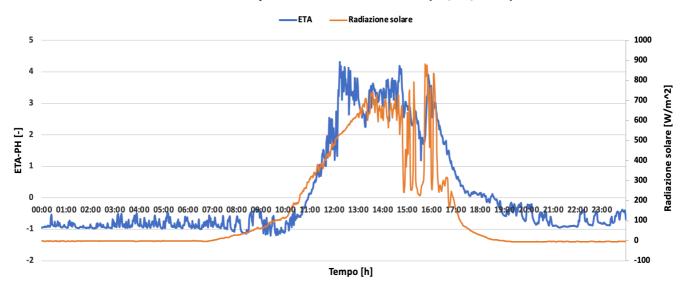


Figura 76 - Strategia 2 ETA-PH vs I (25/03/2016)

## 

Figura 77 - Strategia 2 ETA-PH vs I (6/04/2016)

L'andamento dell' $\eta_{PH}$  è molto dipendente dalla presenza della radiazione solare, infatti come è possibile notare il giorno 25/03/2016, un abbassamento dell'intensità, ad esempio dovuto a presenza di nuvole, comporta anche una riduzione del valore dell'efficienza, seppur momentaneo. Inoltre, si nota che i valori raggiungibili dal parametro, in alcuni casi superano ampiamente il valore unitario, questo significa che la facciata ventilata con determinate condizioni atmosferiche, come la radiazione solare, riesce a garantire un apporto al sistema di riscaldamento, capace di compensare non solo le perdite per ventilazione ma anche di fornire un aiuto per coprire le perdite per trasmissione attraverso l'involucro, anche se in parte e per poco tempo.

Un altro parametro molto importante che esprime l'efficienza di riscaldamento dell'aria nella camera ventilata è l'  $\eta_{sol}$ . Il suo valore, ci permette di capire la capacità della facciata ventilata di sfruttare il calore che arriva attraverso la radiazione solare che colpisce il materiale ceramico esternamente, trasferendolo all'aria all'interno della camera ventilata, cioè all'aria contenuta nell'intercapedine tra le due pareti verticali quella più esterna, considerata come la "seconda pelle" e quella più interna.

Questo fenomeno di trasferimento del calore è di rilevante importanza, poiché una sua bassa efficienza, renderebbe molto più complicato il recupero termico e di conseguenza il preriscaldamento dell'aria prima dell'immissione in ambiente. Il processo può essere influenzato da diversi fattori, come la presenza di nuvole che riducono la radiazione solare, presenza di vento, ma anche proprietà intrinseche del materiale ceramico come la conducibilità termica, calore specifico, coefficiente di assorbimento della radiazione solare, parametri di inerzia termica, ecc...

Nel grafico sottostante viene presentato l'andamento di questo parametro per il giorno 4/12/2015, il primo giorno in cui è stata configurata la strategia di tipo 2, rispetto la presenza della radiazione solare. Inoltre, è stato eseguito un focus nelle ore centrali del giorno, in cui si aveva una radiazione solare almeno superiore a  $300 \, \frac{W}{m^2}$ , in modo che si sarebbero ottenuti dei valori congrui e plausibili per stimare l'efficienza di riscaldamento della camera ventilata. Si può notare che l'andamento dell'  $\eta_{sol}$  varia in base all'intensità della radiazione solare, ma tuttavia presenta un andamento abbastanza costante per un periodo di tempo, dalle 11:45 alle 15:10, pari circa al valore di 0,6. Successivamente, nell'ultima parte dell'arco di tempo considerato, la radiazione solare diminuisce, ed il valore di  $\eta_{sol}$  cresce, probabilmente per motivazioni legate ad un effetto di inerzia termica, in quanto, il calore accumulato durante le ore precedenti viene rilasciato all'aria nell'intercapedine, quando il materiale ceramico si raffredda leggermente dovuto alla riduzione di radiazione solare.

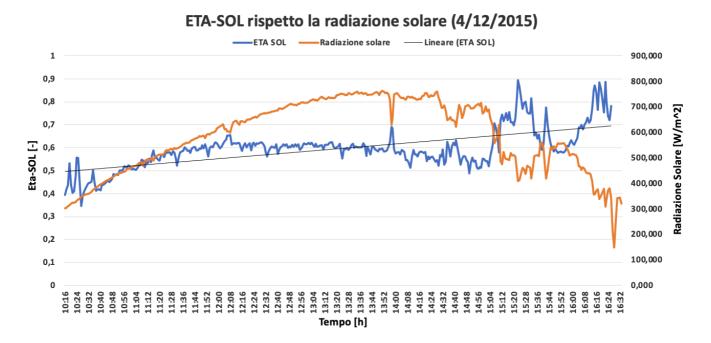


Figura 78 -Strategia 2 ETA-SOL vs I (4/12/2015)

Nei successivi due grafici viene presentato l'andamento del parametro  $\eta_{sol}$  rispetto la radiazione solare e la temperatura superficiale del materiale ceramico, rilevata dai sensori S3-S4, a cui successivamente è stata applicata la media aritmetica al fine di ottenere un unico valore su cui basare l'analisi. Il confronto tra i due grafici ci permette di valutare l'efficienza di riscaldamento dell'aria nell'intercapedine, con una condizione di base che prevede un certo valore di radiazione solare e temperatura superficiale.

## ETA-SOL rispetto la radiazione solare (1/02/2016)

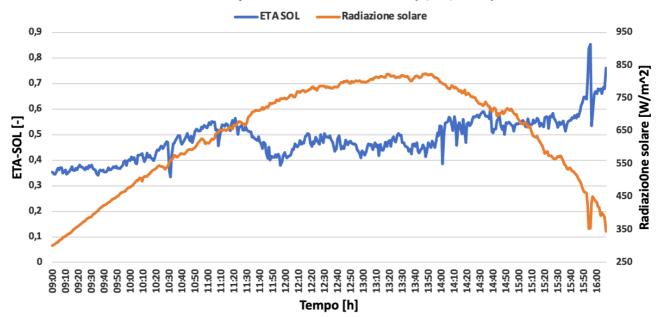


Figura 79 - Strategia 2 ETA-SOL vs I (1/02/2016)

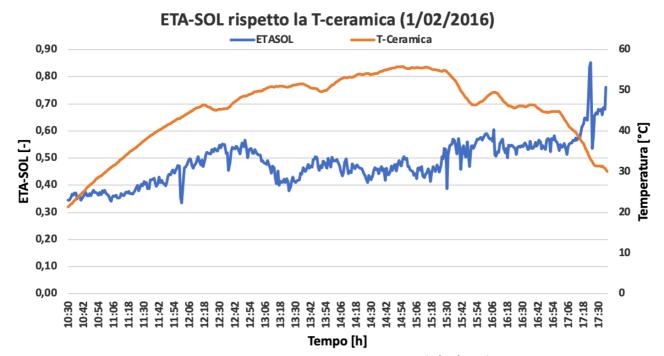


Figura 80 - Strategia 2 ETA-SOL vs T-ceramica (1/02/2016)

Nel giorno in esame 1/02/2016, si può affermare che si raggiungono valori massimi di radiazione solare di circa  $800 \ \frac{W}{m^2}$ , che comportano una temperatura superficiale del materiale ceramico, con picchi superiori ai  $50 \ ^{\circ}$ C. In queste condizioni si nota che il valore di  $\eta_{sol}$  si attesta sui valori 0,45-0,55. Dunque, è plausibile affermare che circa il 50% dell'energia che arriva alla facciata ventilata attraverso la radiazione solare, viene in seguito trasferita all'aria nell'intercapedine per essere riscaldata. Considerando, che si tratti di un sistema con materiale ceramico opaco, seppur con colorazione superficiale nera, non si è sullo stesso livello di un vetro trasparente, tuttavia si tratta di valori accettabili.

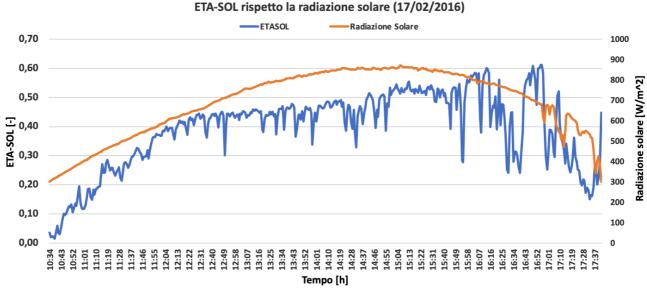


Figura 81 - Strategia 2 ETA-SOL vs I (17/02/2016)

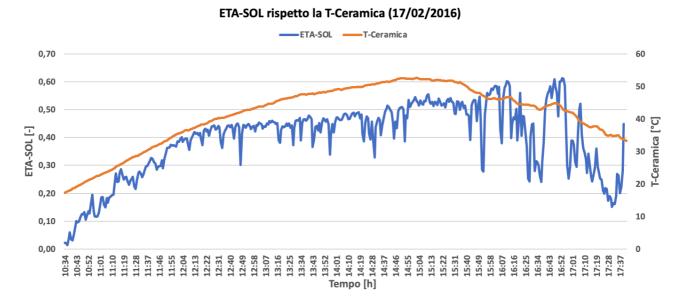


Figura 82 - Strategia 2 ETA-SOL vs T-ceramica (17/02/2016)

Nel giorno 17/02/2016 si hanno dei valori di  $\eta_{sol}$  all'interno dell'intervallo 0,4-0,5. In leggera riduzione, forse attribuita ad un valore di temperatura superficiale del pezzo ceramico lievemente inferiore, oppure a presenza di vento, rispetto al caso analizzato in precedenza.

#### ETA-SOL rispetto la radiazione solare (6/04/2016)

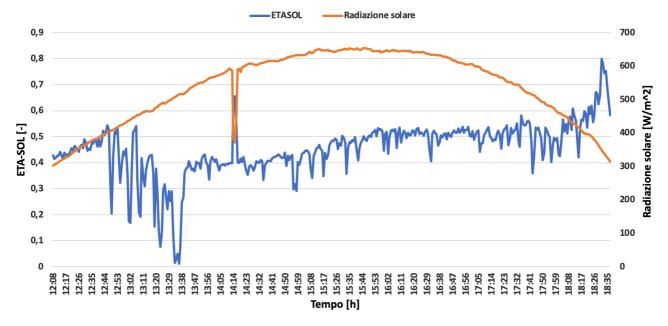


Figura 83 - Strategia 2 ETA-SOL vs I (6/04/2016)

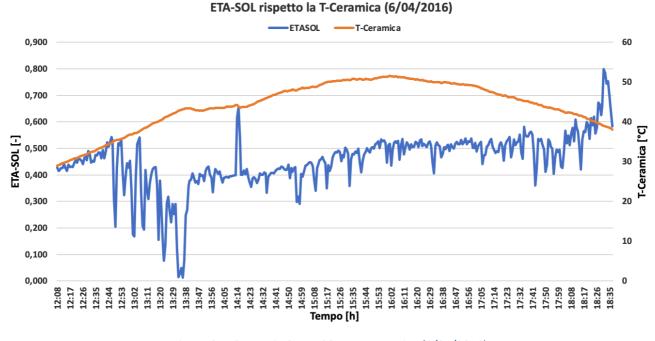


Figura 84 - Strategia 2 ETA-SOL vs T-ceramica (6/04/2016)

Nell'arco di tempo analizzato riguardo al giorno 6/04/2016 l'efficienza di riscaldamento dell'aria nell'intercapedine si conferma, seppur con un andamento instabile, ad un valore di circa 0,5.

#### ETA-SOL rispetto la radiazione solare (20/03/2016)

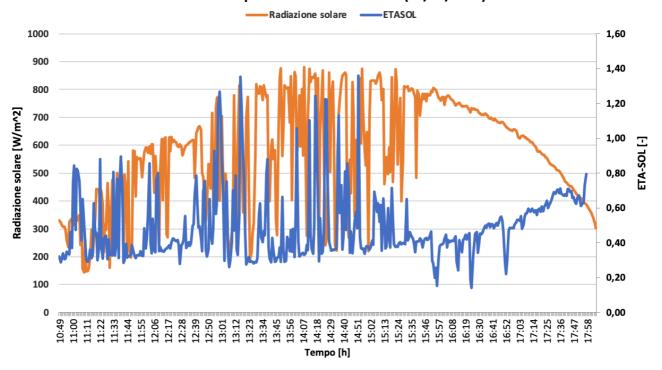


Figura 85 - Strategia 2 ETA-SOL vs I (20/03/2016)

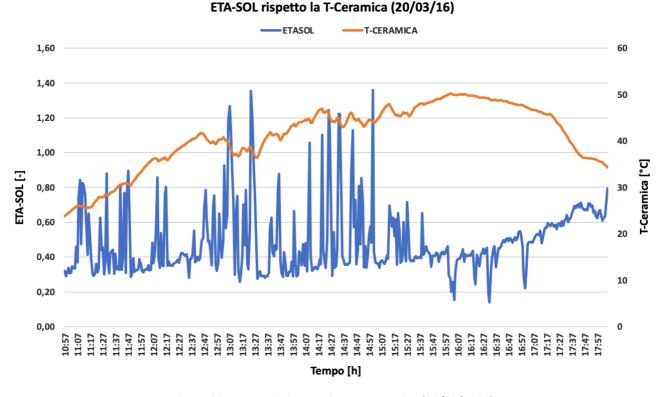


Figura 86 - Strategia 2 ETA-SOL vs T-ceramica (20/03/2016)

In quest'ultimo caso esposto, si è cercato di focalizzare l'attenzione sull'effettiva dipendenza del parametro rispetto la presenza o l'assenza della radiazione solare. Da notare come, la presenza di nuvole che rendono intermittente la radiazione solare, comportano un andamento notevolmente altalenante di  $\eta_{sol}$ , per cui è difficile definire un valore definitivo.

## Strategia di tipo 0:

Questa configurazione di funzionamento rappresenta la condizione di referenza iniziale, su cui basare le successive analisi di miglioria apportate dalla facciata ventilata. Come mostrato in precedenza, in questa condizione di funzionamento, gli estrattori comunicanti con l'ambiente interno non sono aperti, per cui l'aria all'interno della facciata ventilata non viene sfruttata ai fini di recupero termico per andare a compensare le perdite per ventilazione. È interessante, tuttavia, capire le minime o marcate differenze rispetto alla strategia di tipo 2, in cui la facciata viene appunto, utilizzata con lo scopo di supporto al sistema di riscaldamento. I parametri di efficienza esposti precedentemente come l' $\eta_{PH}$  e l' $\eta_{Sol}$ , saranno il filo conduttore per una analisi, per quanto possibile comparativa. A titolo illustrativo è stato scelto il giorno 30/01/2016 per poter inizialmente analizzare l'efficienza di preriscaldamento dell'aria nella camera ventilata.

## ETA-PH rispetto la radiazione solare (30/01/2016)

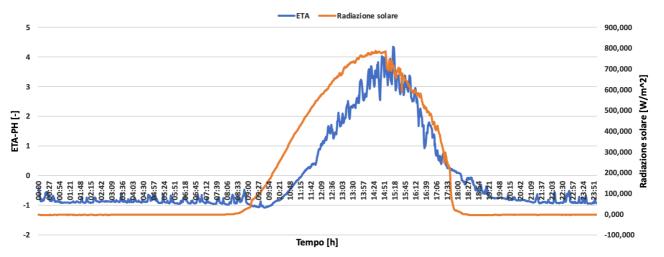


Figura 87 - Strategia 0 ETA-PH vs I (30/01/2016)

#### ETA-PH rispetto la T-esterna (30/01/2016)

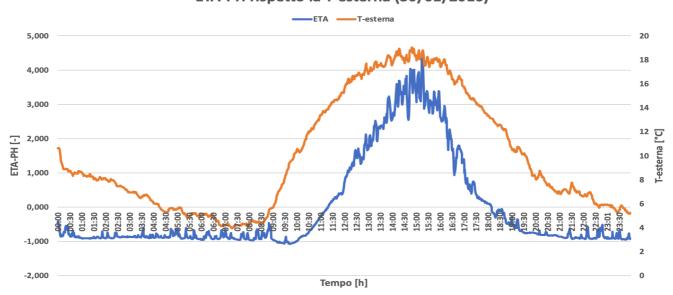


Figura 88 - Strategia O ETA-PH vs Text (30/01/2016)

Tabella 4 - Analisi ETA-PH Strategia 0

Giorno	Radiazione solare Media [W/m^2]	η <sub>PH</sub> MEDIO 9-18	η <sub>PH</sub> >0 [h]	η <sub>PH</sub> >0,5 [h]	η <sub>PH</sub> >1 [h]	Percentuale di compensazione totale [%]	Percentuale di compensazione 9-18 [%]
2/12/2015	143,4	0,605	5,8	4,4	3,4	14	38
5/12/2015	130	0,499	5,4	4,4	3,5	15	39
8/12/2015	169	1,602	6,5	5,9	5,3	22	59
11/12/2015	26,4	-0,434	0,4	0	0	0	0
14/12/2015	116,4	0,445	4,8	3,4	2,6	11	29
23/12/2015	16,4	-0,623	0	0	0	0	0
26/12/2015	170,3	0,938	6,4	5,5	4,8	20	53
29/12/2015	67,4	-0,045	5,9	0,4	0	0	0
1/01/2016	67,3	-0,297	2	0,4	0	0	0
4/01/2016	14,3	-0,377	0	0	0	0	0
7/01/2016	17,6	-0,885	0	0	0	0	0
10/01/2016	28,6	-0,812	0	0	0	0	0
13/01/2016	142,6	0,45	5,4	4	3,1	13	34
16/01/2016	228,6	0,064	6,2	0	0	0	0
19/01/2016	120,5	0,297	4,9	4,1	2,1	9	23
24/01/2016	161	0,83	6,7	5,3	4,2	18	47
27/01/2016	147,3	0,803	6,7	5,8	4,6	19	51
30/01/2016	183,4	1,237	6,9	5,5	4,9	20	54
9/02/2016	87,6	0,119	4,2	3,1	2,2	9	24
12/02/2016	35,8	-0,329	2,2	0,1	0	0	0
15/02/2016	223,5	-0,007	6,4	0,3	0	0	0
18/02/2016	51,1	-0,371	1,7	0,7	0	0	0
21/02/2016	144,4	1,068	5,6	4,9	4,4	18	49
24/02/2016	168,8	1,886	7,6	6,3	5,4	23	60
27/02/2016	30,2	-0,688	0	0	0	0	0
1/03/2016	202	2,426	7	6,2	5,8	24	64
4/03/2016	127,3	0,426	7,5	4,5	1,8	8	20
16/03/2016	103,7	-0,21	4,1	0	0	0	0
21/03/2016	175,6	0,937	6,6	5,5	5	21	56
1/04/2016	93,3	-0,098	3,8	0,8	0,1	0	1
2/04/2016	199,7	1,109	7,7	6,3	5,4	23	60

7/04/2016	190,9	1,04	7,1	6,5	6,1	25	68
8/04/2016	207,8	0,027	7,7	0,2	0	0	0
13/04/2016	191,6	0,814	8,8	7,7	6,6	28	73
14/04/2016	187,5	1,04	8,2	7,3	6,2	26	69
21/04/2016	163,7	0,687	8,5	6,7	4,7	20	52
22/04/2016	75,2	0,04	6,4	1,4	0,9	4	10
29/04/2016	71	-0,032	4,9	0,2	0	0	0

I risultati ottenuti riguardanti l'efficienza di preriscaldamento sono presentati nella tabella soprastante. L'arco di monitoraggio in cui è stata utilizzata la strategia di tipo 0, è pressoché simile alla strategia di tipo 2. Naturalmente, come motivato in precedenza, i giorni non sono uguali, ma proprio a questo proposito sono stati scelti alcuni di essi, in tabella sono evidenziati in blu, che presentano caratteristiche climatiche simili al fine di poter eseguire un confronto tra le due strategie differenti, evidenziandone gli eventuali vantaggi presentati da una condizione di funzionamento rispetto ad un'altra.

Soffermandoci a questo livello di paragone, non è possibile notare notevoli differenze, infatti si manifestano anche in questo caso, giorni con comportamenti poco soddisfacenti, e dunque con recupero termico ed efficienza nulli, mentre sono presenti giorni con una percentuale di compensazione delle perdite per ventilazione superiori al 50 %, se analizzate rispetto all'arco di tempo dalle ore 9:00 alle ore 18:00.

Tuttavia, esaminando gli andamenti dell'efficienza di riscaldamento dell'aria nell'intercapedine della facciata ventilata, si può notare qualche differenza rilevante. Per questo, sono raffigurati nei grafici successivi, gli andamenti del parametro  $\eta_{sol}$  rispetto la presenza della radiazione solare. Di seguito, dunque sono riportati i grafici di alcuni giorni in cui è possibile analizzare questa peculiarità della strategia di tipo 0 rispetto alla di tipo 2.

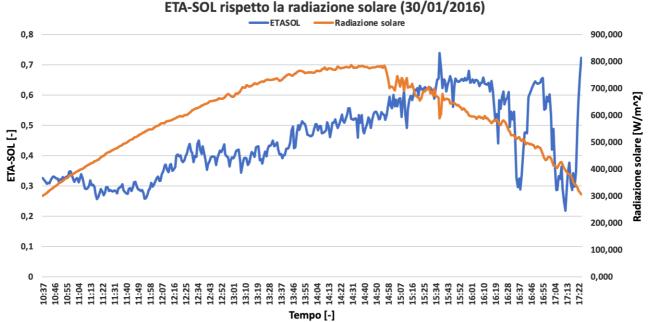


Figura 89 - Strategia 0 ETA-SOL vs I (30/01/2016)

#### ETA-SOL rispetto la radiazione solare (2/04/2016)

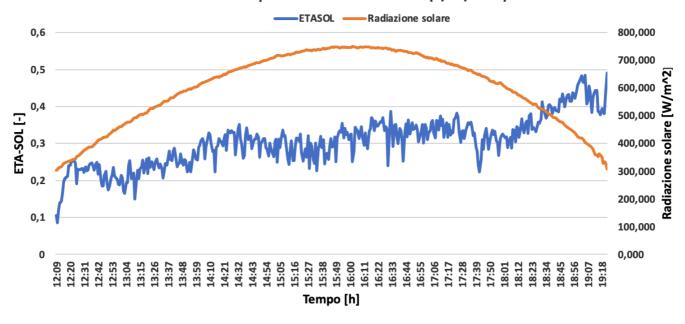


Figura 90 - Strategia 0 ETA-SOL vs I (2/04/2016)

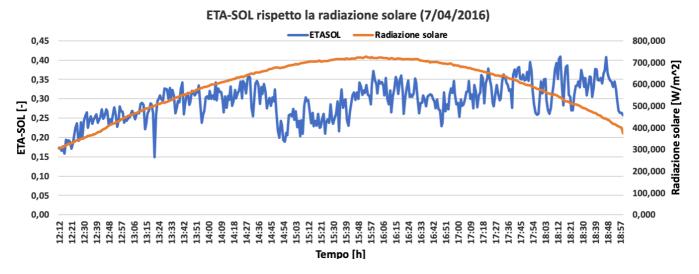


Figura 91 - Strategia 0 ETA-SOL vs I (7/04/2016)

Osservando i valori dell'ETA-SOL mostrati dai grafici soprattutto nei giorni 2 e 7 Aprile 2016, si può affermare che ci si attesta all'interno dell'intervallo 0,25-0,35 con picchi intorno a 0,4-0,45.

In un'ottica di confronto con  $\eta_{sol}$  prodotto dalla strategia di tipo 2, si conviene che vi è una diminuzione rispetto ai valori ottenuti nella configurazione precedente, perciò vi è una riduzione di efficienza passando dalla strategia 2 alla 0, questo potrebbe essere motivato dal fatto che nella condizione di referenza, l'aria all'interno della camera ventilata, non viene sfruttata per recupero termico, quindi si può immaginare che l'aria ristagnando nell'intercapedine col tempo tende a saturarsi, riscaldandosi e raggiungendo un valore massimo di energia accumulabile. Mentre, nella condizione 2, l'aria viene utilizzata per essere inviata all'ambiente interno, dunque il fluido contenuto nella camera ventilata viene ricambiato durante l'arco della giornata, quanto meno nelle ore in cui è presente la radiazione solare, perciò la facciata ventilata riesce ad immagazzinare più energia sotto

forma di calore, aumentando così l'efficienza di riscaldamento dell'aria, ed sfruttando con una maggior efficienza la radiazione solare incidente sulla parte esterna del materiale ceramico.

Dunque, nella configurazione di funzionamento 2, la facciata ventilata riesce con più facilità a trasferire l'energia, ricevuta dalla radiazione solare, all'aria, proprio perché quest'ultima si presenta ad una temperatura più bassa, per via del ricambio necessario per l'immissione in ambiente, creando così un gradiente termico orizzontale che favorisce il riscaldamento; mentre nel caso opposto, la strategia di tipo 0, il gradiente termico orizzontale è inferiore, dunque la facciata ventila ha più difficoltà a trasferire il calore, poiché l'aria nella camera ventilata non possiede ricambio ma ristagna.

In conclusione, si è deciso di proseguire un'analisi di confronto tra queste due tipologie di funzionamento, scegliendo alcuni giorni che presentano condizioni al contorno simili rispetto a:

- Radiazione solare con un valore medio giornaliero di I > 175  $\frac{W}{m^2}$
- Temperatura esterna, che presenti un valor medio giornaliero di 10 °C <  $T_{ext}$  < 17 °C
- Vicinanza dei giorni in ordine cronologico, per quanto possibile, al fine di limitare al massimo eventuali variazioni climatiche esterne

I giorni scelti sono stati evidenziati in blu nelle rispettive tabelle di appartenenza e di seguito saranno presentati i grafici che saranno la base su cui impostare un'analisi di confronto. Il primo confronto tra la strategia di tipo 0 e quella di tipo 2 è riferito rispettivamente ai giorni 30 Gennaio e 1 Febbraio. Vengono messi sotto analisi non solo gli andamenti dei parametri  $\eta_{PH}$  ed  $\eta_{sol}$ , ma anche del consumo di energia necessaria all'impianto di riscaldamento accoppiato al sistema sperimentale, che permette di riscaldare l'ambiente interno fino alla temperatura di comfort, il tutto accompagnato dalla radiazione solare, calcolata come media delle rispettive radiazioni solari dei giorni considerati per ogni strategia.

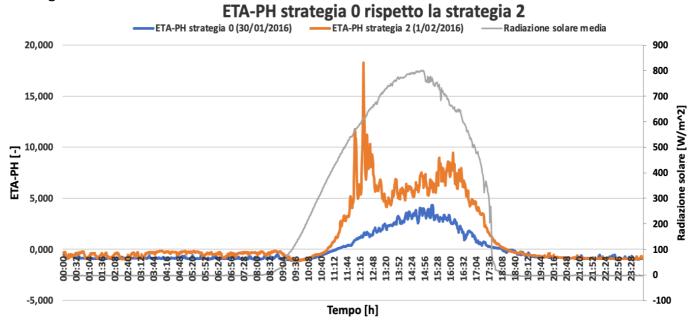


Figura 92 - Confronto 1 ETA-PH

## Consumo impianto riscaldamento strategia 0 rispetto la strategia 2

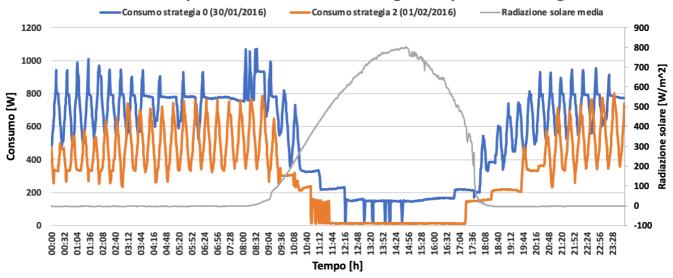


Figura 93 - Confronto 1 Consumo energetico

# ETA-SOL strategia 0 rispetto la strategia 2

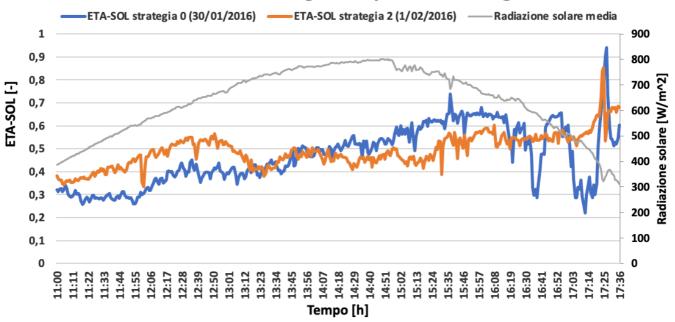


Figura 94 - Confronto 1 ETA-SOL

Esaminando il primo grafico presentato, si può affermare che le curve possono sembrare sovrapponibili, ma osservando i rispettivi valori indicati dagli assi verticali, è evidente che la strategia di tipo 2, possiede sia dei valori assoluti che medi, migliori rispetto all'altra tipologia di funzionamento. Questo comporta un miglior recupero termico all'interno della facciata ventilata e dunque un apporto significativamente più alto al fine di compensare le perdite di ventilazione. Questo giudizio viene confermato, seguendo il secondo grafico, nel quale è possibile notare che nelle ore centrali del giorno, il sistema di riscaldamento viene a spegnersi completamente, richiedendo un apporto energetico complessivo inferiore. Infine, entrando nello specifico delle ore con maggior radiazione solare, studiando l'efficienza di riscaldamento dell'aria nell'intercapedine, gli andamenti sono circa uguali, con leggere

variazioni, tra le due condizioni, in base alle ore considerate e conseguentemente a fattori influenzanti come la radiazione solare.

Il secondo confronto è stato eseguito tra i giorni 20 e 21 del mese di Marzo, rispettivamente per la configurazione di funzionamento di tipo 2 e 0, del sistema sperimentale, mentre per l' $\eta_{sol}$  si è dovuti proseguire su altri giorni, che tuttavia presentano le stesse condizioni, per via di incongruenze dei dati, tra le due configurazioni. Anche in questo caso, osservando i rispettivi assi di riferimento, ci si accorge che l'efficienza di preriscaldamento è leggermente, ma costantemente migliore nella strategia 2, con valore di picco di  $\eta_{PH}$  prossimi a 5, dunque ben oltre al valore unitario che consente di compensare le perdite per ventilazione.

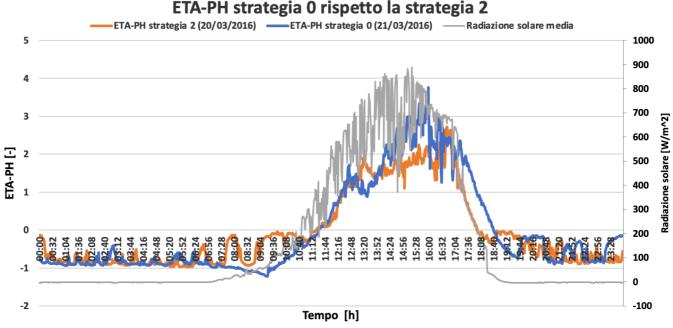


Figura 95 - Confronto 2 ETA-PH

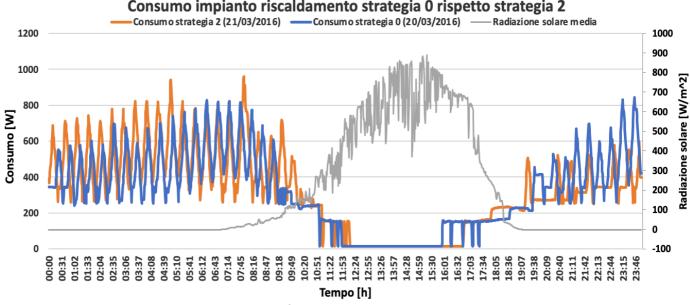


Figura 96 - Confronto 2 Consumo energetico

## ETA-SOL strategia 0 rispetto la strategia 2

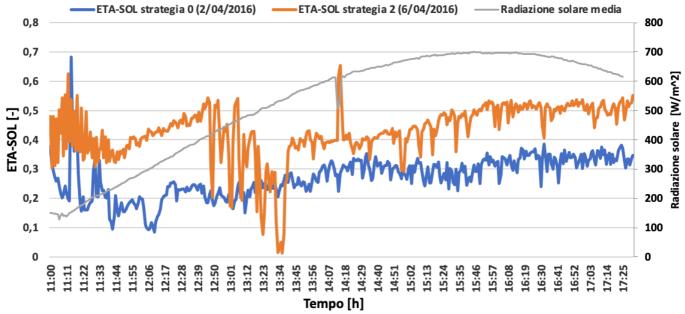


Figura 97 - Confronto 2 ETA-SOL

Il consumo di energia per un riscaldamento supplementare è inferiore nella strategia 2. Nel secondo grafico di questo confronto è possibile notare non solo, un consumo circa nullo, nelle ore di massima radiazione solare, in cui l'apporto della radiazione solare alla facciata è più rilevante, ma anche dei valori medi inferiori nelle altre ore della giornata, come ad esempio nel tardo pomeriggio e serata. Infine, l'efficienza di riscaldamento dell'aria nella camera ventilata è visibilmente maggiore nella strategia di tipo 2, per circa un 5-10 % tralasciando le fluttuazioni ed instabilità, che corrisponde ad una temperatura dell'aria nell'intercapedine più alta.

In conclusione, l'ultimo confronto tra le due strategie è stato realizzato in un periodo di tempo con condizioni climatiche meno fredde, dunque con una temperatura esterna più alta, infatti si parla dei giorni 11 e 13 del mese di Aprile, rispettivamente per la configurazione 2 e 0. Questo dettaglio influisce anche se in parte, sugli andamenti dei parametri, poiché il clima essendo meno rigido, produce una minor difficolta a riscaldare l'ambiente interno, riducendo l'effetto migliorativo della facciata ventilata.



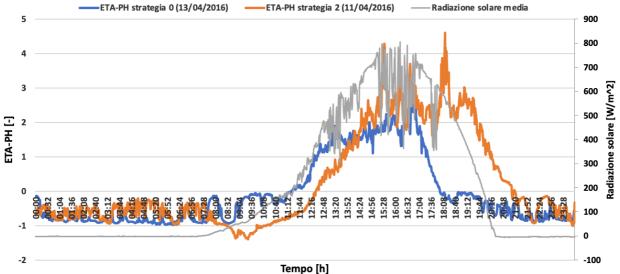


Figura 98 - Confronto 3 ETA-PH

#### Consumo impianto riscaldamento strategia 0 rispetto la strategia 2

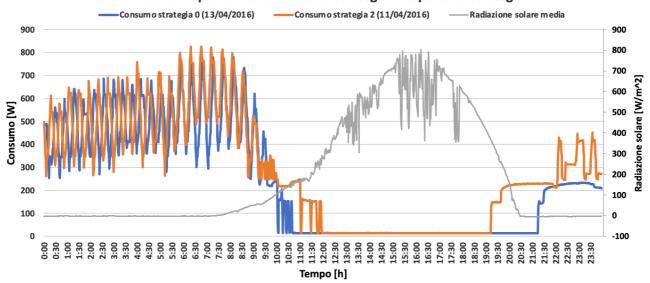


Figura 99 - Confronto 3 Consumo energetico

## ETA-SOL strategia 0 rispetto la strategia 2

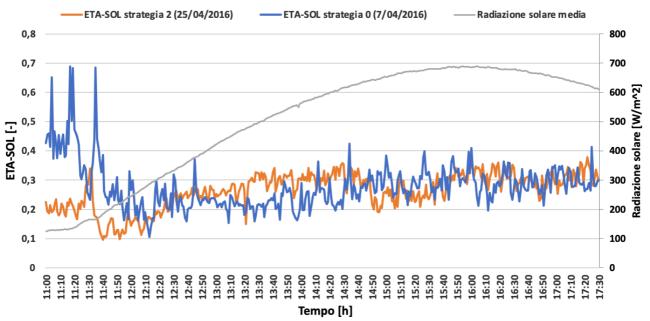


Figura 100 - Confronto 3 ETA-SOL

Una prova di questo concetto può essere notata nel grafico che esprime il consumo dell'impianto di riscaldamento, che presenta lievi differenze tra i due andamenti, riducendo al minimo gli eventuali guadagni energetici ottenuti. Ecco che, delle condizioni climatiche non adatte ad enfatizzare le caratteristiche ed i vantaggi della facciata ventilata rendono le differenze tra la non presenza di questo apparato energetico, rappresentato dalla strategia di tipo 0, e la presenza dello stesso, rappresentato dalla strategia di tipo 2, davvero minime in termini energetici e di conseguenza anche con un piccolo impatto socioeconomico. Infatti, si è proseguita questa analisi con un'ottica di fattibilità energetica di questa soluzione tecnologica, rispetto ad un'applicabilità concreta sul mercato, per una riqualificazione degli edifici, per diminuire i consumi energetici.

# 3.3 Fattibilità energetica

L'idea di implementare la facciata ventilata, come appoggio al sistema di ventilazione e riscaldamento, in grado di fornire un supporto alla richiesta energetica di un ambiente, assieme ad un impianto di riscaldamento localizzato o centralizzato è uno degli obbiettivi di questo elaborato, al fine di dare una finalità concreta a questa soluzione tecnologica, per un'applicazione futura stabile ed efficiente nel mercato energetico. Considerando la tipologia del sistema sperimentale analizzato, può essere paragonato ad un ambiente abitato di tipo unifamiliare, questo permette accoppiare la facciata ventilata ad un impianto di ventilazione localizzato, associato ad un unico ambiente.

Una delle tante soluzioni impiantistiche di ventilazione adatte a questa configurazione è quella proposta dall'azienda "SIBER – Ventilaciòn Inteligente ", con il sistema "VMC Doble Flujo Unifamiliar" capace di poter riscaldare l'ambiente in esame sia in condizioni invernali che di raffrescamento e dunque estive. In guesto caso, il funzionamento dell'apparato permette di raccogliere l'aria dall'esterno, ai fini di mantenere un tasso di rinnovo dell'aria, per motivazioni igienico sanitarie, eseguire un recupero termico attraverso uno scambiatore di calore, con un doppio flusso con l'aria espulsa dall'interno, ed in seguito se necessario verrà riscaldata ulteriormente l'aria fino alla temperatura d'introduzione adatta, prima di essere immessa in ambiente. Il principio di distribuzione dei flussi è esposto nella figura seguente, in cui l'unica variante per poter accoppiare questo sistema con la facciata ventilata, prevede di estrarre l'aria dall'esterno direttamente dalla camera d'aria della facciata ventilata. In questo modo, la temperatura dell'aria esterna non sarà più quella effettivamente esterna, che in condizioni invernali può essere davvero bassa, e gravosa per il sistema di riscaldamento, ma sarà più alta riducendo il carico sul sull'impianto. Infine, è necessario aggiungere una serie di serrande direzionali, al fine di poter indirizzare l'aria ricevuta dalla facciata ventilata oppure dall'esterno.

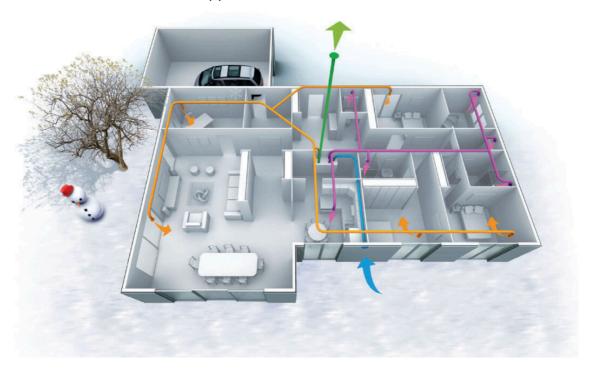


Figura 101 - VMC Doble Flujo Unifamilar SIBER [20]

#### GRAN CONFORT TÉRMICO Y AHORRO DE ENERGÍA:

• En INVIERNO el aire nuevo recupera las calorías del aire viciado que extraemos de la vivienda, gracias a la presencia de un intercambiador térmico (92% de recuperación), ayudando a mantener la temperatura en la vivienda.

Cuando hay 5° C en el exterior y 20° C en el interior, el aire nuevo entra a 19°C.

• En **VERANO** el aire nuevo que entra en la vivienda se enfría gracias al aire viciado que extraemos de la vivienda, gracias a la presencia de un intercambiador térmico ( 92% de recuperación), evitando el recalentamiento de la vivienda.

Cuando hay 30°°C fuera y 21°C en el interior, el aire nuevo entra a 22°C solamente, refrescamiento en verano.

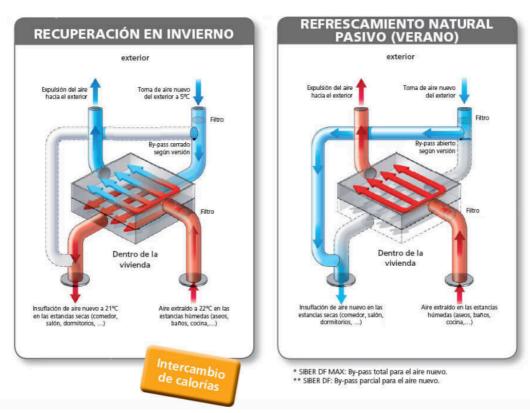


Figura 102 - Principio di funzionamento VMC Doble Flujo Unifamiliar SIBER [20]

Inoltre, nella figura precedente, oltre ad intendere i principi di funzionamento del sistema di recupero del calore, è possibile notare la presenza del sistema di by-pass, che permette in caso la temperatura all'interno della facciata ventilata sia già adeguata per all'immissione in ambiente, di evitare il passaggio nello scambiatore di calore, che come si vedrà nelle successive analisi avverrà nelle ore di intensa presenza di radiazione solare.

A questo proposito sono stati scelti dei giorni, naturalmente appartenenti alla strategia 2, che potessero simulare le differenti condizioni climatiche a cui può essere sottoposto il sistema sperimentale che in questo caso rappresenta un ambiente unifamiliare. I giorni scelti sono stati classificati in tre categorie differenti, che presentano tutte delle caratteristiche differenti:

- TOP I giorni che presentano un andamento della radiazione solare uniforme, con valori di picco molto alti, circa I >  $800 \, \frac{W}{m^2}$  ed inoltre una temperatura esterna dell'aria relativamente bassa 5 °C <  $T_{ext}$  < 12 °C. In generale, condizioni ottimali per sfruttare le potenzialità della facciata ventilata.
- MEDIUM I giorni con caratteristiche di buona qualità in termini di adattabilità ad una facciata ventilata, con un valore di radiazione solare  $300 \frac{W}{m^2} < I < 700 \frac{W}{m^2}$ , con una temperatura esterna dell'aria compresa in un intervallo meno restrittivo 5 °C <  $T_{ext}$  < 17 °C. Dunque, giorni che possiedono delle caratteristiche medie, non ottimali per l'esaltazione di una facciata ventilata.
- FLOP All'interno di questa categoria, rientrano i giorni per cui non si ha avuto radiazione solare, o quantomeno molto bassa, quindi giorni nuvolosi e con poco sole. Con valori di I <  $300 \, \frac{W}{m^2}$ , mentre la  $T_{ext}$  poteva assumere liberamente valori sopra i  $10 \, ^{\circ}$ C.

**GIORNI TOP MEDIUM FLOP** 1 1/02/2016 25/12/2015 3/01/2016 2 17/02/2016 12/01/2016 5/01/2016 3 23/02/2016 26/01/2016 29/01/2016 6/04/2016 26/02/2016 19/03/2016 4

Tabella 5 - Classificazione giorni

Le configurazioni che sono state analizzate prevedono un differente utilizzo dell'aria da parte dell'impianto generale di gestione e riscaldamento dell'aria. A questo proposito sono stati prodotti degli schemi funzionali, che verranno presentati di seguito, per esporre in maniera più chiara il percorso seguito dalla portata d'aria, fino all'immissione in ambiente con la rispettiva temperatura d'introduzione.

Lo schema funzionale di base si compone di 6 nodi principali, con cui poter gestire il flusso d'aria e riscaldarlo prima di inviarlo in ambiente. Naturalmente, tra le differenti configurazioni considerate vi sono dei cambiamenti, attuabili con l'azionamento di serrande nei canali d'aria, attraverso l'apposita comunicazione tra dei sensori ed un opportuno sistema di controllo, sviluppato per queste consegne di funzionamento.

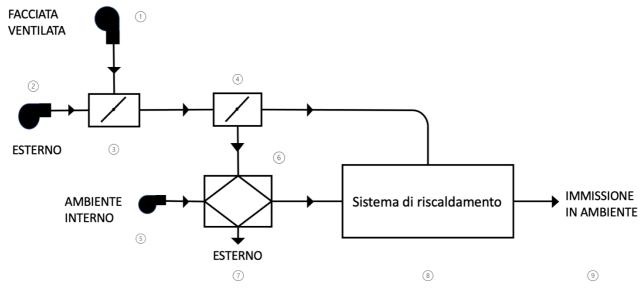


Figura 103 - Schema funzionale di base

Di seguito sono elencate le caratteristiche ed i principi di ogni nodo numerato indicato nello schema funzionale.

- 1. Il nodo 1 rappresenta il ventilatore che estrae l'aria dalla parte alta dell'intercapedine della facciata ventilata, in questa posizione vi è anche posizionato una termocoppia in grado di rilevare la temperatura dell'aria all'interno della camera ventilata, che in determinate condizioni, espresse in seguito, determinerà l'azionamento delle serrande per una particolare configurazione.
- 2. Al secondo punto, vi è l'estrattore che riceve l'aria dall'esterno, con temperatura quella esterna, differente dalle condizioni in facciata ventilata e portata d'aria pari a quella di rinnovo.
- 3. Il nodo 3 è costituito da una valvola composta da una serranda capace di definire il passaggio verso un'unica via d'uscita possibile. Dunque, in base alle indicazioni fornite dal sistema di controllo, la serranda permetterà il passaggio dell'aria proveniente dall'esterno oppure dalla facciata ventilata, in base a quale condizione sia verificata.
- 4. Al nodo 4 vi è un ulteriore valvola composta da una serranda con la quale è possibile inviare la portata d'aria verso il nodo 6, quindi uno scambiatore di calore, oppure al punto 8, in cui è presente il sistema di riscaldamento per poter portare la temperatura dell'aria a quella adeguata all'introduzione in ambiente.
- 5. In questa posizione, è presente il ventilatore che estrae l'aria viziata dall'ambiente interno per espellerla all'esterno, in precedenza però, al fine di recuperare il calore contenuto nell'aria, viene sfruttato uno scambiatore per poter preriscaldare l'aria prima di essere inviata al sistema di riscaldamento.
- 6. Lo scambiatore di calore di tipo a piastre, che mette in comunicazione indiretta due flussi d'aria, uno proveniente dall'ambiente interno e l'altro, può essere dipendendo dalla consegna del sistema di controllo, l'aria esterna oppure l'aria proveniente dalla facciata ventilata.

- 7. Al settimo punto, vi è una delle due uscite dello scambiatore di calore, cioè verso l'esterno, dove l'aria esausta viene espulsa in ambiente esterno, al fine di espellere l'aria viziata e mantenere il bilancio delle portate costante.
- 8. Il sistema di riscaldamento viene inteso come un ulteriore componente capace di poter riscaldare l'aria ricevuta in ingresso, fino alla temperatura di introduzione, definita precedentemente, che per motivi di comfort termoigrometrico degli occupanti è circa fissa ad un valore. Il sistema può essere composto da una batteria di riscaldamento capace di fornire il calore necessario. Inoltre, possiederà un sistema di filtraggio ad alta efficienza, come dei filtri grossolani e filtri HEPA, al fine di poter ripulire l'aria da impurità, sia in caso sarebbe proveniente dall'esterno o dalla facciata ventilata, che dall'eventuale ricircolo dall'ambiente interno, in modo che l'aria immessa in ambiente sia completamente depurata e salubre, rispettando cosi i requisiti igienici della qualità dell'aria ed i requisiti energetici-termici per poter compensare le perdite di calore, per ventilazione e trasmissione. Infine, tutto l'apparato al nodo 8 sarà supportato da un ventilatore proprio capace di poter vincere le cadute di pressione dovute ai filtri e diffusori, in modo da immettere correttamente l'aria in ambiente.
- 9. Al nodo 9, vi è la conclusione di questo circuito, cioè l'immissione in ambiente, per cui tramite uno o più diffusori, l'aria calda e filtrata verrà immessa in ambiente alla temperatura circa quella di introduzione, in modo da non ridurre il comfort termico degli occupanti, anche attraverso una velocità di immissione ottimale per un miscelamento adeguato in ambiente.

# Configurazione 1

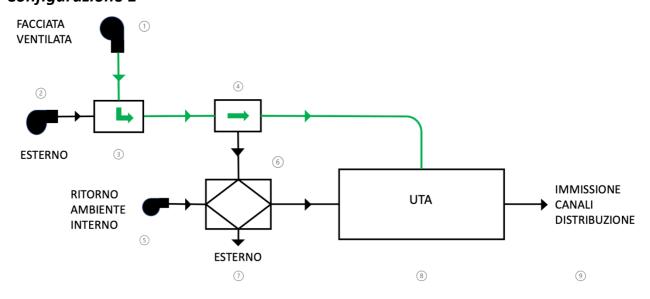


Figura 104 - Schema configurazione 1

In questa configurazione impiantistica, il flusso dell'aria è ben seguibile nello schema funzionale, in quanto l'aria proveniente dalla facciata ventilata viene inviata direttamente al sistema di riscaldamento, senza passare per lo scambiatore di calore o mescolarsi con altri flussi d'aria, in condizioni tal quali a quelle possedute esternamente, con ugual temperatura di quella nell'intercapedine, e portata pari a quella igienica di rinnovo. Questa condizione verrà richiamata nei calcoli e paragrafi successivi con il simbolo [1].

## **Configurazione 2**

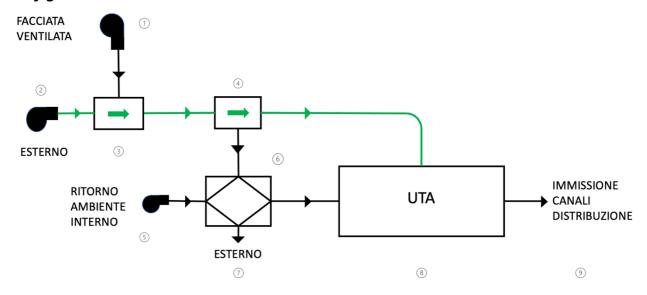


Figura 105 - Schema configurazione 2

L'aria esterna viene inviata direttamente al sistema di riscaldamento, senza subire alcun preriscaldo o essere miscelata con altri flussi. Questa condizione rappresenta una configurazione di base, costituendo il normale funzionamento di un impianto di riscaldamento ad aria, su questa base verranno confrontate le altre possibili configurazioni. Questa condizione verrà richiamata nelle pagine successive con il simbolo [2].

## **Configurazione 4**

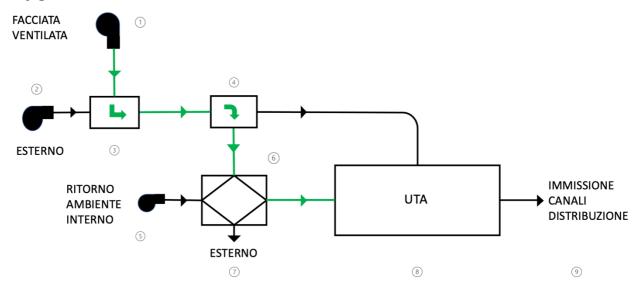


Figura 106 - Schema configurazione 4

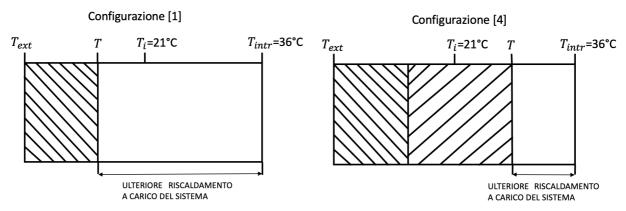
La configurazione 4, è rappresentata dall'utilizzo dell'aria proveniente dalla facciata ventilata, ed in seguito preriscaldata in uno scambiatore di calore, con l'utilizzo dell'aria proveniente dall'ambiente interno e sfruttando il calore ancora contenuto nell'aria espulsa. In questo modo, l'aria in ingresso al sistema di riscaldamento sarà ad una temperatura più alta rispetto alle condizioni [1] e [2], gravando meno sull'impianto per un ulteriore riscaldamento fino alla temperatura d'introduzione. Viene definita configurazione [4],

poiché per congruenza di calcolo la configurazione [3] verrà presentata nel capitolo successivo.

Il principio su cui si basa l'analisi è capire il consumo effettivo dell'impianto di riscaldamento accoppiato al sistema di recupero del calore, nelle differenti condizioni di funzionamento presentate precedentemente.

Per poter standardizzare il processo di funzionamento nei diversi casi, al fine di ottenere un confronto coerente, si è dovuti definire alcune grandezze e condizioni di contorno, per poter basare l'intera analisi su parametri uniformi:

- Temperatura interna di comfort dell'aria impostata a  $T_i$  = 21°C durante i giorni considerati.
- Temperatura d'introduzione in ambiente dell'aria definita a  $T_{intr}$  = 36 °C, al fine di rispettare una regola di buona norma, che predispone una differenza tra la  $T_{intr} T_i$  = 15 o 20 °C, per poter rispettare il comfort interno degli occupanti e di compensare ugualmente le perdite di calore.
- Portata d'aria di rinnovo per rispettare i principi di Indoor Air Quality, fissata a 108  $\frac{m^3}{h}$ , che corrispondono a 0,03  $\frac{m^3}{s}$ .
- La densità dell'aria, considerando l'arco di differenti temperature che può raggiungere, è stata definita ad un valore medio fisso di 1,28  $\frac{Kg}{m^3}$ .
- Il calore specifico dell'aria a pressione costante è inteso circa 1005  $\frac{J}{Ka*K}$ .
- Efficienza del recuperatore di calore SIBER VMC Doble Flujo Unifamiliar è da scheda tecnica 0,9.
- Le altre fonti di perdita di calore, come delle dispersioni nei canali di distribuzione, oppure imperfezioni geometriche, strutturali che possono creare delle vie preferenziali di riduzione dell'energia trasportata dall'aria, facendo ridurre la temperatura, sono state trascurate al fine di rendere il calcolo di confronto più intuitivo.



Nelle figure in confronto è possibile esemplificare in maniera qualitativa il funzionamento e consumo del sistema di riscaldamento. Nella configurazione [1], l'aria proviene dalla facciata ventilata che nelle ore in cui è presente la radiazione solare, presenta una temperatura leggermente maggiore rispetto quella esterna, quindi il carico sull'impianto è rappresentato dalla restante parte di riscaldamento per poter raggiungere la temperatura adeguata per l'introduzione in ambiente. Nello schema a confronto, è possibile osservare la

configurazione [4] che presenta una temperatura d'ingresso al sistema di riscaldamento maggiore rispetto al caso precedente, proprio perché si sfrutta il passaggio dell'aria attraverso lo scambiatore, riutilizzando parte del calore contenuto nell'aria proveniente dall'interno. Tuttavia, è importante precisare che questa condizione avviene soltanto quando la temperatura nella facciata ventilata non è molto maggiore rispetto alla temperatura interna di comfort cioè di 21°C. Quindi, è possibile notare che il carico sul sistema è inferiore rispetto al caso precedente, risparmiando energia. In questo modo, si possono confrontare le differenti condizioni, in rapporto al consumo di un potenziale sistema di riscaldamento associato, delineando un risparmio energetico di una configurazione rispetto un'altra. Inoltre, è possibile ottimizzare l'efficienza di questo sistema, andando a combinare la configurazione [1] con la [4].

## Configurazione [1+4]

Questa configurazione è il risultato dell'ottimizzazione della facciata ventilata, associata con lo scambiatore termico, potendo così adattare il sistema alle differenti condizioni esterne. Infatti, questa condizione prevede di poter cambiare opportunamente tra la configurazione [1] e [4], al verificarsi di opportune consegne:

- Se la temperatura dell'aria nella facciata ventilata supera i 22 °C, allora bisogna attuare la configurazione [1]. Questo avviene nel momento in cui vi è una grande presenza di radiazione solare, dunque questo è già sufficiente a raggiungere valori di temperatura che non possono essere raggiungibili, per via del passaggio nello scambiatore di calore. Quindi, la sola facciata è capace di produrre dell'aria ad una temperatura adeguata a essere direttamente inviata al sistema di riscaldamento.
- Se la temperatura dell'aria nella facciata ventilata è inferiore a 22°C, allora è necessario predisporre la configurazione [4]. Poiché, la sola temperatura dell'aria presente nella facciata ventilata non è energeticamente efficiente, per essere inviata al sistema di riscaldamento, perciò è necessario sfruttare lo scambiatore di calore, per incrementare la temperatura. Caso d'esempio è quando la temperatura dell'aria nella camera ventilata è all'incirca di 14°C, effettivamente abbastanza bassa, ma attraverso lo scambio termico con il flusso d'aria proveniente dall'ambiente interno, il valore sarà incrementato a circa 20,3 °C, riducendo il carico energetico sull'impianto.

$$T_{ingresso\ sistema\ di\ riscaldamento} =$$

$$= T_{facciata-ventilata} + \varepsilon_{recuperatore\ di\ calore\ *}$$

$$* \left(T_{interna-comfort} - T_{facciata-ventilata}\right) =$$

$$= 14 + 0.9 * (21 - 14) = 20.3 °C$$

#### I risultati ottenuti sulla base di queste considerazioni, sono riportati nelle tabelle seguenti:

Tabella 6 - Consumo di ogni configurazione nei diversi giorni

Categoria	Giorni	Consumo [1] [kWh]	Consumo [2] [kWh]	Consumo [1+4] [kWh]
TOP	1/02/2016	34,51	36,47	26,31
	17/02/2016	36,18	38,18	29,98
	23/02/2016	34,56	36,66	25,86
	6/04/2016	33,82	35,92	25,65
MEDIUM	25/12/2015	36,12	37,28	34,3
	12/01/2016	35,48	37,1	30,91
	26/01/2016	35,56	36,93	34,34
	26/02/2016	35,7	36,87	34,19
FLOP	3/01/2016	36,17	37,45	36,03
	5/01/2016	36,44	37,62	36,3
	29/01/2016	36,65	37,3	35,96
	19/03/2016	35,86	36,93	35,86

Nella tabella precedente sono presentati i consumi nelle differenti configurazioni, per i giorni delle diverse tipologie. Naturalmente, come è stato accennato in precedenza, il consumo energetico del sistema di riscaldamento è inferiore nella condizione [1+4], poiché si va ad ottimizzare la presenza in simultanea della facciata ventilata e del recupero termico con il flusso d'aria interno. Inoltre, è possibile notare che il consumo è molto maggiore, se la portata d'aria di rinnovo proviene direttamente dall'esterno, in quanto il sistema deve coprire un salto più ampio di temperatura per raggiungere la temperatura d'introduzione in ambiente. La configurazione [1] si presenta con valori abbastanza inferiori rispetto alla condizione [2], soprattutto nei giorni TOP, in quanto si sfrutta l'effettivo recupero termico da parte della facciata ventilata in presenza di radiazione solare. In un'ottica di confronto, si definisce la configurazione [2] come referenza su cui rilevare i risparmi energetici, con il supporto della sola facciata ventilata oppure della medesima combinata al recuperatore di calore, rispettivamente configurazione [1] e [1+4].

Tabella 7 - Risparmio per ogni configurazione nei diversi giorni

Categoria	Giorni	Risparmio [1]-[2] [kWh]	Risparmio [1+4]-[2] [kWh]
TOP	1/02/2016	1,95	10,16
	17/02/2016	2	8,2
	23/02/2016	2,1	10,8
	6/04/2016	2,09	10,27
MEDIUM	25/12/2015	1,16	2,99
	12/01/2016	1,61	6,19
	26/01/2016	1,37	2,59
	26/02/2016	1,17	2,68
FLOP	3/01/2016	1,29	1,42
	5/01/2016	1,17	1,32

29/01/2016	0,66	1,34
19/03/2016	1,07	1,07

Chiaramente, i risparmi ottenuti sono più significativi nei giorni con maggior apporto energetico solare, quindi durante i giorni TOP, rilevando anche un risparmio superiore ai 10 kWh giornalieri.

Elaborando i dati ottenuti con passo di un minuto, è stato possibile ricavare il risparmio appunto di ogni minuto, del sistema di riscaldamento, analizzando questo dato attraverso una media giornaliera su tutte le 24 ore, inoltre rispetto alle sole ore contenute durante l'arco di tempo dalle ore 9:00 alle ore 18:00, ed infine il picco massimo raggiunto in termini di risparmio energetico per i valori con passo ogni 60 secondi.

Tabella 8 -	- Risparmio	medio con ca	denza di .	1 minuto
-------------	-------------	--------------	------------	----------

Tipologia giorni	Risparmio medio giornaliero [W]	Risparmio medio ore 9-18 [W]	Risparmio giornaliero massimo [W]
TOP	5,29	8,55	15,56
MEDIUM	3,61	4,72	8,88
FLOP	2,8	2,52	6,77

A titolo esemplificativo, vengono rappresentati gli andamenti dei consumi nelle rispettive configurazioni, durante il giorno 1/02/2016. E' evidente di come la strategia di combinare la configurazione [1] con la [4], porta i suoi vantaggi energetici e di conseguenza economici, nelle ore centrali del giorno, in cui sfruttando la facciata ventilata, che riesce a produrre un preriscaldamento dell'aria attraverso la radiazione solare, i consumi si abbassano fino a raggiungere un valore circa nullo, per cui figurativamente, la facciata ventilata riesce a soddisfare la produzione d'aria ad una temperatura pari a quella d'introduzione, sostituendo completamente il sistema di riscaldamento. Tuttavia, questo vantaggio davvero significativo avviene per poche ore, nei momenti restanti della giornata è necessario un supporto dal sistema, per questo è presente la configurazione [4], in modo che durante le prime ore del giorno, quindi in mattinata ed in serata, quando il sole è poco presente, si possa avere comunque un risparmio energetico rispetto alla configurazione [2].

#### Confronto consumo sistema di riscaldamento [1+4] vs [1] vs [2] (1/02/2016)

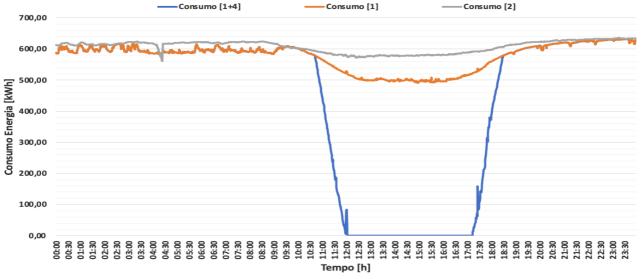


Figura 107 - Andamento consumi nelle differenti configurazioni

# CAPITOLO 4 SIMULAZIONE EDIFICIO RESIDENZIALE

L'analisi di una possibile applicazione di una facciata ventilata accoppiata ad un impianto già presente sul mercato, come soluzione percorribile per un risparmio energetico di una abitazione unifamiliare è stata sviluppata nel capitolo precedente. Questa strategia impiantistica di combinazione tra facciata ventilata e sistema di riscaldamento con recuperatore di calore, è una valida opzione per applicazioni di bassa-media richiesta energetica, dunque questo elaborato, al fine di ampliare la visione pragmatica dello studio in esame, esamina un'altra via percorribile, cioè una applicazione di tipo residenziale, implementando la facciata su una superficie molto più ampia, ed associandola ad un impianto capace di soddisfare le richieste energetiche di medio-alto livello.

A questo proposito, si è deciso di modellare una simulazione attraverso degli opportuni software, che potessero simulare le diverse caratteristiche di un edificio, con destinazione d'uso il residenziale, sia di tipo geometrico e strutturale, che di tipo energetico e fisico.

I programmi utilizzati per poter creare, sviluppare e gestire l'intera simulazione sono stati Schetch-Up ed OpenStudio, il primo è stato utilizzato per definire le proprietà geometriche dell'edificio, mentre attraverso il plug-in di OpenStudio integrato nel programma è stato possibile definire, le proprietà dei materiali per le stratigrafie, le soluzioni costruttive, i carichi endogeni, valori di set-point di temperatura interna ecc... e tutti gli altri dettagli di corollario necessari per poter concludere il modello per la simulazione che è stata elaborata attraverso il programma EnergyPlus.

Lo scopo principale di questa analisi è di simulare un edificio con destinazione d'uso quella residenziale, quindi una abitazione plurifamiliare, in 3 condizioni differenti. La prima è rappresentata da un edificio tipico del ventennio 1970-1990, con una soluzione costruttiva riferita a quell'epoca. La seconda condizione riguarda un edificio simile ma con scelte strutturali più all'avanguardia, dunque stratigrafie con materiale isolante, componenti trasparenti con doppi vetri ecc.. Mentre, il caso finale rappresenta un vero e proprio edificio moderno con in aggiunta la presenza della facciata ventilata, capace di fornire quando possibile il suo apporto al sistema di riscaldamento centralizzato, che in questo caso si occupa di una vera e propria climatizzazione dei locali, quindi può essere definito un cosiddetto sistema HVAC (Heating and Ventilation Air Conditioning).

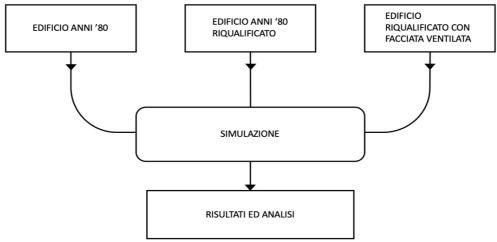


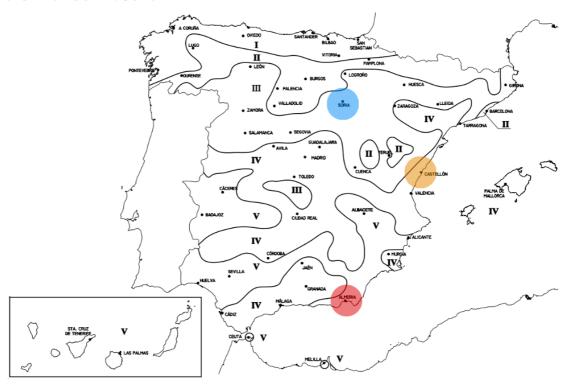
Figura 108 - Schema funzionale simulazione

# 4.1.1 Posizione geografica ed ubicazione

La scelta della posizione geografica su cui basare l'analisi energetica si è basata sull'idea di ottenere delle condizioni climatiche differenti le une dalle altre, al fine di registrare le caratteristiche di comportamento dell'intero sistema, al variare della zona termica.

Lo studio preliminare è stato sviluppato dall'Istituto di Tecnologia Ceramica, situato in Castellòn, in Spagna, ecco dunque che sono state identificate tre aree geografiche capaci di rappresentare tre differenti zone climatiche, all'interno proprio della nazione Spagna. La zona climatica A4 definisce le condizioni climatiche più calde e desertiche, sono definite dalla località Almeria, nel sud della Spagna, all'interno della regione "Andalusia". La zona climatica di media intensità in termini di influenza meteorologia, per la categoria B3, è rappresentata dall'area di Castellòn, nel centro-est della Spagna, nella regione della "Comunidad Valenciana". Infine, le condizioni climatiche più rigide e fredde sono definite dalla località di Soria, nel nord della Spagna, nella regione "Castiglia e Leon".

- Zona climática A4. Almería
- Zona climática B3. Castellón
- Zona climática E1. Soria



Mapa con zonas climáticas objeto de estudio

Figura 109 - Zone climatiche simulate [21]

Il modello è stato fatto simulare in ognuna delle rispettive zone climatiche citate precedentemente, a sua volta per ognuna delle tipologie di modello, quindi per i tre tipi di edifici, con soluzioni costruttive differenti.

Entrando ancor di più nel dettaglio, rispetto all'ubicazione sul suolo urbano, il modello è caratterizzato all'interno di una cosiddetta struttura di "edifici a schiera", una variante

costruttiva urbanistica molto utilizzata, soprattutto per soluzioni civili nelle città, durante la seconda metà del XX secolo. In figura è mostrata una pianta dell'edificio da simulare, all'interno del complesso di strutture residenziali.

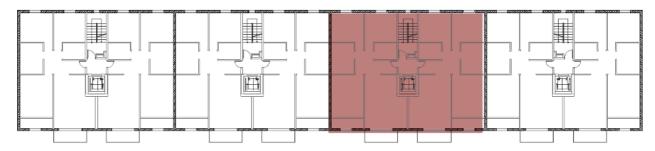


Figura 110 - Ubicazione edificio [21]

Le facciate Est ed Ovest sono in contatto con gli altri edifici che compongono il complesso residenziale, per questo all'interno delle caratteristiche energetiche proprie dell'edificio, si è deciso di definire queste superfici come adiabatiche, in quanto in buona approssimazione si può pensare che il calore ceduto attraverso l'involucro attraverso queste aree sia trascurabile.

## 4.1.2 Soluzioni costruttive

#### Parete Verticale:

La soluzione costruttiva riguardante la stratigrafia per le pareti verticali dell'involucro opaco, è esposta nella figura seguente, con i differenti strati e spessori di ognuno di essi. La tipologia di stratigrafia prevede una camera d'aria con 50mm di spessore ed un doppio strato di mattoni. Naturalmente, è da ricordare che questo livello costruttivo deve essere conforme agli standard degli anni '80, in seguito verranno presentate le migliorie apportate all'edificio per riqualificarlo ad uno stato più moderno e meno energivoro.

Capas	Espasor	Esquema
Cupus	Espesor	Esquema
Capa 1: Enfoscado mortero de cemento	0,015	ENL
Capa 2: Ladrillo cerámico hueco doble	0,115	LH4
Capa 3: Cámara de aire vertical de 50mm.	0,05	LH11
Capa 4: Ladrillo cerámico hueco simple	0,04	
Capa 5: Enlucido de yeso	0,01	
Espesor Total (metros)	0,235	

La transmitancia térmica según fuente LIDER es U=1,33 W/m2\*K

Material	Conductividad W/mK	Densidad Kg/m3	Calor específico J/kg K
mortero de cemento	0.55	1125	1000
Ladrillo cerámico hueco doble	0.427	920	1000
Ladrillo cerámico hueco simple	0.445	1000	1000
Enlucido de yeso	0.570	1150	1000
Cámara de aire vertical de 50mm	0.180 m2K/W (resistencia térmica)		térmica)

Figura 111 - Stratigrafia parete verticale [21]

#### Tetto:

La copertura piana rappresenta l'elemento costruttivo conclusivo dell'edificio. Essa, dunque, deve soddisfare requisiti di impermeabilità delle acque meteoriche, infiltrazioni o altri fenomeni che possono influenzare la tenuta strutturale del tetto. Di seguito, è presentata la stratigrafia.

Capas	Espesor	Esquema
Capa 1: Baldosa cerámica	0,02	
Capa 2: Mortero de agarre	0,02	
Capa 3: Capa de impermeabilización	0,005	BCE20 MOA HI
Capa 4: Hormigón de áridos ligeros	0,1	RH25
Capa 5: Forjado unidireccional	0,25	
Capa 6: Enlucido de yeso	0,15	
Espesor Total (metros)	0,410	

La transmitancia térmica según fuente LIDER es U=1,79 W/m2\*K

Material	Conductividad W/mK	Densidad Kg/m3	Calor específico J/kg K
Baldosa cerámica	1	2000	800
Mortero de cemento	0.55	1125	1000
Betún fieltro	0.23	1100	1000
Hormigón con áridos ligeros	1.15	1700	1000
FU Entrevigado de hormigón	1.323	1330	1000
Enlucido de yeso	0.570	1150	1000

Figura 112 - Stratigrafia copertura [21]

#### Partizioni interne all'interno della stessa zona termica:

Le pareti verticali all'interno di ogni zona termica sono composte da un semplice strato di mattoni forati. Costituiscono dei normali divisori tra le differenti stanze di un locale o appartamento.

Capas	Espesor	Esquema
Capa 1: Enlucido de yeso	0,01	
Capa 2: Ladrillo hueco doble	0,07	
Capa 3: enlucido de yeso	0,01	
Espesor Total (metros)	0,09	

Material	Conductividad W/mK	Densidad Kg/m3	Calor específico J/kg K
Enlucido de yeso	0.570	1150	1000
Ladrillo cerámico hueco doble	0.432	930	1000

Figura 113 - Stratigrafia partizioni interne alla zona termica [21]

# Partizioni interne tra differenti zone termiche:

La composizione delle pareti verticali che mettono in comunicazione locali differenti è esposta di seguito. Naturalmente, si presenta con una struttura più corposa rispetto alle pareti interne, poiché rappresentano dei muri divisori tra differenti zone termiche, differenti spazi abitativi, quindi rientrano considerazioni energetiche, ma anche di comfort, in particolare acustico.

Capas	Espesor	Esquema
Capa 1: Enlucido de yeso	0,01	
Capa 2: Ladrillo hueco doble	0,07	
Capa 3: Ladrillo hueco doble	0,07	
Capa4: aislante	0,04	
Capa 4: Enlucido de yeso	0,01	
Espesor Total (metros)	0,2	

El Valor de U del cerramiento es **0,95 W/m2\*K** (fuente LIDER)

Material	Conductividad W/mK	Densidad Kg/m3	Calor específico J/kg K
Enlucido de yeso	0.570	1150	1000
Ladrillo hueco doble	0.432	930	1000

Figura 114 - Stratigrafia partizioni interne tra diverse zone termiche [21]

#### Pavimento piano terra:

L'elemento costruttivo iniziale su cui basare l'edificazione dei locali, nello specifico del piano terra, è di rilevante importanza al fine di impermeabilizzare e separare il terreno dal suolo abitabile.

Capas	Espesor	Esquema
Capa 1: Azulejo cerámico	0,02	
Capa 2: Mortero de cemento	0,02	
Capa 3: Hormigón en masa	0,04	
Capa 4: Hormigón armado	0,2	A A A
Capa 5: Polietileno alta densidad	0,002	
Capa 6: Arena y grava	0,2	
Capa 7: Tierra apisonada	0,2	
Espesor Total (metros)	0,742	

El Valor de U del cerramiento es **0,51 W/m2\*K** (fuente Líder). En el modelo se considera como una superficie adiabática.

Material	Conductividad W/mK	Densidad Kg/m3	Calor específico J/kg K
Azulejo cerámico	1.0	2000	800
Mortero de cemento	0.55	1125	1000
Hormigón en masa	1.65	2150	1000
Hormigón armado	2.5	2600	1000
Polietileno alta densidad	0.05	70	2300

Arena y grava	2.0	1450	1050
Tierra apisonada	1.1	1885	1000

Figura 115 - Stratigrafia pavimento [21]

## Pavimenti interni tra piani:

Il divisore orizzontale trai diversi piani abitativi, rappresenta una prima barriera strutturale, in termini di separazione dei locali, ma anche energetico per mantenere isolate le differenti condizioni di ogni zona termica secondo uno sviluppo verticale, ed infine anche di comfort. specialmente acustico.

Capas	Espesor	Esquema
Capa1: Plaqueta o baldosa cerámica	0,01	
Capa2: Mortero de cemento	0,03	
Capa3: Forjado hormigón	0,25	4 A
Capa4: Enlucido de yeso	0,01	4
Espesor Total (metros)	0,3	

La transmitancia térmica según fuente LIDER es U=2,33 W/m2\*K

Material	Conductividad W/mK	Densidad Kg/m3	Calor específico J/kg K
Baldosa cerámica	1	2000	800
Mortero de cemento	0.55	1125	1000
FU Entrevigado de hormigón	1.323	1330	1000
Enlucido de yeso	0.570	1150	1000

Figura 116 - Stratigrafia pavimenti interni tra piani [21]

## Componenti trasparenti:

I componenti trasparenti naturalmente non sono tra i più efficienti in quanto si sta caratterizzando un edificio risalente agli anni '80, dunque con tecnologie di isolamento termico limitate rispetto ad oggi. Confrontando i valori rispetto a quelli odierni è possibile intendere, l'effettivo vantaggio di isolare il più possibile un edificio soprattutto attraverso la riduzione dei valori di trasmittanza del telaio e del vetro di un componente trasparente.

Tabella 9 - Componenti trasparenti [21]

	Telaio $\cup [rac{W}{m^2K}]$	Vetro $ U \ [\frac{{}^{W}}{{}^{m^2K}}] $	Fattore solare g [-]
Valore	2,2	3,3	0,75

# 4.1.3 Carichi endogeni

I carichi endogeni costituiscono tutte le produzioni interne alle zone termiche di energia, che possono aumentare la quantità di calore all'interno dell'ambiente interno, aumentandone dunque la temperatura dell'aria. Al fine di poter eseguire una analisi energetica, seppur in termini di simulazione, è necessario tenerne in conto non solo la quantità in valore assoluto, ma anche la transitorietà durante le differenti ore del giorno. Tutte le principali fonti di energia capaci di produrre dei carichi termici endogeni possono essere associate ad attività metaboliche degli occupanti, presenza di equipaggiamento elettrici oppure all'illuminazione. In questi termini sono state definite le cosiddette "schedule" che determinano l'andamento nel tempo, nell'arco delle 24 ore, di tutte queste fonti di generazione di carichi endogeni.

## Schedule attività persone:

La potenza generata da ogni individuo presente in ambiente è generata principalmente dalla sua attività metabolica, prodotta in base alle azioni che si sta compiendo, infatti, nel caso in esame, si ipotizza, che l'attività di ogni individuo sia quella standard in condizioni di riposo, producendo così un valore circa costante di 70 W per ogni persona. Questa potenza verrà poi moltiplicata per il numero di persone presenti in ambiente, che per la simulazione in esame è stato fissato al valore di 5 individui per ogni ambiente abitato.

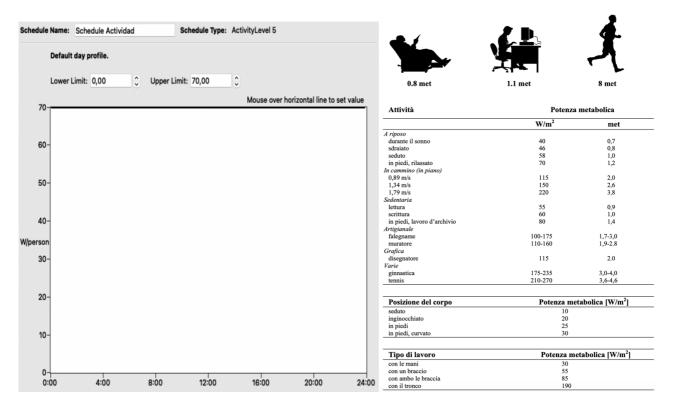


Figura 117 - Schedule attività occupanti

# Schedule equipaggiamenti elettrici e/o informatici:

La presenza di computer, stampanti ed elettrodomestici vari sono solo alcune delle possibili fonti di produzione di energia. Naturalmente, questo processo varia in base alla quantità di equipaggiamenti accesi durante le diverse ore del giorno, per questo è necessario definire un certo andamento specifico per questi componenti, che ormai al giorno d'oggi sono di costante presenza nelle nostre abitazioni.

Come carico di potenza definito in fase di preparazione della simulazione, è stato definito un valore di 4,4  $\frac{W}{m^2}$ , con una frazione radiante pari a 0,7 ed una frazione convettiva pari a 0,3.

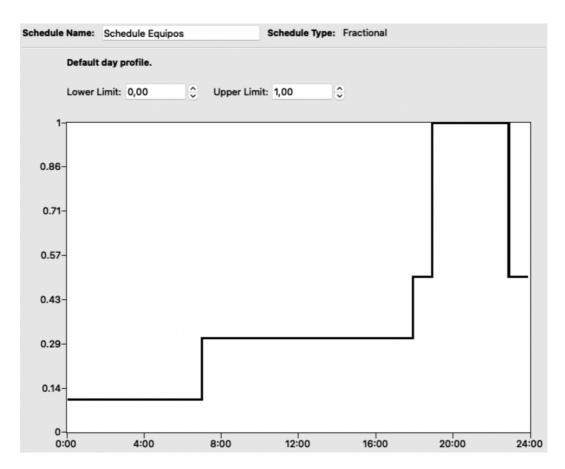


Figura 118 - Schedule apparecchiature elettriche

#### Schedule Illuminazione:

Allo stesso modo si è dovuto definire una schedule per le illuminazioni dei locali abitati, proprio perché durante le ore serali e notturne vi è chiaramente un utilizzo molto più intenso rispetto le altre ore del giorno. Il carico di potenza riferito all'illuminazione è stato di 4,4  $\frac{W}{m^2}$ , in cui la frazione radiante è 0,8 mentre la frazione convettiva è 0,2.

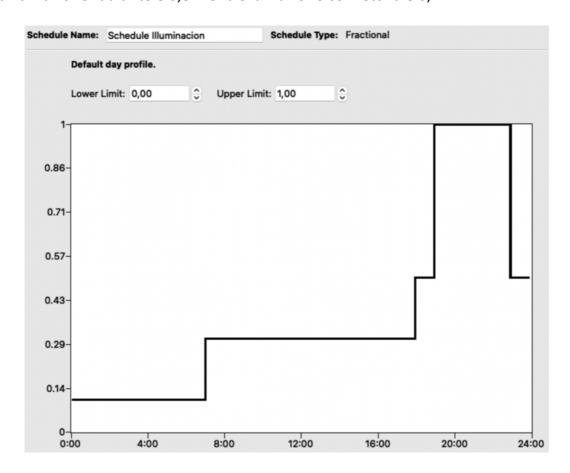


Figura 119 - Schedule illuminazione

# Schedule presenza persone:

La variazione della quantità di persone presenti in ambiente è ugualmente, un'altra variabile da considerare in termini di produzione di calore, che naturalmente cambia durante le ore del giorno. Con la definizione di un numero di persone all'interno di ogni locale abitato pari a 5.

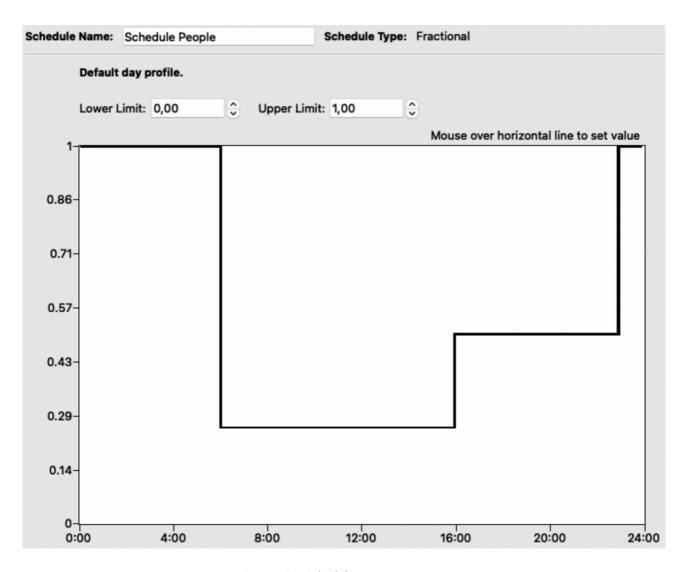


Figura 120 - Schedule presenza persone

#### 4.1.4 Edificio anni '80

La costruzione dell'edificio da un punto di vista geometrico è stato effettuata attraverso il software di modellazione geometrica Schetch-Up, definendo alcune caratteristiche principali proprie dell'edificio residenziale:

- L'edificio è composto da piano terra, con l'aggiunta per tutto il suo sviluppo verticale di 6 piani abitabili. Dunque, un totale di 7 piani calpestabili.
- In ognuno dei piani vengono definite 3 zone termiche, quelle esposte ad Est ed Ovest, sono locali abitabili, che vengono considerati climatizzati. Mentre, il locale centrale costituisce il vano scala, che ai fini della simulazione è una zona termica, ma in termini energetici viene considerato non climatizzato.
- Le partizioni interne ad ogni zona termica non vengono considerate come divisori della stessa, ma semplicemente parti strutturali del locale che non influenzano la definizione perimetrale della zona termica.

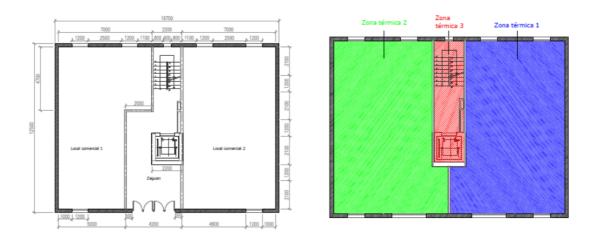


Figura 121 - Suddivisione in zone termiche [21]



Figura 122 - Suddivisione zone termiche 2° piano [21]

Di seguito è riportata una immagine, dove è possibile comprendere le effettive dimensioni di ogni componente sia opaco che trasparente, in una vista frontale rispetto la facciata Sud, sia del piano terra che del piano 1. I piani superiori sono uguali in dimensioni geometriche, ripetendosi fino al piano 7.

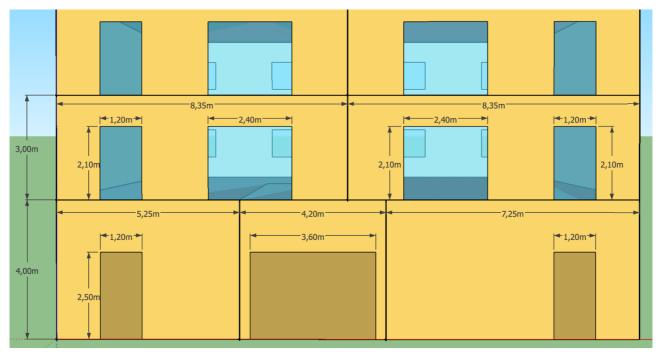


Figura 123 - Dimensioni edificio facciata Sud

Un'ulteriore vista della parte dell'edificio rivolta a Nord, in cui è possibile apprezzare le quote geometriche, che definiscono ogni elemento strutturale di cui si compone sia il piano terra che il piano 1. Come nel caso precedente, anche per la facciata sul retro, le dimensioni si ripetono uguali fino al piano 7.

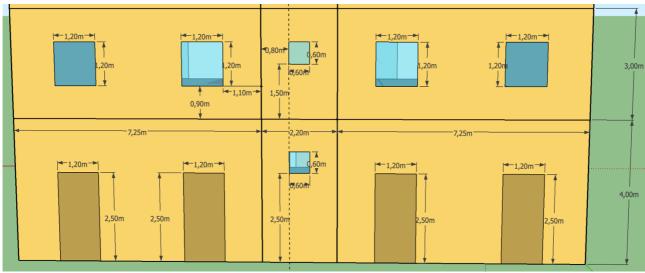


Figura 124 - Dimensioni edificio facciata Nord

Ulteriore figura che presenta le dimensioni rispetto una vista in pianta dell'edificio residenziale, in cui è possibile notare la divisione delle due zone termiche abitabili per ogni piano, con il vano scala come intermezzo.

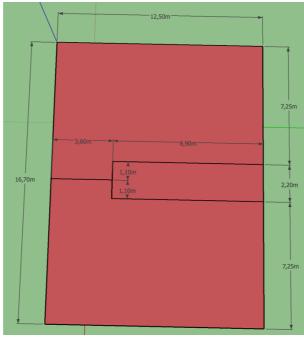


Figura 125 - Dimensioni edificio in pianta

L'edificio residenziale completo è raffigurato nella figura sottostante in tutto il suo sviluppo. Importante affermare, che le facciate verso Sud e Nord ed il tetto, sono considerate con condizione termica al contorno verso l'esterno, mentre le facciate verso Est ed Ovest sono rivolte, come mostrato precedentemente, verso altri paramenti murari appartenenti ad altri edifici, quindi vengono considerati con condizioni termiche al contorno come adiabatiche.

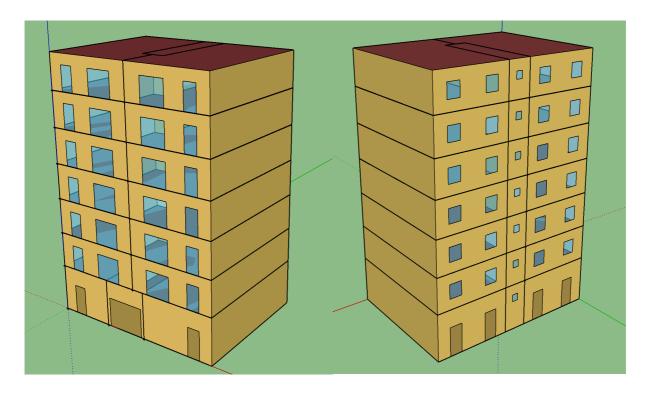
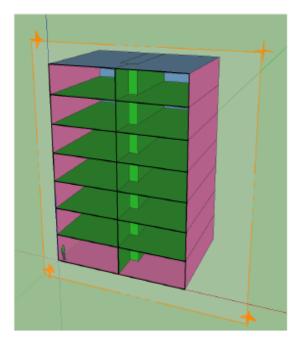


Figura 126 - Vista generale edificio residenziale



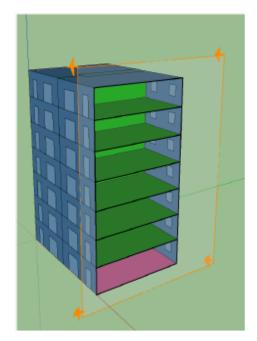


Figura 127 - Sezioni dell'edificio residenziale [21]

Altri importanti considerazioni da definire riguardano:

Il sistema di riscaldamento, inteso come impianto di generazione di calore, è
identificato come un sistema HVAC, capace di soddisfare la domanda energetica e
dunque la temperatura interna di comfort, oltre che una qualità dell'aria salubre, per
tutto il periodo invernale, che per conformità è stato definito dal 15 Ottobre al 15
Aprile. Durante questo periodo, il sistema dovrà rispettare queste consegne di
temperatura interna durante un giorno tipo.

hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
calefacción	17	17	17	17	17	17	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	17

Figura 128 - Schedule impianto HVAC [21]

- Le possibili fonti di infiltrazione d'aria generate, ad esempio, da un'apertura delle finestre, viene considerata come un ricambio d'aria pari a  $0.5 \frac{vol}{h}$ . Come andamento sotto forma di schedule è stato impostato un valore fisso per tutte le ventiquattro ore pari ad 1, in quanto le infiltrazioni sono sempre presenti per tutto l'arco della giornata.
- Il regime di funzionamento è definito come "Ideal HVAC system" all'interno dell'ambiente OpenStudio, opzione che permette al programma simulatore cioè EnergyPlus, di modificare gli eventuali parametri energetici e fisici, di ottimizzare il sistema di distribuzione dell'aria, minimizzando attriti fluidodinamici ed altri processi secondari, al fine di rendere il sistema il più efficiente possibile, riducendo la domanda energetica.
- La stagione di riscaldamento fa riferimento ad un anno solare che inizia il lunedì e non è bisestile. Non si considerano giorni festivi regionali o nazionali.

# 4.1.5 Edificio riqualificato

La simulazione dell'edificio riferito agli anni '80, è stata eseguita con lo scopo di caratterizzare una tipologia di strutture civili residenziali, che presentano determinate caratteristiche sia costruttive che energetiche, che per la società moderna di oggi non sono più lo standard costruttivo di alta efficienza, ma che tuttavia sono ben presenti nelle città, sono luoghi abitabili frequenti e significativamente presenti in alcune zone cittadine.

In un'ottica di confronto finale, tra differenti condizioni di domanda energetica e soprattutto valutando i diversi vantaggi e svantaggi apportati dalla presenza della facciata ventilata, si è deciso di creare un altro termine di paragone, una soluzione più realistica, più vicina alle soluzioni costruttive ed energetiche dei giorni d'oggi, vale a dire un edificio riqualificato con l'utilizzo di materiali isolanti, capaci di migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio. A questo proposito, si è pensato di simulare un edificio residenziale, non più considerato degli anni '80, ma riqualificato e ripensato, da un punto di vista delle soluzioni costruttive, nello specifico delle stratigrafie, al fine di possedere un confronto intermedio.

Dunque, utilizzando lo stesso edificio da un punto di vista geometrico, ugual posizione geografica ed ubicazione cittadina, simili carichi endogeni interni con le rispettive schedule, si è provveduto a modificare soltanto le stratigrafie delle pareti verticali e della copertura. Nello specifico si sono attuate le seguenti modifiche:

#### Parete verticale rivolta a Sud: Nuova stratigrafia

Viene eseguito un cappotto esterno, con l'aggiunta di uno strato di materiale isolante XPS, al fine di ridurre le dispersioni di calore attraverso l'involucro, ed inoltre, considerando l'ampia estensione della facciata si vanno a migliorare le prestazioni globali dell'intero

edificio. Tabella 10 - Stratigrafia parete verticale Sud edificio riqualificato

Strato	Spessore [m]	Conducibilità $\left[\frac{W}{mK}\right]$	Densità $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$	Specifico		Trasmittanza termica U $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$
Intonaco	0,015	0,55	1125	1000		
Isolante XPS	0,06	0,034	35	800		
Mattone doppio forato	0,115	0,427	920	1000		
Camera d'aria	0,05				0,18	
Mattone forato	0,04	0,445	1000	1000		
Intonaco	0,01	0,570	1150	1000		
Totale	0,29					0,428

105

#### • Parete verticale rivolta a Nord: Nuova stratigrafia

Per la facciata rivolta a Nord, viene eseguito un cappotto esterno con chiusura un materiale ceramico, capace di definire non solo un supporto energetico ma anche artistico, al fine di preparare l'edificio per una eventuale facciata sia nel lato Sud che a Nord. In aggiunta, viene impiegato un isolante di tipo Lana di vetro, che possa rendere la stratigrafia molto più performante energeticamente, con vantaggi sia da un punto di vista economico, ma anche acustico, nonché di comfort generale degli occupanti.

Tabella 11 - Stratigrafia parete verticale Nord edificio riqualificato

Strato	Spessore [m]	Conducibilità $\left[rac{W}{mK} ight]$	Densità $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$	Calore Specifico $\left[\frac{J}{KgK}\right]$	Resistenza termica $\left[\frac{m^2K}{W}\right]$	Trasmittanza termica U $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$
Rivestimento ceramico	0,011	1,3	2000	1000		
Intonaco	0,015	0,55	1125	1000		
Isolante EPS	0,06	0,034	35	800		
Mattone doppio forato	0,115	0,427	920	1000		
Camera d'aria	0,05				0,18	
Mattone forato	0,04	0,445	1000	1000		
Intonaco	0,01	0,570	1150	1000		
Totale	0,3					0,426

#### • Copertura: Nuova stratigrafia

Ulteriore miglioramento delle soluzioni costruttive in copertura, al fine di ridurre le eventuali perdite di calore, tramite l'utilizzo di isolante XPS ed inoltre, impermeabilizzare la superficie orizzontale da infiltrazioni acquee o di altro genere dovuti a fenomeni atmosferici.

Strato Spessore [m] Conducibilità Densità  $[\frac{Kg}{m^3}]$  Specifico termica U  $[\frac{J}{KgK}]$  Rivestimento ceramico 0,02 1 2000 800

0,034

0,55

0,23

1,15

1,323

0,57

0,06

0,02

0,05

0,1

0,25

0,01

0,6

Tabella 12 - Stratigrafia copertura edificio riqualificato

35

1125

1100

1700

1330

1150

800

1000

1000

1000

1000

1000

0,434

#### • Nuovi componenti finestrati:

**Isolante XPS** 

Malta cementizia

**Impermeabilizzante** 

Calcestruzzo

compresso
Struttura in lamiera

unidirezionale Intonaco

**Totale** 

I componenti finestrati vengono rimpiazzati con dei molto più performanti serramenti, composti da triplo vetro con camera d'aria, per una struttura 6-10-6-10-6. Il telaio è formato da PVC, con ottimo comportamento termico, per via di una bassa trasmittanza termica combinata del vetro e telaio, ed un elevato isolamento acustico.

Tabella 13 - Componenti finestrati edificio riqualificato

	Telaio U [ $rac{W}{m^2 K}$ ]	Vetro $\bigcup_{m^2K} [w]$	Fattore solare g [-]
Valore	1,2	1,1	0,7

Queste modifiche strutturali, con aggiunta di particolari strati di materiale performante, costituiscono alcune delle possibili vie per riqualificare un edificio, tuttavia esse sono tra le più utilizzate e, dipendendo dalle condizioni di ogni singolo caso, anche le meno invasive ed economiche. Altri dettagli sui rispettivi materiali o componenti introdotti per la riabilitazione dell'edificio sono presentati in appendice.

# 4.1.6 Edificio riqualificato con facciata ventilata

Ultimo livello di dettaglio per la simulazione di un edificio residenziale, è rappresentato da l'edificio presentato nelle pagine precedenti, riqualificato con l'aggiunta dei materiali isolanti, con l'aggiunta della facciata ventilata che rappresenta non solo un ulteriore strumento di coibentazione dell'edificio, ma anche un supporto per il sistema di ventilazione e riscaldamento, aspetto questo che verrà analizzato con maggior profondità nei prossimi paragrafi.

La facciata ventilata, in tutto il suo sviluppo è stata costruita utilizzando lo stesso software Schetch-Up, ricavando degli opportuni fori e rientri strutturali in corrispondenza dei componenti finestrati, al fine di non ostruire la visibilità e di conseguenza l'entrata dei raggi solari all'interno dei locali. La superficie esterna della facciata ventilata è stata colorata con una differente tonalità al fine di notare le modifiche strutturali e costruttive sull'edificio.

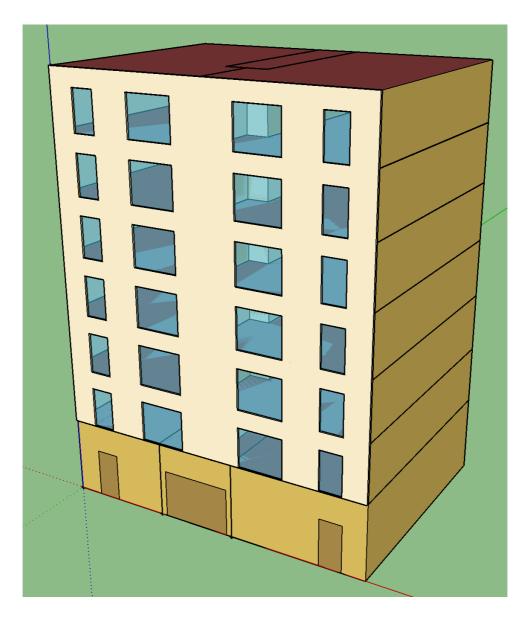


Figura 129 - Edificio residenziale riqualificato con facciata ventilata

Di seguito, sono presentate altre immagini che raffigurano la facciata ventilata esaltando altri componenti, come il gap d'aria che costituisce la camera d'aria ventilata, i rientri orizzontali e verticali che circondano le finestre e la chiusura in alto, al fine di utilizzare l'aria riscaldata dalla facciata per essere inviata tramite opportuni ventilatori al sistema HVAC.

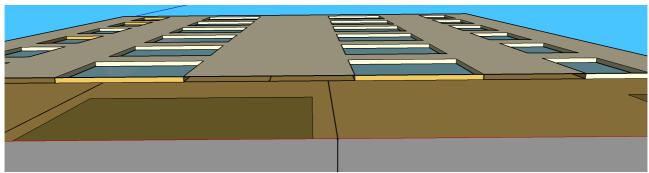


Figura 130 - Facciata ventilata vista dal basso

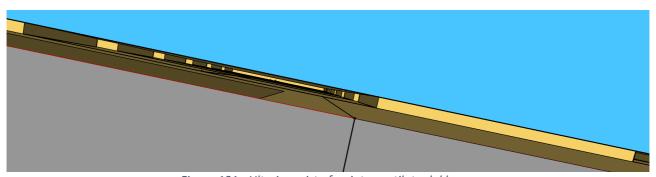


Figura 131 - Ulteriore vista facciata ventilata dal basso

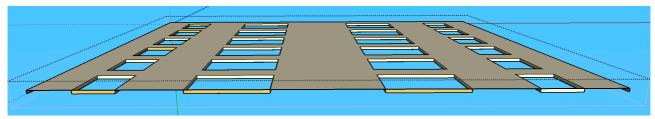


Figura 132 - Vista del solo componente facciata ventilata

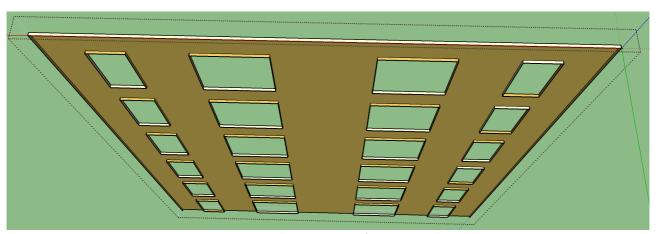


Figura 133 - Vista del solo componente facciata ventilata dal retro

# 4.2 Analisi energetica

La valutazione energetica, successivamente economica, riferita alla tipologia di edificio residenziale con facciata ventilata, è stata eseguita al fine di comprendere gli effettivi vantaggi della facciata ventilata, non solo come dispositivo strutturale per un risparmio energetico, ma anche per un eventuale alleato al sistema di riscaldamento centrale dell'edificio, in grado di poter smorzare i picchi di domanda energetica, soprattutto durante le ore centrali del giorno, e conseguentemente ridurre il carico economico sull'investimento e gestione dell'impianto, ed infine un ruolo considerevole all'interno di una visione di riduzione delle emissioni di anidride carbonica, prodotta principalmente dai sistemi di generazione di calore, associati agli edifici residenziali.

Sulla base di queste considerazioni è importante analizzare gli aspetti interni alla simulazione per la caratterizzazione della facciata ventilata, poiché queste definizioni all'interno del software Open Studio, possono influenzare i risultati ottenuti e conseguentemente i rispettivi approfondimenti di confronto tra le differenti strategie e configurazioni impiantistiche. Il software di simulazione non offre l'opzione specifica riferita alla descrizione della facciata ventilata in termini energetici, tuttavia al fine di ottenere un comportamento ragionevole e conservativo si è deciso di definire l'intera facciata ventilata, nel suo sviluppo verticale ed orizzontale, come un'unica zona termica, riconosciuta da Open Studio come un ambiente separato, nel caso specifico non è climatizzato, in grado di poter ricavare la temperatura interna dell'aria nell'intercapedine. A questo proposito è necessario definire alcuni aspetti:

#### IPOTESI E CONSIDERAZIONI

- La facciata ventilata è posizionata nell'intera parete dell'edificio rivolta a Sud, possiede una dimensione longitudinale di 18 metri, una larghezza di 16,7 metri, ed una profondità che costituisce la camera d'aria ventilata pari a 10 cm.
- Ogni elemento di rivestimento ceramico utilizzato per comporre la facciata ceramica, possiede 1,195 m di lunghezza, 0,595 m di altezza ed 11 mm di spessore, con colorazione superficiale nera, ed un coefficiente di assorbimento della radiazione solare pari a 0.9, sostanzialmente lo stesso componente utilizzato per la facciata ventilata presente all'interno della struttura sperimentale nel progetto "Habitat Sostenible".
- L'intera struttura della facciata ventilata è stata definita, come affermato in precedenza, come un'unica zona termica, dunque, tutte le grandezze di output ottenibili attraverso il software debbono essere considerati come valori mediati all'interno del volume considerato, quindi ad esempio, la temperatura interna dell'aria, riferita alla zona termica della facciata ventilata, è un valore medio sull'intero volume, quindi si può pensare che questa grandezza sia stata rilevata al punto medio, sia in altezza, larghezza e profondità, del volume d'aria. Perciò, il valore che verrà utilizzato come temperatura interna nella facciata ventilata, non è la

temperatura misurata nella parte alta della camera ventilata in prossimità degli estrattori, come avveniva nel sistema sperimentale "Open Habitat", ma può essere considerata come la temperatura a metà altezza dell'intercapedine, costituendo quindi un valore conservativo, poiché ci si aspetta per via della presenza della radiazione solare, in condizioni reali e non simulate, di un'ulteriore incremento della temperatura dell'aria, considerando lo sviluppo restante della facciata ventilata.

• I risultati di output, come ad esempio la temperatura dell'aria all'interno della camera oppure la temperatura superficiale del materiale ceramico, sono tutte grandezze dipendenti dal modo di interpretare da parte del software Open Studio, i flussi ed i movimenti, in generale la termo-fluidodinamica nei confronti del volume d'aria contenuto all'interno della facciata ventilata. È importante affermare, che per la simulazione dedicata all'edificio residenziale, è stato utilizzato un algoritmo interno al programma di simulazione definito come "Zone Inside Convection Algorithm" selezionato alla voce "Trombe Wall". Dunque, il programma di simulazione sia Open Studio che EnergyPlus, riconoscono la zona termica della facciata ventilata, come un ambiente, un volume d'aria che si comporta come un "Trombe Wall". Questo introduce ulteriori considerazioni, limitazioni e riflessioni da presentare.



Figura 134 - Definizione di "Trombe Wall" nel modello Open Studio

• Il "Trombe Wall" come riporta il manuale [22] è considerato una buona approssimazione per la caratterizzazione di zone molto strette, come cavità, la cui profondità può variare dai 18 mm ai 150 mm. In generale, questa tipologia di muro, presenta delle variazioni rispetto al caso analizzato in questo elaborato, infatti, esaminando il classico muro di Trombe-Michel del 1964, esso poteva essere composto da una superfice esterna trasparente vetrata al fine di poter far entrare più energia sotto forma di calore dalla radiazione solare incidente, ed inoltre costituito

da una struttura muraria molto massiva, in modo che si possa creare una grande inerzia termica, che potesse causare dei ritardi ai trasferimenti di calore, limitando al minimo le dispersioni, ed in generale trattenendo il calore per più tempo.

- Nella simulazione eseguita per le analisi energetiche, è stato utilizzato un "Trombe Wall", con una particolare modifica, cioè quella definita dalla guida pratica [22] come "Active Trombe Wall", questo è dovuto al fatto che la facciata ventilata è assistita da equipaggiamento meccanico di ventilazione, in grado di mantenere in circolazione forzata l'intero volume e soprattutto in grado di fornire una portata costante d'aria di rinnovo al sistema centrale di climatizzazione.
- Le principali limitazioni dovute a questa tipologia di approccio e caratterizzazione del sistema facciata ventilata, sono il non perfetto "match" tra le proprietà del sistema e l'algoritmo "Trombe Wall", questo poiché quest'ultimo non è prettamente adatto ad interpretare questa configurazione. Tuttavia, è importante affermare che i risultati ottenuti con le dovute ipotesi e considerazioni, sono dei valori che possono sottostimare il comportamento della facciata ventilata, rendendo le analisi e lo studio nel complesso, molto più conservativo di quello che potrebbe effettivamente essere, portandoci dunque in un'ottica di ulteriore miglioramento delle prestazioni, nel momento in cui il sistema verrà applicato alle condizioni reali.
- Ulteriori ipotesi da presentare sono riferite all'effettivo comportamento della facciata, poiché si è considerato che l'aria necessaria all'impianto di climatizzazione centrale, necessita di una particolare portata costante di rinnovo, al fine di poter adempiere ai criteri di igiene e qualità dell'aria immessa in ambiente. La facciata ventilata, dunque, è considerata come capace di produrre una costante portata d'aria di ventilazione sotto l'azione dei ventilatori, alla una temperatura ricavata dalla simulazione attraverso l'algoritmo "Trombe Wall". Questo potrebbe sembrare davvero difficile da realizzare, poiché sotto l'azione dei ventilatori, ed in considerazione del grande volume d'aria prodotto, i valori di temperatura sarebbero poco stabili, sia nel tempo che nello spazio, riducendo così l'efficienza dell'intero sistema di ventilazione. Tuttavia, questo concetto va a compensare il fatto, precedentemente esposto, che le temperature considerate per la simulazione rappresentano dei valori medi, dunque presumibilmente molto più bassi rispetto a quelli reali, in alcune condizioni di forte presenza solare potrebbero essere addirittura la metà, proprio perché sono valori medi attribuiti al punto medio del volume dell'aria nell'intercapedine.
- Considerate assodate queste riflessioni dovute a dettagli tecnici sulla simulazione, difficoltà di caratterizzare, in mancanza di opportuni strumenti specifici, il comportamento di un volume d'aria e conseguentemente di una facciata ventilata, si sono eseguite differenti "sotto-simulazioni", all'interno di quella complessiva sull'applicazione della facciata ventilata a base ceramica in un edifico residenziale. Queste differenti analisi riguardano il confronto non solo di differenti zone

climatiche, dalle più fredde alle più calde, come esposto in precedenza, ma anche valori di ricambio d'aria in termini di rispetto della qualità dell'aria, sia per la normativa tecnica italiana ancora in vigore, nello specifico la UNI 10339 del 1995 intitolata "Impianti aeraulici ai fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura" [23] che per la normativa tecnica spagnola dedicata a questo settore, la "CTE-DB-HS-3-Salubridad" cioè rispettivamente "Codigo Tecnico de la Edificacion-Documento Basico-Salubridad-Apartado 3 calidad del aire interior" [24] del 2006.

Tabella 14 - Portate d'aria di rinnovo reperite da normativa

Normativa	Categoria locale	Portata per singolo appartamento $\left[\frac{m^3}{s}\right]$	Portata per intero edificio $\left[\frac{m^3}{s}\right]$
UNI 10339	Soggiorno - abitazione civile	0,055	0,66
CTE HS3 DB Salubridad	Vivienda residencial	0,024	0,288

La motivazione rispetto questa scelta è stata quella di produrre un'analisi valida sia per un ambito di applicazione italiano che spagnolo, in quanto questo elaborato è stato realizzato sulla base di uno studio sperimentale realizzato dall'Istituto di Tecnologia Ceramica, di Castellòn, Spagna. Ma, inoltre si è voluto eseguire un breve studio sull'affidabilità della normativa italiana, in quanto è in vigore ormai da molti anni, risale infatti al 1995, senza subire alcun aggiornamento tecnico, nonostante le continue variazioni sui criteri di comfort degli occupanti in questi ultimi decenni.

#### Altre considerazioni di contorno sono:

- La scelta della temperatura interna dell'aria al fine di rispettare delle richieste di comfort da parte degli occupanti è stata fissata a 20°C.
- Il "time-step" con cui vengono forniti i risultati e le grandezze in output è orario. Mentre il periodo su cui è basata la stagione di riscaldamento all'interno della simulazione, va dal 15/10 al 15/04, dell'anno tipo registrato all'interno del "weather file" dato in input al software Open Studio.
- Si trascurano eventuali perdite di energia, all'interno di ogni componente dell'impianto di distribuzione, in particolare nei canali di distribuzione, dunque si assume la temperatura dell'aria in uscita dalla UTA, sia pari a quella in ingresso nei rispettivi locali.

Sul fondamento di queste ipotesi, considerazioni e riflessioni è stato possibile eseguire le diverse simulazioni al fine di ottenere un effettivo termine di confronto, che verrà analizzato nello specifico delle scelte impiantistiche nel paragrafo successivo. I risultati ottenuti in

prima battuta possono essere confrontati, in modo da capire che tipo di valori si sono ricavati, soprattutto per quanto riguarda la temperatura all'interno della camera ventilata. Iniziare quindi, un primo studio sull'effettivo comportamento della facciata ventilata simulata, intendere come essa si configura in un'ottica di supporto al sistema HVAC. Per questo, si è deciso di confrontare dei giorni, in condizioni cronologiche simili, durante la stagione di riscaldamento, attraverso l'efficienza di un classico recuperatore di calore di tipo sensibile, in modo da quantificare l'azione di recupero del calore da parte della facciata ventilata, eseguita al fine di inviare una determinata portata d'aria ad una temperatura maggiore di quella esterna. Concetto questo che renderà meno gravoso il carico sull'impianto di riscaldamento, che verrà approfondito nel paragrafo successivo.

$$\varepsilon = \frac{Potenza~effettivamente~scambiata}{Potenza~massima~teorica~scambiabile} = \frac{Q*c_p*\Delta T_{reale}}{Q*c_p*\Delta T_{max}} = \frac{T_{sup} - T_{ext}}{T_{int} - T_{ext}}$$

- $T_{ext}$  rappresenta la temperatura dell'aria esterna;
- T<sub>int</sub> rappresenta la temperatura dell'aria interna pari a 20°C;
- $T_{sup}$  rappresenta la temperatura dell'aria di "supply" cioè la temperatura all'interno della camera ventilata, che sarà poi immessa attraverso i sistemi di ventilazione ed estrattori, ai canali d'aria per essere inviata all'UTA (Unità di Trattamento Aria) del sistema HVAC;
- $c_p$  è il calore specifico dell'aria a pressione costante definito per semplicità pari al valore 1005  $\frac{J}{kaK}$ ;
- Q è la portata d'aria di rinnovo, che viene effettivamente estratta dalla facciata ventilata per essere inviata al sistema HVAC;
- $\Delta T_{max}$  è il salto di temperatura massimo che l'impianto di riscaldamento deve compensare, nel caso esternamente l'aria sia ad una temperatura di 5°C, la differenza sarà pari a 15°C;
- $\Delta T_{reale}$  è il salto di temperatura che effettivamente deve compensare il sistema di riscaldamento, grazie proprio alla presenza del recuperatore di calore, che riesce a preriscaldare l'aria riducendone il salto termico. In questo caso questo ruolo è svolto dalla facciata ventilata;

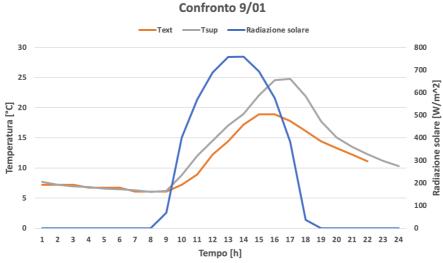


Figura 135 - Confronto risultati simulazione 9/01

### Confronto 7/02

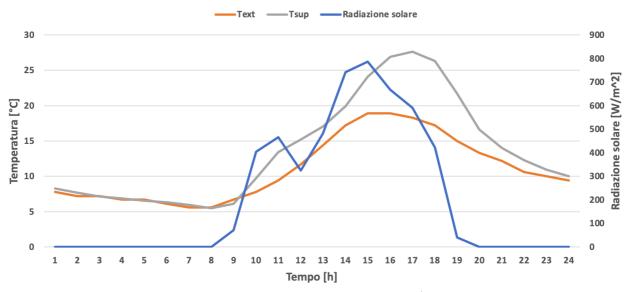


Figura 136 - Confronto risultati simulazione 7/02

#### Confronto 10/03

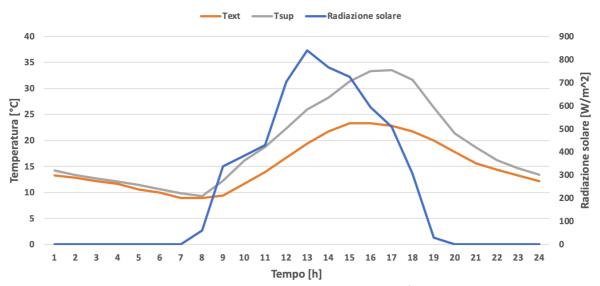


Figura 137 - Confronto risultati simulazione 10/03

#### Confronto 10/04

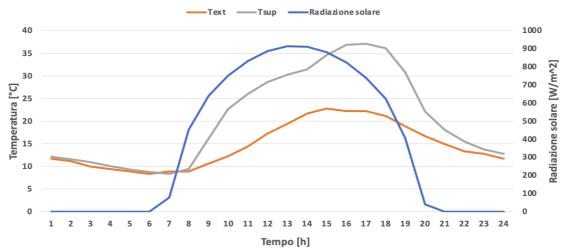


Figura 138 - Confronto risultati simulazione 10/04

Tabella 15 - Riepilogo efficienze nei quattro giorni analizzati

Giorni	Efficienza media [-]	Efficienza media 9-18 [-]	Efficienza massima [-]
9/01	0,658	1,447	5,158
7/02	1,068	2,311	7,295
10/03	1,789	3,331	10,982
10/04	3,219	6,318	18,042

Analizzando questi quattro giorni, riferiti alla zona climatica di Castellòn - B3, è possibile notare, a partire dai grafici, che anche in condizioni di clima invernale, si possono raggiungere delle temperature dell'aria interne alla facciata ventilata che possono variare sul range da 20 a 35 °C, naturalmente con una significativa dipendenza dalla radiazione solare. Certamente, questi valori massimi di temperatura non sono eccellenti, soprattutto considerando una grande estensione della facciata esposta a Sud, ma è anche importante dire che questi numeri sono il risultato di mediazioni da parte del software per l'intero volume contenuto all'interno dell'intercapedine, perciò in condizioni di alta, costante ed uniforme radiazione solare, si possono raggiungere valori di temperatura nella parte alta della camera ventilata, che andrebbero sicuramente ad incrementare i benefici generali, nonché l'apporto all'impianto HVAC, riducendo i consumi energetici. Inoltre, esaminando la tabella riepilogativa, si osserva che l'efficienza di recupero termico è stata differenziata in base all'arco di tempo considerato, quindi, se basata sulle ventiquattro ore oppure sulle ore centrali del giorno che per semplicità è rappresentato dall'intervallo dalle ore 9:00 alle ore 18:00. Infine, è anche riportato il valore di picco raggiunto per quel giorno, in termini di efficienza di recupero termico.

Tabella 16 - Consumi energetici degli edifici residenziali analizzati nelle differenti zone climatiche

	GJ				kWh	
	Edificio anni '80	Edificio riqualificato	Edificio riqualificato con facciata ventilata	Edificio anni '80	Edificio riqualificato	Edificio riqualificato con facciata ventilata
A4	10,8	2,7	1,8	2991,7	750,4	500
В3	34,8	13,2	10,7	9661	3666,7	2966,7
E1	257	157,5	147,2	71409	43750,4	40897

In conclusione, i risultati complessivi dei consumi energetici nelle tre differenti simulazioni, al variare della zona climatica, sono riportati in quest'ultimo prospetto, in cui è evidente una significativa riduzione della domanda di energia, man mano che si caratterizza un edificio residenziale con soluzioni costruttive e dispositivi energetici sempre più all'avanguardia, motivando quindi uno dei punti cardini dell'energia nel mondo dell'edilizia, cioè la riqualificazione del parco costruttivo degli edifici, soprattutto residenziali, al fine di ridurre i consumi energetici e conseguentemente i costi e le emissioni inquinanti in atmosfera.

# 4.3 Fattibilità energetica

La simulazione energetica è il primo passo verso uno studio concreto su una potenziale applicazione in combinata della facciata ventilata e un impianto di climatizzazione. L'elaborazione dei dati ottenuti in output dalla simulazione, permettono di produrre un'analisi sotto diversi punti di vista, sia impiantistico-energetico, che economico, permettendo di validare la fattibilità energetica di questa proposta. Inoltre, in questa prima sezione verrà svolta un'analisi rispetto la normativa di riferimento italiana, con i rispettivi risultati, mentre successivamente, la medesima analisi verrà riportata in riferimento alla normativa spagnola.

Al fine di poter ottenere un ordine di confronto, si è pensato di produrre cinque configurazioni impiantistiche differenti tra di loro. Lo schema funzionale di base è molto simile a quello già presentato per il sistema sperimentale all'interno del progetto "Habitat Sostenible", ma con alcune differenze:

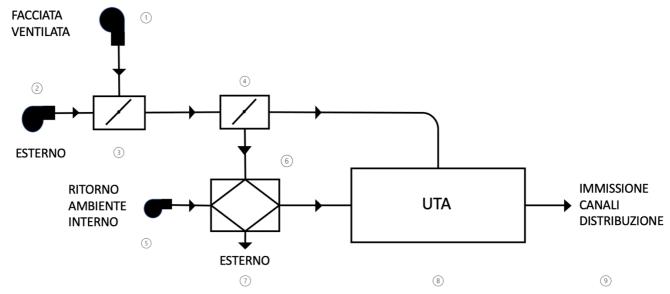


Figura 139 - Schema funzionale impiantistico HVAC edificio residenziale

Le differenze principali rispetto al sistema sperimentali sono riconducibili ai punti:

- 5. Il ritorno dall'ambiente interno è costituito dai canali di distribuzione che attuano una ripresa dell'aria da ogni rispettivo locale climatizzato per essere inviato all'impianto centrale dell'edificio. Portata d'aria di ritorno, che è esausta e viziata, è utile ai fini di recupero termico, attraverso uno scambiatore di calore, per poter preriscaldare l'aria, prima di inviarla all'UTA. Naturalmente, nelle dinamiche di design e assemblaggio, il recuperatore di calore è spesso già inserito all'interno del componente centrale del sistema HVAC, cioè l'UTA, ma in questo caso è stato schematizzato all'esterno in modo da avere un'idea più chiara sul percorso del flusso d'aria nelle rispettive configurazioni.
- 8. L'Unità di Trattamento Aria (UTA) costituisce il cuore dell'impianto di climatizzazione. All'interno di questo componente, vi sono inclusi altri sottocomponenti capaci ognuno di svolgere delle funzioni essenziali per la

climatizzazione. Infatti, si possono incontrare le batterie di scambio termico, sia di riscaldamento che ci raffreddamento, al fine di adempiere le consegne termiche decise dagli occupanti dell'edificio. Importante è anche il ruolo compiuto dai filtri, che eliminano le impurità di diverse dimensioni presenti nell'aria, soprattutto quando proveniente dall'esterno. Un altro importante componente è il ventilatore che deve essere dimensionato al fine di vincere le cadute di pressione a cui l'aria è sottoposta, per via del passaggio all'interno dei canali d'aria di distribuzione per poter raggiungere i diffusori presenti in ogni locale, per essere immessa negli ambienti interni.

9. Il sistema di distribuzione è costituito da una rete di canali, con differenti diametri, materiali, valvole e serrande, che permettono la distribuzione dell'aria verso gli ambienti climatizzati. Soprattutto in un edificio residenziale, di notevoli dimensioni, l'intero impianto di smistamento dell'aria può essere molto articolato e complesso, svolgendo un ruolo di rilevante peso per il sistema HVAC.

Le configurazioni impiantistiche sono anch'esse molto simili, come concetto di base, a quelle presentate nel progetto "Habitat Sostenible", naturalmente cambiano le dimensioni, i materiali di supporto, l'intensità delle grandezze termodinamiche in gioco, dunque vi sono presenti:

## **Configurazione 1**

Questa configurazione impiantistica prevede di prelevare l'aria direttamente dalla cavità della facciata ventilata, nello specifico dalla parte alta attraverso gli estrattori, per essere inviata direttamente all'UTA, per essere successivamente trattata sia a livello termico che igienico.

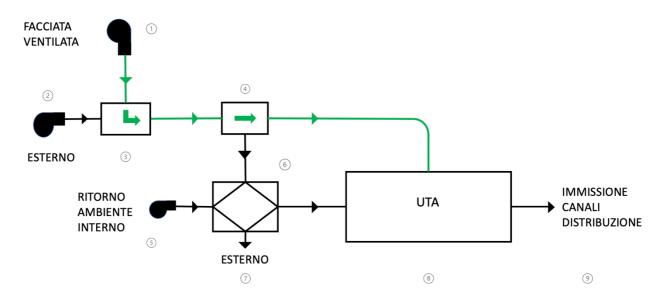


Figura 140 - Schema funzionale configurazione 1 edificio residenziale

## **Configurazione 2**

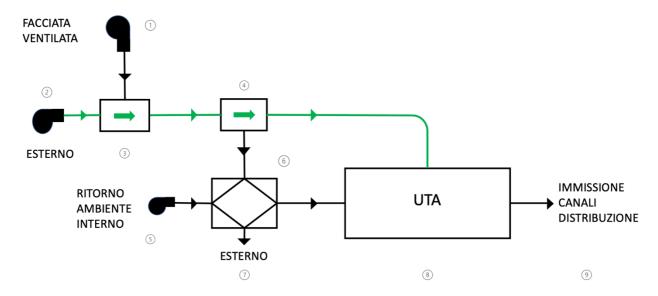


Figura 141 - Schema funzionale configurazione 2 edificio residenziale

In questo caso l'aria è proveniente direttamente dall'esterno per essere distribuita fino all'UTA. In questa condizione, il sistema di climatizzazione lavora secondo il processo di referenza, cioè utilizzare l'aria esterna di rinnovo per essere inviata, previo riscaldamento, alle rispettive abitazioni, configurazione che verrà utilizzata come termine di paragone di base per i successivi confronti tra le diverse soluzioni impiantistiche.

## **Configurazione 3**

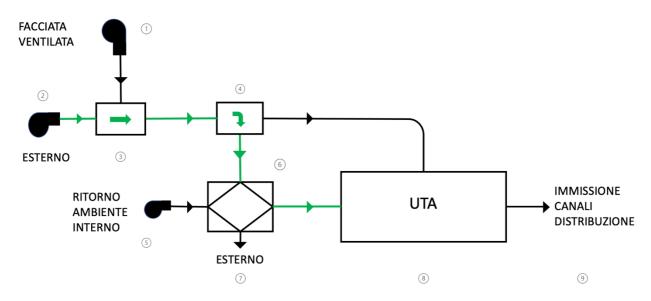


Figura 142 - Schema funzionale configurazione 3 edificio residenziale

La configurazione in esame non è stata presentata, come avvenuto per le altre, durante l'analisi del sistema sperimentale, questo poiché si è pensato di caratterizzare un sistema adatto per una abitazione unifamiliare, poco ingombrante, poco costoso e congruo, per questo elaborato, con il sistema SIBER – Doble Flujo Unifamiliar. In questo caso invece, si è

pensato di inserire questa soluzione impiantistica, sia per avere un ulteriore possibilità di confronto con una delle tipologie di impianto più utilizzate per edifici residenziali, cioè prelevare l'aria dall'esterno ed eseguire un preriscaldo dell'aria prima di essere inviata all'UTA, che per capire quanto effettivamente una combinazione tra facciata ventilata ed un sistema HVAC classico sia perseguibile. Come è possibile notare dallo schema funzionale, quindi, l'aria esterna di rinnovo viene introdotta all'interno dello scambiatore di calore, assieme al flusso d'aria che viene ripresa dagli ambienti interni, attuando un recupero termico, migliorando l'efficienza e diminuendo il carico energetico sull'UTA.

## **Configurazione 4**

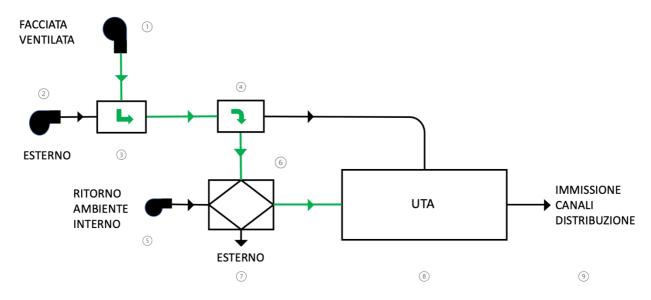


Figura 143 - Schema funzionale configurazione 4 edificio residenziale

Quest'ultima configurazione impiantistica prevede di sfruttare l'aria proveniente dalla facciata ventilata per poter essere utilizzata dall'UTA, passando però prima, per il recuperatore di calore. Naturalmente, questa condizione costituisce una configurazione [1] migliorata, al fine di ridurre la richiesta energetica al sistema, ma anche di aumentare l'efficienza generale, riutilizzando il flusso d'aria esausto di ritorno dagli ambienti interni.

Dunque, è possibile concludere richiamando le configurazioni [3] e [4] come le rispettive migliorie, attraverso l'utilizzo di un recuperatore di calore, delle configurazioni [2] e [1]. Tuttavia, tramite un opportuno sistema di controllo automatico, che permette di cambiare e combinare la soluzione impiantistica scelta, è possibile definire la configurazione [1+4], come per il sistema sperimentale, presentato nel capitolo precedente.

## Configurazione [1+4]

La strategia che sta alla base di questa nuova combinazione, è quella di sfruttare la facciata ventilata nel momento in cui, in presenza di intensa radiazione solare, la temperatura dell'aria sia molto alta, quindi vi è un effettivo guadagno energetico inviare l'aria direttamente all'UTA, senza passare per il recuperatore di calore che in questa condizione rappresenta un freno, poiché tenderà a "raffreddare" l'aria. Mentre, quando la temperatura dell'aria prodotta dalla facciata ventilata non è sufficientemente alta, è più efficiente utilizzare lo scambiatore di calore, che in questo caso, tenderà ad amplificare l'apporto di calore gratuito presente nell'aria di ritorno dagli ambienti interni, aumentando la temperatura dell'aria proveniente dalla facciata ventilata.

In sintesi, le consegne del sistema di controllo prevedono di produrre:

- La configurazione [1] quando la temperatura dell'aria all'interno della facciata ventilata sia  $T_{sup}$  > 22 °C.
- La configurazione [4] quando la temperatura dell'aria all'interno della facciata ventilata sia  $T_{sup}$  < 22 °C.

Le altre differenze di tipo impiantistico rispetto alle configurazioni presentate nel sistema sperimentale per il progetto "Habitat Sostenible" sono riferite a:

**Portata Temperatura** Efficienza **Temperature** Recuperatore di massima dell'aria di recuperatore di interna di calore introduzione in comfort [°C] calore [-] ambiente [°C] Mitsubishi LGH-0,8 2500 20 40 250RVXT-E

Tabella 17 - Dati tecnici recuperatore e termodinamici

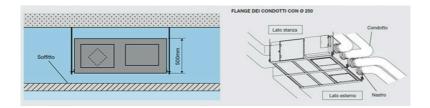
# LGH-RVXT

Unità interna canalizzata compatta per elevate portate d'aria munita di ventilatore di immissione e di rinnovo, ventilatore di espulsione dell'aria viziata, sistema filtrante, recuperatore di calore totale Lossnay e serranda di by-pass.



Figura 144 - Immagine recuperatore di calore [25]

La tipologia di componente presenta anche la possibilità di eseguire il by-pass, aspetto molto importante al fine di poter eseguire la configurazione [1+4] e quindi, poter alternare tra una condizione rispetto un'altra.



# Vantaggi

- · Nuovo Design Thin
- Tre taglie disponibili (150, 200 e 250)
- Riduzione dei consumi energetici.
- Riduzione della potenza termica necessaria per il trattamento dell'aria esterna e quindi minore potenza installata.
- Salubrità dell'ambiente.
- Miglior comfort ambientale dovuto ad un miglior controllo dell'umidità relativa.
- Maggior silenziosità (barriera acustica contro i rumori in entrata ed in uscita).
- Facilità di installazione con possibilità di collegamento da due direzioni dei canali che vanno verso l'esterno.
- Possibilità di installazione su impianti esistenti.
- Manutenzione semplificata.
- Sistema a tutta aria esterna (Free Cooling).
- · Dimensioni contenute.
- Installabili in controsoffitti ad altezza ridotta.

Figura 145 - Vantaggi recuperatore di calore [25]

La scheda tecnica del recuperatore di calore è riportata in appendice. La temperatura d'introduzione dell'aria negli ambienti interni è stata definita pari a 40°C, questo valore rappresenta il limite massimo per cui è possibile immettere l'aria in ambiente, al fine di mantenere un alto livello di comfort degli occupanti. Infatti, usualmente per buona norma durante il design degli impianti, soprattutto di quelli cosiddetti a "tutt'aria", si tende a mantenere valida la regola:

$$T_{introduzione} = T_{interna\;di\;comfort} + (da\;15\;a\;20)^{\circ}C$$

# 4.3.1 Risultati ed analisi secondo la normativa italiana

#### 4.3.1.1 Risultati ed analisi zona climatica B3

Edificio residenziale riqualificato con facciata ventilata:

L'elaborazione dei dati in output della simulazione dell'edificio residenziale ubicato nella zona climatica B3 ha riportato i seguenti risultati. È importante dire che i tre paragrafi successivi, dunque anche per le zone climatiche A4 ed E1, sono riferiti alla normativa italiana UNI 10339.

Edificio riqualificato con facciata ventilata

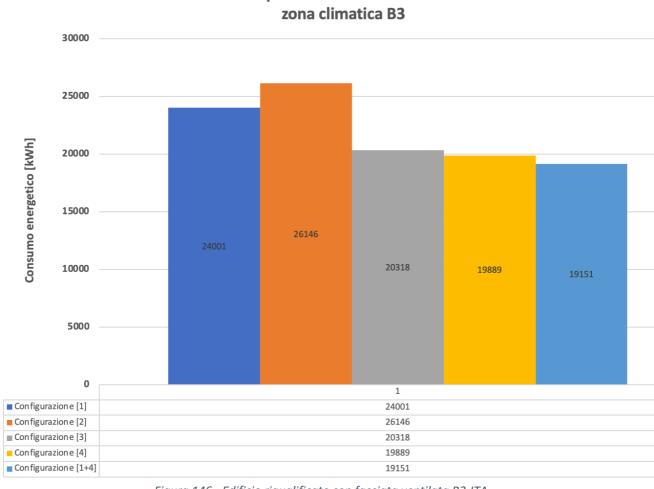


Figura 146 - Edificio riqualificato con facciata ventilata B3-ITA

I consumi energetici per l'edificio residenziale riqualificato con facciata ventilata per l'intera stagione invernale, sono riportati nel grafico. È possibile osservare che la domanda massima di energia è richiesta dalla configurazione [2], proprio perché è la condizione più gravosa, in quanto si preleva l'aria direttamente dall'esterno, infatti, utilizzando un recuperatore di calore, il valore totale si riduce notevolmente. Esaminando, invece la presenza della facciata ventilata, si può notare che la configurazione [1] e [4], costituiscono una valida soluzione nel ridurre il consumo energetico. In particolare, la configurazione [1+4] presenta la condizione più efficiente e meno energivora, attraverso un numero di ore medie giornaliere in cui viene utilizzato il by-pass pari a 5, anche rispetto la configurazione [3], che presenta un recupero

termico e costituisce una delle tipologie di impianto energetico più utilizzate negli edifici di nuova costruzione.

Eseguendo uno studio più approfondito, confrontando le differenti configurazioni, è possibile capire i guadagni energetici, utilizzando la facciata ventilata. Soprattutto, il paragone tra la strategia [1+4] e la [3] rappresenta, una valida opportunità di miglioria di un edificio moderno, attraverso la possibilità di sfruttare la facciata ventilata. Senza dover cambiare la struttura impiantistica del sistema HVAC, tantomeno non aggiungendo nessun recuperatore di calore, poiché già presente nella configurazione [3]. Quindi un risparmio energetico, oltre che economico, aspetto quest'ultimo analizzato nel prossimo capitolo.

Tabella 18 - Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata B3-ITA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	2145	0	6995	1167
Risparmio medio sistema HVAC [%]	10	0	14	6
Risparmio medio sistema HVAC 9-18 [%]	19	2	28	13
Risparmio medio sistema HVAC massimo [%]	33	25	41	27
Risparmio energetico giornaliero medio [kW]	45,1	21,1	53,2	24,64
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	19	6	20	19

 Risparmio medio sistema HVAC: è calcolato attraverso il risparmio percentuale tra i consumi per un giorno, ed in seguito facendo la media su tutta la stagione invernale.
 Ad esempio per il confronto [1]-[2]:

$$media_{stagione\ riscaldamento}\left[\left(\frac{Consumo_{[2]}-Consumo_{[1]}}{Consumo_{[2]}}\right)*100
ight]$$

- Risparmio medio sistema HVAC 9-18: rappresenta lo stesso valore calcolato in ugual maniera al precedente, però ristretto al solo arco di tempo dalle ore 9:00 alle ore 18:00, in modo da enfatizzare, ed entrare di più nel dettaglio, sul comportamento delle configurazioni, in presenza di radiazione solare, soprattutto per le strategie che prelevano l'aria dalla facciata ventilata.
- Risparmio medio sistema HVAC massimo: è costituito dal risparmio giornaliero massimo raggiungibile, dunque il massimo valore di energia risparmiato in un giorno, a cui successivamente è stata eseguita la media per tutta la stagione di riscaldamento.
- Risparmio energetico giornaliero medio: è calcolato semplicemente sommando i Watt risparmiati ogni ora durante un giorno, ed in seguito facendo la media per tutta la stagione di riscaldamento.
- Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora: Numero di ore in un giorno, dunque sulle 24 ore, per cui era valida la seguente relazione, ed in seguito è stata eseguita la media su tutta la stagione invernale. Ad esempio per il confronto [1] [2]:

# $Consumo_{[1]} < Consumo_{[2]}$

In generale, è possibile notare un risparmio energetico generale, semplicemente attuando le strategie in presenza della facciata ventilata rispetto sia alla configurazione con e senza recuperatore, rispettivamente [3] e [2]. Soltanto, in un caso non è conveniente da un punto di vista energetico, cioè nel paragone [1] con [3], ma è possibile osservare, che durante le ore centrali del giorno, inteso nell'arco di tempo dalle ore 9:00 alle ore 18:00, vi è comunque una percentuale di riduzione della domanda energetica, con valor medio del 2% e picchi del 25%, questo è dovuto all'apporto della radiazione solare. Ciò significa che, utilizzando ad esempio la configurazione [1] anziché la [2], durante le ore centrali del giorno, ci permette di risparmiare circa il 20 % di energia, riducendo il carico sul sistema HVAC.

## Edificio residenziale riqualificato senza facciata ventilata:

Da notare che in questa tipologia di edificio non è presente la facciata ventilata perciò, non è possibile conseguire i consumi attraverso le configurazioni in cui si preleva l'aria dalla camera ventilata, quindi le strategie [1], [4] e [1+4]. Dunque, i consumi relativi a queste configurazioni sono riferiti all'edificio riqualificato con facciata ventilata, presentato precedentemente. Soltanto le configurazioni, in cui si utilizza l'aria esterna, quindi [2] e [3], sono state simulate. Questo aspetto è stato eseguito al fine di confrontare sia energeticamente che economicamente, gli effettivi vantaggi che presenta un moderno edificio con materiali e dispositivi-impianti performanti ed efficienti, rispetto un edificio seppur riqualificato, quindi con isolante e cappotto esterno, che però non possiede una facciata ventilata. Inoltre, questa tipologia di edificio riqualificato è molto presente nelle tipiche costruzioni degli ultimi anni, in alcune città o regioni, anche molto più presente rispetto ad edifici con facciata ventilata, questo poiché comunque il parco degli edifici residenziali soprattutto italiani è molto datato, quindi con strutture risalenti agli anni '90 o addirittura '80, caso quest'ultimo che sarà oggetto del confronto successivo.

Tabella 19 - Edificio riqualificato B3-ITA

Configurazione	Consumo di energia dal 15/10 al 31/12 [kWh]	Consumo di energia dal 1/01 al 15/04 [kWh]	Consumo totale stagione di riscaldamento [kWh]
[1]	8419,1	15581,5	24001
[2]	10933,4	20758,7	31692
[3]	8770,2	15857,4	24628
[4]	7115,3	12773,5	19889
[1+4]	6876,3	12274,55	19151

Nella tabella si può notare il salto nei consumi totali per una stagione di riscaldamento. Nello specifico si osserva che un edificio moderno con sola facciata ventilata che lavora con un impianto HVAC, attraverso la sola configurazione [1] riesce ad essere più efficiente rispetto ad un edificio più datato, che tuttavia lavora con un recuperatore di calore, quindi secondo la configurazione [3].

Tabella 20 - Risparmio edificio riqualificato B3-ITA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	7691	627	12541	5477
Risparmio medio sistema HVAC [%]	25	4	100	23
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	32	18	100	28
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	44	38	100	40
Risparmio energetico giornaliero [kW]	162,7	51,3	264,5	117,3
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	24	11	24	24

## Edificio residenziale risalente agli anni '80:

Anche in questo caso, l'edificio simulato non possiede la facciata ventilata perciò si sono calcolati i consumi soltanto delle configurazioni [2] e [3], mentre le restanti appartengono all'edificio riqualificato con facciata ventilata. Lo scopo di questo approccio, è simile al caso precedente, cioè per l'edificio riqualificato, cioè quello di evidenziare il notevole distacco da un punto di vista energetico che si ha tra edifici risalenti agli anni '80 come in questo caso, ed edifici moderni. Si può comprendere che in questo caso il termine di paragone è molto peggiore rispetto all'edificio con facciata ventilata, ma tuttavia come affermato nei primi capitoli, nello specifico in Figura 4, la maggior parte degli edifici risale a prima degli anni '80.

Tabella 21 - Edificio anni '80 B3-ITA

Configurazione	Consumo di energia dal 15/10 al 31/12 [kWh]	Consumo di energia dal 1/01 al 15/04 [kWh]	Consumo totale stagione di riscaldamento [kWh]
[1]	8419,1	15581,5	24001
[2]	21866,8	41517,5	63384
[3]	17540,5	31714,9	49255
[4]	7115,3	12773,5	19889
[1+4]	6876,3	12274,55	19151

Naturalmente, il salto energetico tra le diverse configurazioni è davvero notevole, si supera anche il doppio del consumo energetico tra un edificio con facciata ventilata, configurazione [1] ed un edificio con recuperatore di calore degli anni '80, configurazione [3].

Tabella 22 - Risparmio edificio anni '80 B3-ITA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	39384	25255	44233	30104
Risparmio medio sistema HVAC [%]	63	51	100	61
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	66	59	100	64
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	72	69	100	70
Risparmio energetico giornaliero [kW]	835,2	546,3	942,4	648,2
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	24	24	24	24

#### 4.3.1.2 Risultati ed analisi zona climatica A4

## Edificio riqualificato con facciata ventilata:

In figura vengono riportati i consumi relativi alle differenti configurazioni per un edificio riqualificato con facciata ventilata, situato nella zona termica A4, a titolo esemplificativo, si può pensare alla città di Almeria, nel Sud della Spagna.

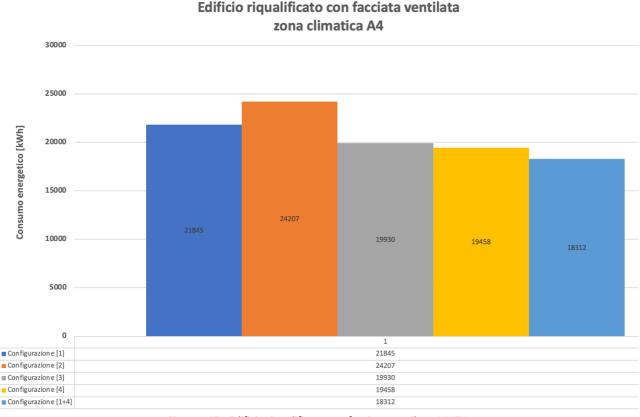


Figura 147 - Edificio riqualificato con facciata ventilata A4-ITA

Anche in questo caso il trend di risparmio energetico è simile alla zona climatica B3. Tuttavia, è da considerare il fatto che questa zona climatica sia caratterizzata da un clima molto meno rigido, dunque i consumi per il riscaldamento durante la stagione invernale, sono inferiori come valori assoluti. Infatti, la configurazione [1+4], con un numero di ore giornaliere in media in cui viene attuato il by-pass pari a 13, riesce a ridurre il consumo da 19151 kWh in Castellòn, a 18312 kWh ad Almeria.

I valori di risparmio energetico sono circa simili se confrontati con la posizione geografica precedente. Ad ogni modo, il risparmio energetico tra le configurazioni [1+4] e [3] rapportato al valore precedente è maggiore, cioè 1617 kWh in Almeria e 1167 kWh in Castellòn. Questo potrebbe essere motivato, dal fatto che le ore con forte intensità di energia solare, in questa zona climatica più soleggiata sono maggiori, quindi la facciata ventilata ha un apporto maggiore di energia su cui contare, potendo dunque usufruire di maggior energia per attuare un recupero termico durante le ore centrali del giorno ed in generale, gravando meno sull'impianto di climatizzazione HVAC.

Tabella 23 - Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata A4-ITA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	2362	0	5715	1617
Risparmio medio sistema HVAC [%]	11	0	14	8
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	22	11	26	18
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	37	34	44	35
Risparmio energetico giornaliero [kW]	49,7	32,5	57,1	34,9
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	19	7	20	19

# Edificio residenziale riqualificato:

Il percorso concettuale è uguale ai rispettivi edifici, nella zona climatica precedente. Quindi, le configurazioni [1], [4] e [1+4] essendo presenti solo nell'edificio riqualificato con facciata ventilata, sono stati riportati i medesimi valori. Mentre i valori delle configurazioni [2] e [3] sono quelli rielaborati rispetto gli output della simulazione.

Tabella 24 - Edificio riqualificato A4-ITA

Configurazione	Consumo di energia dal 15/10 al 31/12 [kWh]	Consumo di energia dal 1/01 al 15/04 [kWh]	Consumo totale stagione di riscaldamento [kWh]
[1]	7508,8	14336	21845
[2]	9917,5	19424,5	29342
[3]	8567	15591	24158
[4]	6933,4	12524,6	19458
[1+4]	6502,9	11809,1	18312

Tabella 25 - Risparmio edificio riqualificato A4-ITA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	7497	2313	11029	5845
Risparmio medio sistema HVAC [%]	27	11	100	24
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	36	26	100	32
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	48	45	100	46
Risparmio energetico giornaliero [kW]	158,1	71,9	230,8	125,8
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	24	14	24	24

Naturalmente, anche in questo caso, i valori di risparmio energetico sia complessivo che puntuali sono maggiori, proprio perché ci si sta confrontando con un edificio con minori capacità di efficientamento energetico vista la mancanza di una facciata ventilata. Tuttavia, l'edifico residenziale in esame possiede un cappotto esterno, che lo rende più isolato e meno propenso a disperdere calore attraverso l'involucro. Quindi, nonostante questa qualità costruttiva, tutte configurazioni che presentano una facciata ventilata riescono comunque a raggiungere picchi di parsimonia energetica prossimi al 50%.

Notevole è anche il risparmio energetico giornaliero medio in cui si riesce a risparmiare ben oltre i 100kW nella configurazione [1+4], sia rispetto alla condizione [3], che alla strategia [2], che comunque è da identificare come una situazione limite, in quanto è molto difficile al giorno d'oggi che un edificio non possieda uno scambiatore per eseguire un recupero termico, ma preleva l'aria direttamente dall'esterno.

## Edificio residenziale risalente agli anni '80:

In questa circostanza, allo stesso modo come per le altre condizioni, le strategie [1],[4] e [1+4] vengono riportate rispetto l'edificio riqualificato con facciata ventilata, le restanti vengono calcolate rispetto i risultati ottenuti dalla simulazione.

Tabella 26 - Edificio anni '80 A4-ITA

Configurazione	Consumo di energia dal 15/10 al 31/12 [kWh]	Consumo di energia dal 1/01 al 15/04 [kWh]	Consumo totale stagione di riscaldamento [kWh]
[1]	7508,8	14336	21845
[2]	19835	38848	58683
[3]	17134	31181	48315
[4]	6933,4	12524,6	19458
[1+4]	6502,9	11809,1	18312

Tabella 27 - Risparmio edificio anni '80 A4-ITA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	36838	26470	40371	30002
Risparmio medio sistema HVAC [%]	63	56	100	62
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	68	63	100	66
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	74	73	100	73
Risparmio energetico giornaliero [kW]	783,4	573,3	856,1	646
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	24	24	24	24

In questa sezione sono ancor più evidenti i guadagni energetici, nelle diverse comparazioni, soprattutto tra la strategia [1+4] e la [3], dove si superano i 30MWh di energia risparmiata in una stagione completa di riscaldamento.

#### 4.3.1.3 Risultati ed analisi zona climatica E1

## Edificio riqualificato con facciata ventilata:

Nel grafico è possibile rilevare i consumi energetici per un'intera stagione di riscaldamento, per ognuna delle configurazioni analizzate, riferite ad un edificio residenziale riqualificato con facciata ventilata, situato nella zona climatica E1, che per semplicità può essere ricondotta alla località di Soria, nel Nord della Spagna. Questa condizione climatica presenta un clima rigido, freddo, con poca radiazione solare, soprattutto durante l'inverno. Dunque, queste condizioni atmosferiche costituiscono le peggiori condizioni da un punto di vista di apporto solare per cui la facciata ventilata può essere sottoposta.

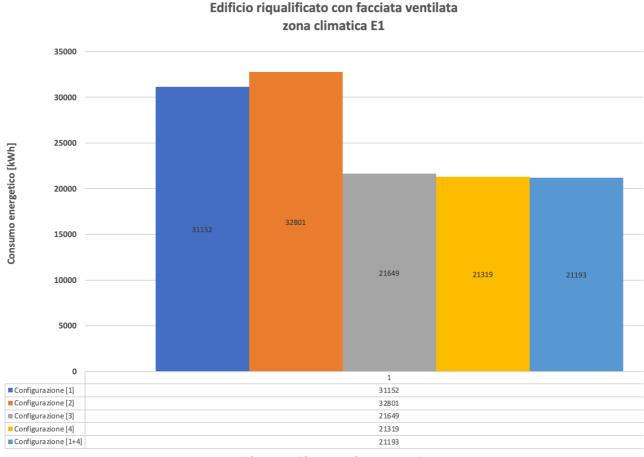


Figura 148 - Edificio riqualificato con facciata ventilata E1-ITA

In una prima analisi, si può notare anche visivamente che i consumi energetici, sono cresciuti in maniera uniforme, per tutte le configurazioni, questo perché condizioni climatiche sono più critiche, dunque si necessita di maggior energia per riscaldare gli ambienti e mantenerli ad una temperatura interna di comfort. Tuttavia, però si può notare una significativa differenza rispetto le configurazioni [1] e [2], e le altre, questo è motivato dalla presenza del recuperatore di calore, che soprattutto in climi molto freddi, soltanto l'apporto di uno scambiatore di calore, permette di ridurre i consumi notevolmente. Questo, indirettamente associato alla mancanza di apporti solari per via di bassa radiazione solare, produce delle

condizioni leggermente sfavorevoli per la facciata ventilata, soprattutto se comparata con la strategia [3], in cui si ha un risparmio minimo, anche se presente.

Infine, davvero lieve è il vantaggio di combinare la configurazione [1] con la [4], rispetto alla sola strategia [4], quindi attuare il by-pass, che in questo caso è avvenuto in media per circa 6 ore al giorno, in queste condizioni è poco efficiente, poiché l'apporto solare è minimo.

Tabella 28 -Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata E1-ITA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	1650	0	11608	456
Risparmio medio sistema HVAC [%]	6	0	6	2
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	10	0	12	4
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	20	0	24	10
Risparmio energetico giornaliero [kW]	35,5	4,7	44,2	9,6
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	19	1	20	18

È importante affermare che se confrontiamo la facciata ventilata rispetto alla configurazione [2], quindi senza utilizzare il recuperatore di calore, si ha un risparmio energetico in percentuale maggiore rispetto ai paragoni eseguiti precedentemente, questo, significa che anche una lieve presenza di radiazione solare, all'interno di un clima freddo, quindi con temperature esterne molto basse, possiede un peso specifico in termini di risparmio energetico molto più consistenti. Ecco dunque che, è possibile costituire le condizioni ottimali per lo sviluppo ed utilizzo della facciata ventilata, cioè zone con climi molto freddi, quindi una temperatura esterna bassa, ed una radiazione solare frequente ed alta, quindi luoghi ben soleggiati o esposti ai raggi solari. In modo da coadiuvare la necessità di un apporto aggiuntivo al sistema di riscaldamento, in questo caso di climatizzazione, cioè l'impianto HVAC, e la possibilità di sfruttare i principi della facciata ventilata grazie alla radiazione solare che riesce a riscaldare l'aria presente nell'intercapedine.

# Edificio residenziale riqualificato:

Le configurazioni [2] e [3] sono state elaborate grazie ai risultati ottenuti dalla simulazione, mentre le configurazioni [1], [4] e [1+4] sono riferite all'edificio riqualificato con facciata ventilata.

Tabella 29 - Edificio riqualificato E1-ITA

Configurazione	Consumo di energia dal 15/10 al 31/12 [kWh]	Consumo di energia dal 15/10 al 31/12 [kWh]	Consumo totale stagione di riscaldamento [kWh]
[1]	11060	200092	31152
[2]	13951	25808	39759
[3]	9374	16867	26241
[4]	7643,5	13675,5	21319
[1+4]	7606	13587	21193

In questo caso, a differenza dello stesso edificio ma situato in zona climatica A4, non vi è un guadagno tra le configurazioni [1] e [3], motivo ben riconducibile alla presenza del recuperatore di calore, la cui presenza è essenziale in climi così rigidi. Infine, i risparmi in percentuali in media sono circa sempre inferiori al 30 %, questo denota la poca viabilità di questa soluzione in queste condizioni.

Tabella 30 - Risparmio edificio riqualificato E1-ITA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	8607	0	18566	5048
Risparmio medio sistema HVAC [%]	22	0	100	20
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	26	10	100	21
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	34	38	100	26
Risparmio energetico giornaliero [kW]	183,3	14,3	396,5	108,6
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	24	4	24	24

## Edificio residenziale risalente agli anni '80:

Anche per questa simulazione si è optato per la scelta di riportare le configurazioni [1], [4] e [1+4] dall'edificio riqualificato con facciata ventilata, mentre le strategie [2] e [3], in cui si preleva l'aria dall'esterno, sono effettivamente simulabili dal modello. Chiaramente, questa simulazione rappresenta la peggiore da un punto di vista energetico, poiché si sta esaminando un edificio poco performante ed efficiente, per di più in una condizione climatica molto gravosa, come la zona climatica E1, per questo si ottengono i valori maggiori di consumo energetico, in questo caso si è prossimi agli 80 MWh.

Tabella 31 - Edificio anni '80 E1-ITA

Configurazione	Consumo di energia dal 15/10 al 31/12 [kWh]	Consumo di energia dal 15/10 al 31/12 [kWh]	Consumo totale stagione di riscaldamento [kWh]
[1]	11060	200092	31152
[2]	27904	51615	79519
[3]	18748	33734	52482
[4]	7643,5	13675,5	21319
[1+4]	7606	13587	21193

Interessante è il guadagno energetico che si presenta tra la configurazione [1+4] e la [3] per cui si ha stabilmente un valore di riduzione in percentuale pari al 60 %, dimostrando che comunque, la facciata ventilata combinata ad un recuperatore di calore, possiede notevoli vantaggi anche in condizioni climatiche difficili.

Tabella 32 - Risparmio edificio anni '80 E1-ITA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] — [2]	Configurazione [1+4] — [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	48367	21330	58325	31289
Risparmio medio sistema HVAC [%]	61	41	100	60
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	63	46	100	60
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	67	55	100	63
Risparmio energetico giornaliero [kW]	1037,2	461,4	1250,3	674,5
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	24	24	24	24

# 4.3.2 Risultati ed analisi secondo la normativa spagnola

#### 4.3.2.1 Risultati ed analisi zona climatica B3

I successivi paragrafi associati alle zone climatiche B3, A4 ed E1 sono riferiti alla normativa spagnola per l'igiene degli ambienti interni e la qualità dell'aria, quindi la CTE HS3 DB dell'anno 2006, che definisce una portata diversa circolante nell'impianto al fine di soddisfare le richieste energetiche degli ambienti interni.

## Edificio riqualificato con facciata ventilata:

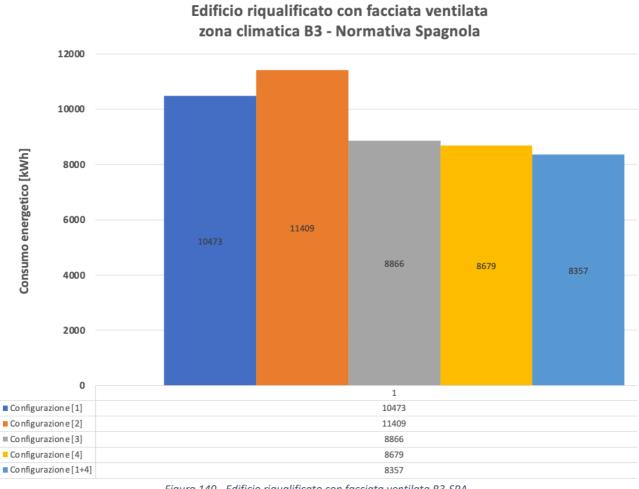


Figura 149 - Edificio riqualificato con facciata ventilata B3-SPA

Un'analisi in prima battuta riporta immediatamente delle differenze sulla domanda di energia per l'intera stagione di riscaldamento, infatti, ci si attesta a valori decisamente inferiori rispetto a quelli riferiti alla normativa italiana. Questo è spiegato innanzitutto, dalla variazione di portata d'aria, in quella spagnola è inferiore a circa la metà, questo non solo comporta una riduzione energetica ma anche economica, poiché è inferiore il volume d'aria da riscaldare per raggiungere quella temperatura d'introduzione e quindi la temperatura interna di comfort degli occupanti. Ma, in secondo luogo, prendendo per assodato il valore

riportato in normativa, dunque immaginando che attraverso quel volume d'aria si riesce comunque a garantire uno status di comfort per gli occupanti ed un livello di qualità dell'aria adeguato, si scaturiscono diversi aspetti da riconsiderare, come la movimentazione del volume d'aria, le dimensioni dei canali che sarebbero inferiori, quindi minor materiale impiegato, in generale una UTA (Unità Trattamento Aria) adeguata a queste condizioni, il tutto cambierebbe, seppur in parte, l'approccio per l'introduzione di questa tipologia di impianti negli edifici, soprattutto in quelli difficili da riqualificare, con minor spazio e costi d'investimento. La strategia [1+4] anche in questo caso, ovviamente, rappresenta la configurazione più efficiente, con un numero di ore in cui è attuato il by-pass pari a 5.

Tabella 33 -Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata B3-SPA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	936	0	3052	509
Risparmio medio sistema HVAC [%]	9	0	10	6
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	19	1	21	13
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	34	25	39	27
Risparmio energetico giornaliero [kW]	19,6	9,5	28,2	10,7
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	19	6	19	19

Naturalmente, riducendo la portata d'aria a circa la metà, in percentuale si mantiene lo stesso livello di risparmio tra una normativa e l'altra a parità di edificio residenziale considerato zona climatica, ma si riduce in valore assoluto la quantità di energia che effettivamente si risparmia, quindi un eventuale guadagno sia energetico che economico complessivo, andrebbe a essere compensato da un lieve risparmio, secondo un'ottica di confronto con altre strategie.

# Edificio residenziale riqualificato:

Da notare che non è presente la facciata ventilata in questa tipologia di edificio, perciò non è possibile conseguire i consumi attraverso le configurazioni [1], [4] e [1+4] cioè in cui si preleva l'aria dalla camera ventilata, esattamente per come avveniva nell'analisi basata sulla normativa italiana.

Tabella 34 - Edificio riqualificato B3-SPA

Configurazione	Consumo di energia dal 15/10 al 31/12 [kWh]	Consumo di energia dal 1/01 al 15/04 [kWh]	Consumo totale stagione di riscaldamento [kWh]
[1]	3674	6799	10473
[2]	10934	20758	31692
[3]	8771	15857	24628
[4]	3105	5574	8679
[1+4]	3001	5356	8357

Tabella 35 - Risparmio edificio riqualificato B3-SPA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	21219	14155	23335	16271
Risparmio medio sistema HVAC [%]	67	58	100	66
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	70	65	100	68
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	76	73	100	74
Risparmio energetico giornaliero [kW]	453	305,9	497,5	350,4
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	24	24	24	24

# Edificio residenziale risalente agli anni '80:

Anche per questa simulazione, soltanto i consumi energetici delle configurazioni [2] e [3] sono stati elaborati, mentre le restanti configurazioni sono state riportate dall'effettiva simulazione in cui sono stata ricavate, cioè nell'edificio riqualificato con facciata ventilata.

Tabella 36 -Edificio anni '80 B3-SPA

Configurazione	Consumo di energia dal 15/10 al 31/12 [kWh]	Consumo di energia dal 1/01 al 15/04 [kWh]	Consumo totale stagione di riscaldamento [kWh]
[1]	3674	6799	10473
[2]	21866,8	41517,5	63384
[3]	17540,5	31714,9	49255
[4]	3105	5574	8679
[1+4]	3001	5356	8357

Tabella 37 - Risparmio edificio anni '80 B3-SPA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	52911	38782	44233	40898
Risparmio medio sistema HVAC [%]	84	79	100	83
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	85	82	100	84
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	87	86	100	86
Risparmio energetico giornaliero [kW]	1131	837,1	942,4	880,7
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	24	24	24	24

#### 4.3.2.2 Risultati ed analisi zona climatica A4

Edificio riqualificato con facciata ventilata:

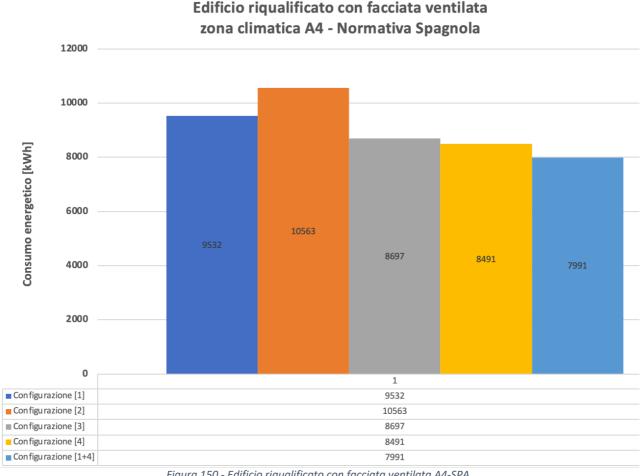


Figura 150 - Edificio riqualificato con facciata ventilata A4-SPA

I risultati ottenuti per quanto riguarda l'edificio riqualificato con facciata ventilata, sono riportati nel grafico, in cui si può notare la poca differenza tra le diverse configurazioni, dove tutte sono raccolte in circa 2000 kWh. Questo è principalmente motivato dalla zona climatica A4, in cui il clima è poco rigido, quindi anche una eventuale condizione in cui si preleva l'aria dall'esterno, non è particolarmente gravosa per l'impianto di climatizzazione HVAC.

È evidente che in considerazione all'effettivo volume d'aria da riscaldare per il comfort degli occupanti, può assumere un peso specifico diverso la zona climatica in cui ci si trova, poiché, questo potrebbe influenzare in maniera più profonda la facilità nel gestire il volume d'aria, anche quando proviene dall'esterno, rendendo meno vantaggioso l'utilizzo di un recuperatore di calore oppure di una facciata ventilata.

In questo caso, per un numero di ore pari a 12, è stato necessario azionare il by-pass, in modo da efficientare la configurazione [1+4].

Tabella 38 - Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata A4-SPA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	1031	0	2572	706
Risparmio medio sistema HVAC [%]	11	0	14	8
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	22	11	26	18
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	37	34	44	35
Risparmio energetico giornaliero [kW]	21,5	14,1	26,4	15,3
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	19	7	19	19

# Edificio residenziale riqualificato:

Per questa sezione sono state riportati i valori delle configurazioni [1], [4] e [1+4], riferite all'edificio riqualificato con facciata ventilata, in quanto in quella tipologia era possibile ottenere queste caratteristiche impiantistiche attraverso la simulazione. Di seguito, è possibile apprezzare i confronti con un edificio meno performante, dimostrando l'effettiva differenza nei consumi energetici.

Tabella 39 - Edificio riqualificato A4-SPA

Configurazione	Consumo di energia dal 15/10 al 31/12 [kWh]	Consumo di energia dal 1/01 al 15/04 [kWh]	Consumo totale stagione di riscaldamento [kWh]
[1]	3276	6256	9532
[2]	9918	19424	29342
[3]	8568	15590	24158
[4]	3026	5465	8491
[1+4]	2838	5153	7991

Tabella 40 - Risparmio edificio riqualificato A4-SPA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	19809	14625	21351	16167
Risparmio medio sistema HVAC [%]	68	61	100	67
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	72	67	100	71
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	77	77	100	77
Risparmio energetico giornaliero [kW]	420,3	316,3	462,6	348,6
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	24	14	24	24

# Edificio residenziale risalente agli anni '80:

Anche in questo caso, si è potuto calcolare per l'edificio risalente agli anni '80, soltanto le configurazioni [2] e [3], cioè quelle in cui si preleva l'aria dall'esterno, riportando le restanti dalla simulazione in cui si utilizza l'aria dall'intercapedine, cioè riferita all'edificio riqualificato con facciata ventilata

Tabella 41 - Edificio anni '80 A4-SPA

Configurazione	Consumo di energia dal 15/10 al 31/12 [kWh]	Consumo di energia dal 1/01 al 15/04 [kWh]	Consumo totale stagione di riscaldamento [kWh]
[1]	3276	6256	9532
[2]	19835	38848	58683
[3]	17134	31181	48315
[4]	3026	5465	8491
[1+4]	2838	5153	7991

Tabella 42 -Risparmio edificio anni '80 A4-SPA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	49151	38783	50692	40324
Risparmio medio sistema HVAC [%]	84	80	100	84
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	86	84	100	85
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	89	88	100	89
Risparmio energetico giornaliero [kW]	1002,3	839,2	1107	878
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	24	24	24	24

#### 4.3.2.3 Risultati ed analisi zona climatica E1

Edificio riqualificato con facciata ventilata:

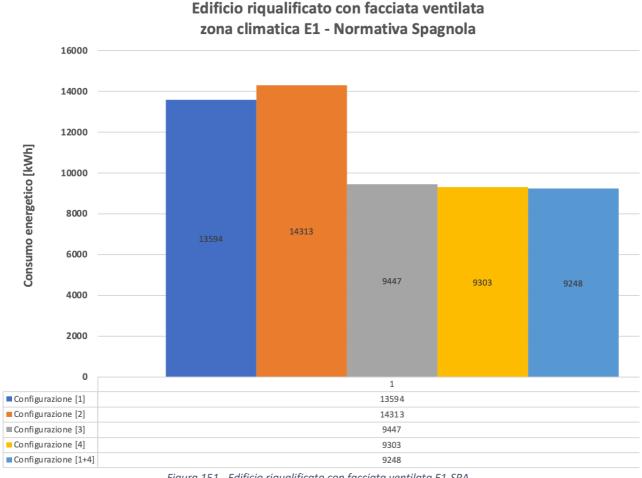


Figura 151 - Edificio riqualificato con facciata ventilata E1-SPA

Ancor più evidente in questa sezione, è l'importanza del recuperatore di calore soprattutto nella configurazione [3], poiché riducendo il volume d'aria necessario, ciò comporta che lo scambiatore di calore, che lavora mettendo in comunicazione indiretta il flusso proveniente dagli ambienti interni con l'aria esterna, riesce ad essere molto efficiente, riuscendo a riscaldare l'aria circolante nell'impianto, coprendo gran parte della domanda di energia, soprattutto in climi cosi duri e rigidi come la zona climatica E1.

Neppur la configurazione [1+4] riesce a garantire un apporto significativo rispetto alla strategia citata precedentemente. Mentre invece, utilizzando il by-pass per circa 6 ore in media durante ogni giorno, nella stagione di riscaldamento, è possibile migliorare significativamente il consumo energetico rispetto la configurazione [2], che appunto è priva di recuperatore di calore.

Tabella 43 - Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata E1-SPA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	720	0	5065	199
Risparmio medio sistema HVAC [%]	6	0	8	2
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	10	0	14	4
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	20	0	29	10
Risparmio energetico giornaliero [kW]	16,4	0	21,2	4,3
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	18	1	19	18

#### Edificio residenziale riqualificato:

Da notare che non è presente la facciata ventilata in questa tipologia di edificio analizzato, perciò, non è possibile conseguire i consumi attraverso le configurazioni in cui si preleva l'aria dalla camera ventilata, quindi la [1], [4] e [1+4].

Tabella 44 - Edificio riqualificato E1-SPA

Configurazione	Consumo di energia dal 15/10 al 31/12 [kWh]	Consumo di energia dal 15/10 al 31/12 [kWh]	Consumo totale stagione di riscaldamento [kWh]
[1]	4827	8767	13594
[2]	13952	25807	39759
[3]	9374	16867	26241
[4]	3335	5968	9303
[1+4]	3319	5929	9248

Tabella 45 - Risparmio edificio riqualificato E1-SPA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	26166	12648	30512	16993
Risparmio medio sistema HVAC [%]	66	49	100	65
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	67	53	100	65
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	71	60	100	68
Risparmio energetico giornaliero [kW]	558	273,3	655,4	367,3
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	24	24	24	24

### Edificio residenziale risalente agli anni '80:

I consumi riferiti all'edificio residenziale risalente agli anni '80, sono effettivamente quelli della configurazione [2] e [3], poiché in esso non è presente la facciata ventilata.

Tabella 46 - Edificio anni '80 E1-SPA

Configurazione	Consumo di energia dal 15/10 al 31/12 [kWh]	Consumo di energia dal 15/10 al 31/12 [kWh]	Consumo totale stagione di riscaldamento [kWh]
[1]	4827	8767	13594
[2]	27904	51615	79519
[3]	18745	33734	52582
[4]	3335	5968	9303
[1+4]	3319	5929	9248

Tabella 47 - Risparmio edificio anni '80 E1-SPA

Confronto	Configurazione [1] – [2]	Configurazione [1] – [3]	Configurazione [1+4] – [2]	Configurazione [1+4] – [3]
Risparmio totale stagione di riscaldamento [kWh]	65925	38889	70271	43234
Risparmio medio sistema HVAC [%]	83	74	100	82
Risparmio sistema HVAC 9-18 [%]	84	77	100	83
Risparmio sistema HVAC massimo [%]	85	80	100	84
Risparmio energetico giornaliero [kW]	1425	839,3	1502	932,4
Tempo medio giornaliero in cui la configurazione è meno energivora [h]	24	24	24	24

# CAPITOLO 5 VALUTAZIONE ECONOMICA DEL PROGETTO

#### 5.1 Vantaggi e svantaggi economici

L'analisi e lo studio di un sistema sperimentale, basato su una facciata ventilata ed una possibile applicazione futura sia in un edificio residenziale plurifamiliare classico, attraverso un punto di vista concreto per una fattibilità energetica impiantistica, è stato eseguito, seppur con qualche ipotesi di gestione e controllo, nei capitoli precedenti. Tuttavia, le possibili disamine ed approfondimenti, possono essere basati su molteplici ambiti, quali quello del comfort termo-igrometrico degli occupanti, comfort acustico e visivo, benessere e qualità dell'aria, impatto ambientale sia per la costruzione, gestione e dismissione di edifici con facciata ventilata e sistemi impiantistici annessi, ma soprattutto in termini di produzione di emissioni in atmosfera come nel caso dell'anidride carbonica, inoltre, tra le considerazioni ed indagini più importanti da seguire al giorno d'oggi vi sono quelle economiche dell'intero progetto, che sia di piccola o larga scala; in generale, il vettore pecuniario rappresenta uno dei motori principali per la realizzazione di opere, in questo caso energetiche, nella società odierna.

La valutazione economica dello studio prevede di qualificare i rispettivi vantaggi e svantaggi di un'opera, da un punto di vista economico, per poter trarre un bilancio conclusivo che sia positivo o negativo. A questo proposito, è importante dire che i vantaggi energetici e quelli economici si sviluppano spesso sulla stessa lunghezza d'onda, poiché una riduzione di consumi, diminuisce la domanda energetica, quindi la spesa annua, in questo caso di una famiglia che abita in un edificio residenziale. Naturalmente, l'economia globale lavora su altri ritmi e criteri riguardanti l'effettivo prezzo dei beni energetici, soprattutto quando i consumi e dunque la domanda diminuiscono, ma questo aspetto di economia e finanza globale non è oggetto di questo elaborato.

L'idea principale di questa analisi è quella di capire quanto effettivi sono i vantaggi energetici rispetto ad una spesa iniziale, sia per la riqualificazione di un edificio che per l'utilizzo di una facciata ventilata. Comprendere il costo d'investimento al principio del progetto, permette di capire se i vantaggi energetici siano perseguibili nel tempo. Sono molteplici gli aspetti da considerare per poter quantificare al fine di definire un costo sia specifico che globale dell'intero progetto. Si possono identificare diversi aspetti che rientrano in questa analisi dei costi:

- Materiali: produzione, manutenzione e "life-time issue";
- Mano d'opera: dinamiche occupazionali ed installazione in situ;
- Impianto di climatizzazione HVAC: a partire da ogni singolo elemento dell'UTA, fino al supporto a serrande di deviazione, ventilatori, canali di distribuzione dell'aria, scambiatore di calore per il recupero termico.
- Sistema di controllo: elaborazione e attuazione del sistema di controllo che gestisce le richieste non solo di comfort interno degli occupanti, ma anche le differenti

consegne dell'impianto, potendo quindi cambiare e/o combinare differenti combinazioni;

 Presumibile riduzione del costo delle tassazioni energetiche: infatti, commisurato ad un risparmio energetico vi si può immaginare, un conseguente risparmio economico rispetto al sistema di tassazione della fornitura e gestione dell'energia. Questo concetto, tuttavia, dipende da dinamiche fluttuanti e variabili, che a sua volta dipendono da fattori economici e finanziari nazionali ed internazionali, che possono influenzare il prezzo dell'energia in generale.

Inoltre, vi sono delle voci di influenza economica, in termini di vantaggi, non prettamente pecuniari, ma che indirettamente potrebbero portare ad una crescita del valore economico dell'ambiente, in questo caso dell'edificio residenziale, durante un periodo secondario rispetto agli effettivi vantaggi iniziali, nello specifico:

- Valorizzazione dell'intero immobile: una crescita dell'efficienza energetica delle abitazioni presenti nell'edificio, comporta un aumento nella classe energetica dell'edificio stesso, comportando quindi un notevole aumento del valore in sé della struttura.
- Aumento del comfort termico, acustico e visivo: la riqualificazione dell'immobile permette una capacità dell'involucro opaco, assieme al sistema di climatizzazione di poter assicurare un grado di comfort più alto ed uniforme nel tempo. Inoltre, la presenza della facciata ventilata permette di ridurre eventuali disturbi acustici provenienti da dinamiche urbane, soprattutto in località cittadine, ed infine, anche da un punto di vista visivo rispetto ad un ambiente più sobri ed accogliente.
- Aumento del valore artistico architettonico dell'intera struttura: soprattutto la presenza della facciata ventilata permette di poter utilizzare la superficie ceramica esterna, come strumento di espressione artistica, migliorando la presentazione stessa dell'intero edificio.
- Aumento dell'impatto visivo in un ambito cittadino: l'immobile può divenire una vera e propria caratteristica distintiva della zona, rappresentando un punto di riferimento per le sue peculiarità artistico-visive.

In generale, questi ultimi aspetti appena descritti sono molto più difficili da quantificare e caratterizzare, nel loro apporto economico, per via di numerosi fattori da tenere in considerazione, nonché la necessita di analizzare altri fattori che possono influenzare ognuna di queste voci. Anche per questa motivazione, questi aspetti non sono oggetto di questo elaborato, ma che tuttavia in un progetto del genere, è importante tenere in considerazione, al fine di avere un quadro dei vantaggi e svantaggi più chiaro, ampio ed uniforme possibile.

In contrapposizione alle molteplici voci di vantaggio economico presentate in precedenza, vi sono da considerare anche degli aspetti svantaggiosi, che potrebbero rendere il progetto di utilizzare una facciata ventilata associata ad un sistema di climatizzazione HVAC, meno desiderabile. Naturalmente, come per i vantaggi, anche per gli svantaggi vi sono aspetti

immediati da considerare e ben quantificabili, mentre altri possono essere più nascosti, ma soprattutto dipendenti da caso a caso, oppure da zona climatica e societaria diversa, con fattori differenti che potrebbero influenzare il progetto in maniera potenzialmente anche maggiore di quanto si potrebbe pensare.

Alcuni di questi aspetti svantaggiosi da un punto di vista economico sono:

- Tempistica: un progetto del genere necessità di tempo, per poter prepararlo e completarlo, questo potrebbe rappresentare un ostacolo soprattutto, per il committente, in termini di velocità di riqualificazione degli edifici.
- Costo d'investimento iniziale: è evidente che riqualificare un edificio, installare sia una facciata ventilata che un impianto di climatizzazione HVAC, comporta dei costi non indifferenti. Inoltre, si aggiungono i costi dei materiali e della posa in opera degli stessi, facendo crescere la somma di denaro iniziale per poter far partire i lavori.
- Costi di manutenzione, gestione e controllo: durante l'intero arco di vita dell'impianto, è necessaria una manutenzione costante sia dell'impianto HVAC, che dei materiali annessi in facciata ventilata, seppur per poche volte. Inoltre, anche il sistema di controllo necessita di una gestione consapevole, soprattutto per i diversi sensori ed attuatori che governano ogni componente dell'impianto.
- Disturbo acustico e di comfort durante i lavori: infatti, durante il periodo di lavorazione, i disturbi possono provenire non solo dall'esterno, per via della facciata ventilata, ma anche dal sistema di distribuzione dell'aria dell'impianto HVAC, che necessita una rete di canali, interni alla struttura dell'edificio.
- Riduzione valore visivo temporaneo dell'edificio: l'impalcatura costruita per i lavori è una delle possibili fonti di riduzione del valore visivo dell'edificio, anche se è importante dire che si tratta di un fattore temporaneo e contingentato ai lavori, nonché in seguito superato dai vantaggi visivi, presentati in precedenza, da un punto di vista artistico-architettonico.

#### 5.2 Tempo di ammortamento delle differenti strategie analizzate.

Al fine di poter comprendere effettivamente l'impatto economico nel tempo, del costo d'investimento iniziale, è oggetto di questa analisi economica, il calcolo del tempo d'ammortizzazione dei costi iniziali. Questo ci permette di tenere in considerazione quanto i vantaggi vengano diluiti nel tempo, riuscendo a portare in una visione più concreta sia il risparmio energetico che economico.

A questo proposito, è necessario quantificare i costi associati ai materiali impiegati per la riqualificazione dell'edificio e della facciata ventilata, in più è necessario definire i costi di mano d'opera per l'installazione di ogni componente. Inoltre, è necessario inserire nel computo dei costi anche lo scambiatore di calore per il recupero termico.

È importante, tuttavia, definire alcune ipotesi che si sono adottate, per poter proseguire nel calcolo:

• Si è assunto un valore fisso del costo dell'energia, pari a 0,019  $[\frac{\epsilon}{kWh}]$ , assunto come valor medio del prezzo dell'energia durante il periodo in cui è stata eseguita la sperimentazione del progetto "Habitat Sostenible", cioè nell'ultimo quadrimestre dell'anno 2015 e nel primo quadrimestre dell'anno 2016, coprendo cosi l'intera stagione di riscaldamento del periodo invernale ed anche in modo da avere dei prezzi congruenti con quel periodo dell'anno in cui è stata analizzata la facciata ventilata.

Condizioni economiche di fornitura per una famiglia con 3 kW di potenza impegnata e 2.700 kWh di consumo annuo

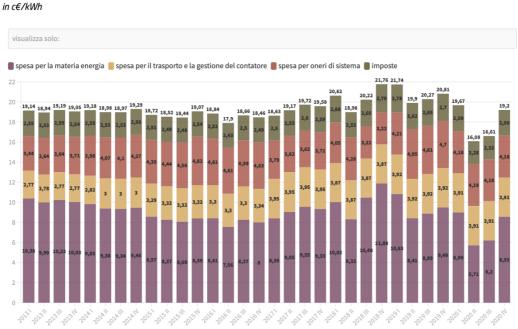


Figura 152 - Andamento costo dell'energia medio in Euro/kWh [26]

- I prezzi scelti per materiali, mano d'opera e componentistica all'interno dell'intero progetto, sono stati assunti costanti nel tempo, perciò non si considerano eventuali fluttuazioni dei costi alle voci associate.
- Non si è considerato il costo del sistema dei canali di distribuzione dell'aria poiché esse prevede sia nella lunghezza, che nella quantità uno studio dipendente da notevoli fattori strutturali ed impiantistici che non sono stati il focus di questo

elaborato. Allo stesso modo, si è considerato l'intero valore di una UTA, ma soltanto in un'ottica generale e di prima approssimazione poiché', entrano in gioco considerazioni di efficienza, impiantistiche, di spazio occupato, presenza e tipologia di filtri per la qualità dell'aria e di ventilatore associato, che non sono oggetto di questa analisi specifica.

• Non è stato considerato il costo di manutenzione che interviene durante gli anni di funzionamento, poiché dipendente da caso a caso, con differenti fattori che ne possono influenzare il costo.

Al fine di ricavare dei costi attendibili ed aggiornati si è utilizzato un programma di raccolta e gestione dei prezzi per diverse soluzioni e tipologie costruttive, specifico sia per materiali isolanti che per la facciata ventilata, potendo includere anche il costo della mano d'opera all'interno del totale complessivo. Il programma costituisce un supporto di referenza per la comparazione e generazione dei prezzi, soprattutto in aree economiche spagnole negli ambiti di architettura, ingegneria e costruzione, ma anche dalle aziende, consorzi ed istituti di ricerca, come nel caso dell'Istituto di Tecnologia Ceramica. Esso permette di avere una visione generale sul quadro dei costi attuali sul mercato, potendo comprendere quale materiale scegliere per poter ottimizzare i costi.

Il programma in questione è rintracciabile come "Generador de Precios", [27] da cui si sono ricavate le seguenti cifre:

Tabella 48 - Costi per riqualificazione e facciata ventilata [27]

	Ed	dificio riqualifica	to	Edificio riqualificato con facciata ventilata	
	Facciata SUD	Copertura	Facciata NORD	Facciata Ventilata	Totale
Superficie $[m^2]$	261,7	208,75	318,32	209,88	998,7
Costo specifico $\left[\frac{\epsilon}{m^2}\right]$	15,54	13,91	106,91	82,63	219
Costo totale [€]	4.066,8	2.903,7	34.031,6	17.342,4	58.344,5

Come espresso in precedenza, al fine di caratterizzare un edificio con proprietà energetiche più performanti, rispetto all'edificio risalente agli anni '80, sono state eseguite delle

modifiche alle soluzioni costruttive, inserendo dei materiali isolanti nelle stratigrafie, rendendo la facciata molto più performante e riducendo le dispersioni di calore. Dunque, per ogni facciata è stata eseguita la seguente modifica:

- Facciata Sud: inserimento di un isolante XPS e preparazione tramite un opportuno strato esterno nella superficie, migliorando la resa termica della facciata, in termini di dispersione energetica.
- Copertura: uno strato di isolante al fine di rendere la copertura il più performante possibile da un punto di vista termico, anche considerando che essa rappresenta l'ultimo strato possibile a disposizione dell'edificio per poter trattenere il calore. Inoltre, oltre ad uno strato impermeabilizzante, per evitare ogni tipo di infiltrazioni, la chiusura più esterna è composta da un rivestimento ceramico calpestabile, capace di sigillare l'intera struttura, sopportando sia i carichi esterni che evitando ogni tipo di dispersione di energia.
- Facciata Nord: installazione di un isolante EPS, costituzione di un cappotto esterno di
  copertura in materiale ceramico molto simile a quello utilizzato per la facciata
  ventilata, quindi con un'ottima resistenza agli agenti atmosferici, isolamento acustico
  ed ottima durabilità, con colorazione nera, ed alto grado di assorbimento della
  radiazione solare, al fine di poter sfruttare ogni minimo apporto solare.



Figura 153 - Installazione in opera del rivestimento ceramico [27]

Infine, si è considerato il prezzo dello scambiatore di calore, in modo da includere nelle configurazioni in cui si utilizza recupero termico come per la [3],[4] ed [1+4], anche questo componente nel costo d'investimento.

	Tipologia		
Mitsubishi LGH-250RVXT-E	Scambiatore di calore sensibile, a flussi incrociati, con bypass	800	
UTA	Unità trattamento aria, con ventilatore centrifugo e filtro	5000	
TOTALE		5800	

Figura 154 - Costo recuperatore di calore e sistema UTA [28]

Il processo di realizzazione dell'analisi dei costi prevede le seguenti fasi procedurali:

- Consumo energetico per una intera stagione di riscaldamento per ognuna delle configurazioni impiantistiche.
- Definizione costo dell'energia, che è necessaria comprare per poter soddisfare la domanda energetica stagionale.
- Calcolo del costo d'investimento iniziale per ognuna delle configurazioni analizzate
- Calcolo del costo cumulato, andando a sottrarre a partire dall'anno di funzionamento
   1, il costo risparmiato grazie alla nuova soluzione impiantistica adottata.
- Proseguire negli anni, sottraendo dal costo d'investimento iniziale, il risparmio annuo nei costi, finche non si raggiunge un valore pari allo zero nel costo cumulato. Il tempo necessario per raggiungere questa configurazione costituisce il tempo di ammortizzazione, cosiddetto anche "Pay-back time". Da questo momento in avanti, se le precedenti considerazioni e gli altri fattori di contorno, non sono cambiati, si avrà un risparmio effettivo e non più legato al coprire l'investimento iniziale.

Allo scopo di rendere questo processo più chiaro, verrà esposto nello specifico per un particolare confronto tra due configurazioni:

Tabella 49 - Consumo energetico zona climatica B3-ITA

Consumo energetico zona climatica B3 – Normativa Italiana [kWh]	[1]	[2]	[3]	[4]	[1+4]
Edificio riqualificato con facciata ventilata	24001	26146	20318	19889	19151
Edificio riqualificato	-	31692	24628	-	-
Edificio anni '80	-	63384	49225	-	-

Tabella 50 - Costo stagionale per riscaldamento B3-ITA

Costo per coprire domanda energetica stagionale [€]	[1]	[2]	[3]	[4]	[1+4]
Edificio riqualificato con facciata ventilata	4560	4968	3861	3779	3639
Edificio riqualificato	-	6021	4679	-	-
Edificio anni '80	-	12043	9359	-	-

Confronto tra la configurazione [1+4] relativa all'edificio riqualificato con facciata ventilata rispetto la strategia [3] dell'edificio risalente agli anni '80.

Comparando i costi per compensare la domanda energetica stagionale, durante l'inverno, ci si accorge, che grazie alla presenza della facciata ventilata, tramite la configurazione [1] combinata con il recuperatore di calore nella configurazione [4], si riesce a risparmiare circa 5720 euro all'anno, confrontando le due strategie di funzionamento nei rispettivi edifici. Includendo, infine, i costi di realizzazione per le rispettive configurazioni, cioè l'effettivo costo d'investimento per produrre ognuna delle configurazioni, tenendo in considerazione che per entrambi si possono elidere i costi del recuperatore ed UTA, si ricava:

Tabella 51 - Andamento costi cumulati negli anni

Anni	Risparmio annuo	Costo cumulato [€]	
0	0	-58344,5	Costo d'investimento iniziale
1	5720	-52624,5	
2	5720	-46904,5	
3	5720	-41184,5	
4	5720	-35464,5	
5	5720	-29744,5	
6	5720	-24024,5	
7	5720	-18304,5	
8	5720	-12584,5	
9	5720	-6864,5	
10	5720	-1144,5	
11	5720	4575,5	
12	5720	10295,5	

#### [1+4] Edificio riqualificato con facciata ventilata vs [3] Edificio anni '80

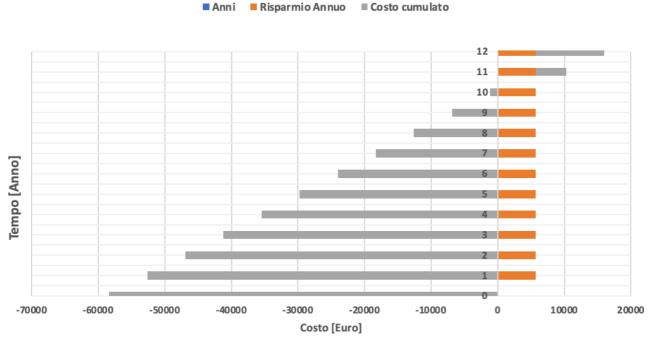


Figura 155 - Tempo di ammortizzazione confronto [1+4] vs [3]

Quindi tramite questo procedimento è possibile comprendere come varia il bilancio tra i costi d'investimento iniziali e il risparmio annuo, che si ricava grazie all'utilizzo di una configurazione impiantistica migliore da un punto di vista energetico. Infatti, analizzando il confronto tra la configurazione [1+4] dell'edificio con facciata ventilata, e la configurazione [3] dell'edificio degli anni '80, ci si accorge che inizialmente è necessario un costo d'investimento iniziale elevato, per via della riqualificazione strutturale dell'immobile e l'installazione dell'impianto, ma successivamente si ha un risparmio annuo per ogni stagione di riscaldamento, che altrimenti non si avrebbe, arrivando così a compensare totalmente l'intero investimento iniziale dopo circa poco più di 10 anni, che è considerato quindi il tempo di ammortizzazione per il costo d'investimento iniziale.

Successivamente, vengono presentati i risultati ottenuti per i confronti tra le diverse tipologie di edificio rispetto alla condizione più efficiente, quindi l'edificio riqualificato con facciata ventilata, per ognuno dei confronti tra le configurazioni, in cui è presente la facciata ventilata rispetto alle configurazioni [2] e [3] in cui si preleva l'aria dall'esterno.

In questa prima sezione sono presentate le analisi economiche riferite alla zona climatica B3, e rispetto alla normativa italiana UNI 10339, identificata con la dicitura "ITA".



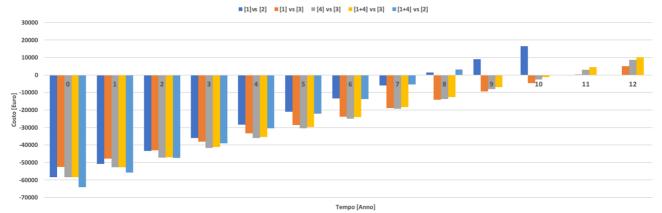


Figura 156 - Andamento costi edificio riqualificato con facciata ventilata rispetto edificio anni '80 B3-ITA

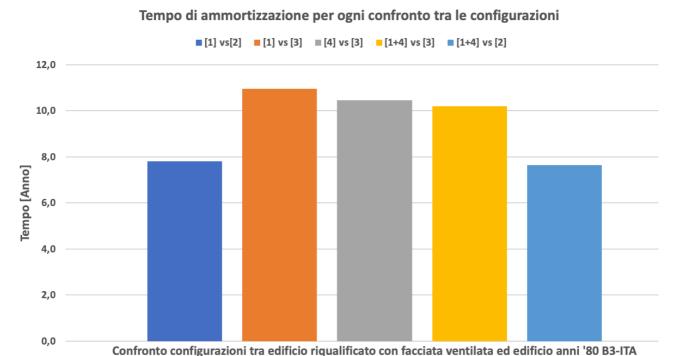


Figura 157 - Tempo di ammortizzazione configurazioni edificio con facciata ventilata rispetto edificio anni '80 B3-ITA

Come è possibile notare in figura, si necessita di circa 10 anni per poter compensare i costi iniziali nella configurazione [1+4] vs [3], un tempo non molto elevato se si pensa che la struttura della facciata ventilata combinata con l'impianto di climatizzazione potrebbero avere una vita di circa 30-40 anni, con una adeguata frequenza di manutenzione e gestione. Migliorando il termine di paragone, chiaramente, il tempo di ammortizzazione cresce superando i 15 anni, tempistica più difficile da sostenere ma che tuttavia è supportata da motivazioni di risparmio energetico.

#### Tempo di ammortizzazione per ogni confronto tra le configurazioni

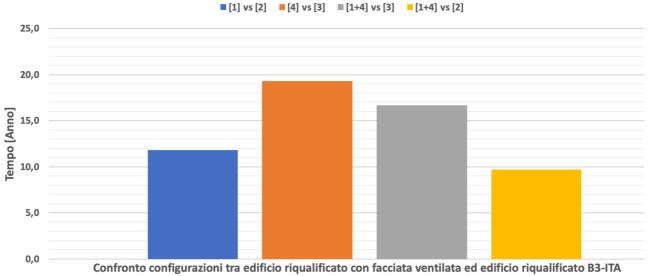


Figura 158 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata ventilata rispetto edificio riqualificato B3-ITA

Per quanto riguarda invece, il confronto tra le diverse configurazioni, comparando sempre la stessa tipologia di edificio, quindi quello in cui è già presente la facciata ventilata, non è necessario inserire nel computo generale, i costi per la costruzione e riqualificazione della struttura con facciata ventilata, in quanto sono presenti in entrambi i fronti, quindi per alcune configurazioni si avrà un risparmio immediato a partire dall'anno zero. Soltanto nel confronto tra la strategia [1+4] in cui è presente un sistema di recupero termico, e la configurazione [2] in cui l'aria viene prelevata dall'esterno senza recuperatore, è necessario tenere in conto la differenza nei costi per via della presenza di diverse apparecchiature e componenti per la gestione ed il recupero termico dell'aria.

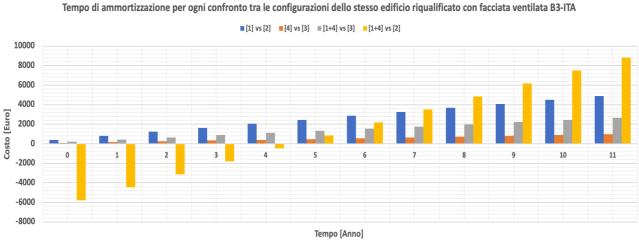


Figura 159 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata ventilata B3-ITA

I risparmi ottenuti a 10 anni dalla riqualificazione impiantistica sono riportati nel grafico successivo. Si riescono a ricavare circa 2500 euro confrontando la strategia [1+4] rispetto la [3].

#### Risparmio ricavato dopo 10 anni

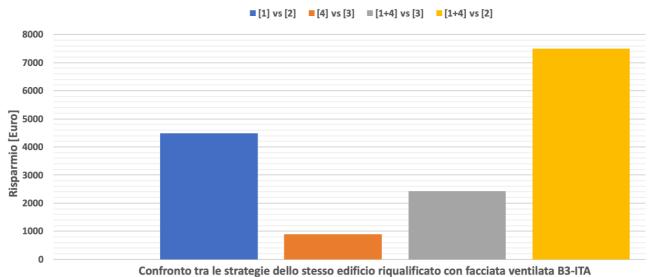


Figura 160 - Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata dopo 10 anni

In questa sezione verranno presentati i risultati riferiti alla zona termica A4, quindi riconducibili alla località di Almeria, secondo la normativa italiana.

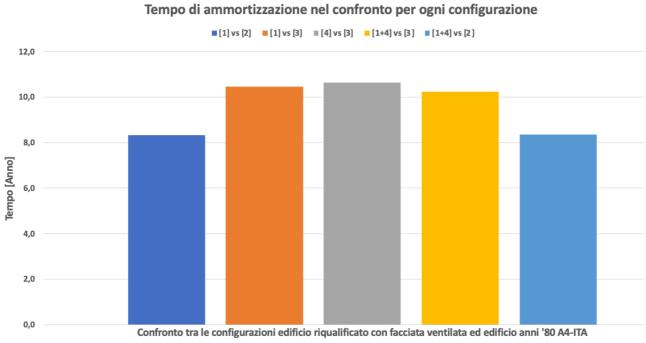


Figura 161 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata rispetto edificio anni '80 A4-ITA

In questo caso, esaminando il confronto tra le diverse strategie di funzionamento ci si accorge che il "Pay-back time" è leggermente inferiore rispetto alla zona climatica B3, questo è spiegato dal clima meno rigido della zona climatica A4, ma tuttavia, potrebbe non rendere economicamente più attraente la possibilità di riqualificare un edificio proprio perché i costi di investimento vengono riassorbiti pressoché dopo la medesima tempistica, riuscendo però nella zona termica B3 ad ottenere un miglioramento più rilevante visto che

si tratta di un clima più freddo, mentre nella zona di Almeria, non è così necessario attuare una riqualificazione energetica, dato che le condizioni climatiche non lo richiedono.

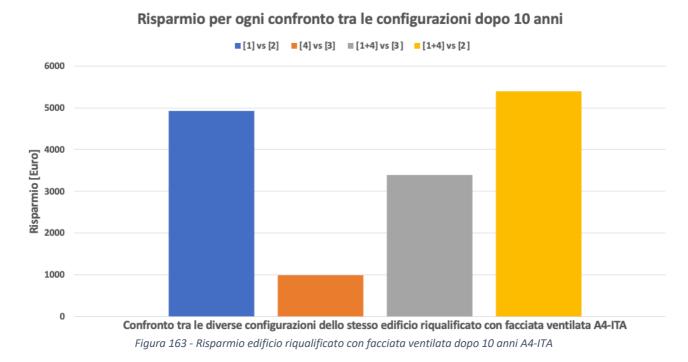
# Tempo di ammortizzazione nel confronto per ogni configurazione [1] vs [2] [4] vs [3] [1+4] 20,0 18,0 16,0 10,0 8,0 6,0 4,0 2,0

Figura 162 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata rispetto edificio riqualificato A4-ITA

Confronto tra le diverse configurazioni tra l'edificio riqualificato con facciata ventilata e l'edificio riqualificato A4-ITA

0,0

Il risparmio ricavato dal confronto tra la configurazione [1+4] e la [3], all'interno dell'edificio riqualificato con facciata ventilata, è sensibilmente maggiore con le condizioni fornite da questa zona climatica A4, rispetto alla B3, infatti, si è passato dai circa 2000 euro ai circa 3500, in questo caso.



In questa sezione, saranno analizzati i risultati per le tempistiche di ammortizzazione, rispetto la zona climatica E1 secondo la normativa italiana UNI 10339.

#### Tempo di ammortizzazione confronto per ogni configurazione

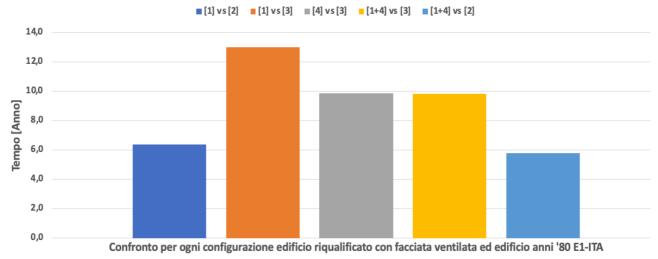


Figura 164 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata rispetto edificio anni '80 E1-ITA

I risultati ottenuti riportano dei valori di tempistiche maggiori, rispetto alle ugual condizioni riferite ad altre zone climatiche. Anni di ammortizzazione, che nel caso di un confronto con l'edificio riqualificato, risultano essere abbastanza alti, vicini ai 18 anni per le configurazioni [1+4] rispetto la [3], valore che iniziano ad essere significativi poiché è presumibile pensare che si tratti di circa la metà della vita utile di una facciata ventilata. Dunque, in una visione complessiva di costi e risparmio energetico è necessario tenere in considerazione l'impatto che potrebbe avere una zona climatica rispetto un'altra.

#### Tempo di ammortizzazione confronto per ogni configurazione

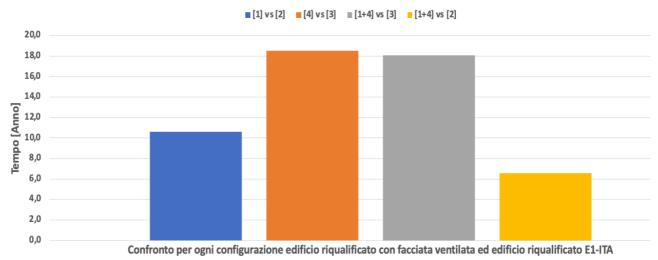


Figura 165 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata rispetto edificio riqualificato E1-ITA

#### Risparmio confronto per ogni configurazione dopo 10 anni

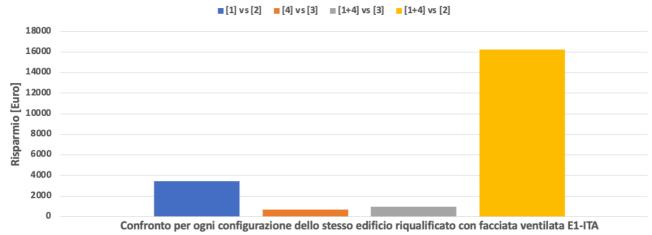


Figura 166 - Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata dopo 10 anni E1-ITA

Conclusa la presentazione dei risultati, nelle differenti zone climatiche, per l'analisi energetica ed economica basata sulla normativa italiana, adesso verranno esposti i grafici riferiti alla norma spagnola. Naturalmente, verrà seguito lo stesso ordine di presentazione, sia nelle zone climatiche, quindi B3-A4-E1, che di confronto tra le configurazioni, quindi edificio moderno con facciata ventilata rispetto a quello degli anni '80 ed in seguito al solo edificio riqualificato, prima di concludere con confronto interno all'edificio riqualificato con facciata ventilata.

#### Tempo di ammortizzazione confronto per ogni configurazione

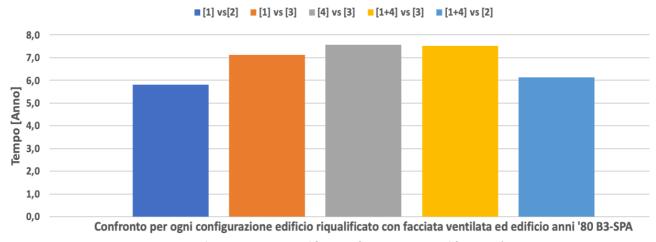


Figura 167 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata rispetto edificio anni '80 B3-SPA

#### Tempo di ammortizzazione confronto per ogni configurazione

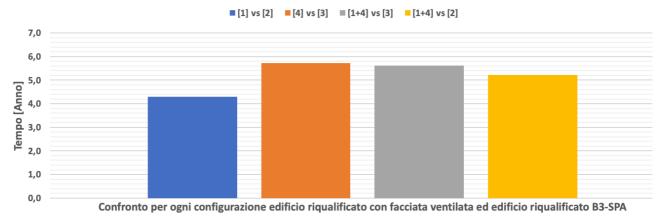


Figura 168 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata rispetto edificio riqualificato B3-SPA

Esaminando il grafico sottostante, si può notare che per il confronto [1+4] rispetto la configurazione [2], il tempo di ammortizzazione del costo d'investimento iniziale, quindi i circa 5800 euro riferiti all'impianto di climatizzazione con recuperatore, coincide con circa 10 anni, perciò sono stati necessari circa un decennio per poter rientrare con l'investimento ad un saldo positivo. Ecco, che è stato scelto questo grafico per poter intendere questa peculiarità al fine di rendere l'idea di ciò che sarà mostrato per la zona climatica A4.

## Tempo di ammortizzazione e risparmio per ogni configurazione edificio riqualificato con facciata ventilata B3-SPA

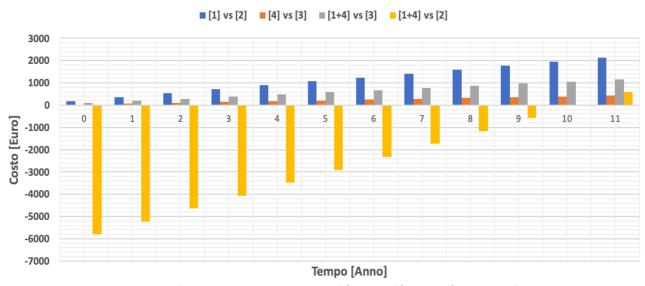


Figura 169 - Tempo di ammortizzazione e risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata B3-SPA

I tre grafici successivi sono riferiti alle analisi eseguite per le diverse tipologie di edifici, ubicati nella zona climatica A4, secondo la normativa tecnica spagnola.

#### Tempo di ammortizzazione confronto per ogni configurazione

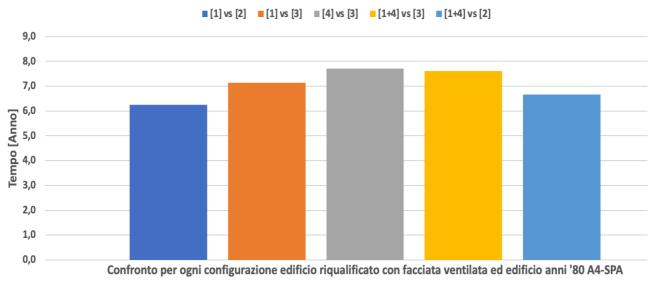


Figura 170 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata rispetto edificio anni '80 A4-SPA

#### Tempo di ammortizzazione confronto per ogni configurazione

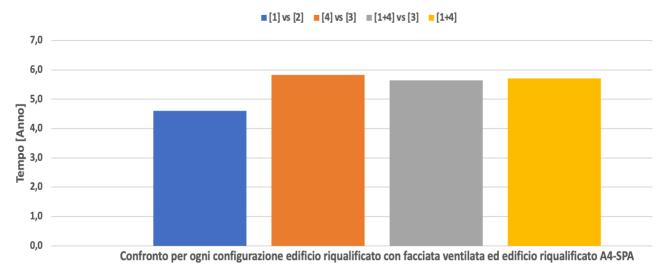


Figura 171 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata rispetto edificio riqualificato A4-SPA

Come affermato in precedenza, per la zona climatica B3, il saldo dopo 10 anni è circa nullo, in questo caso, è addirittura negativo, ciò significa che per questa configurazione, il risparmio annuo non è sufficiente per poter compensare l'investimento nemmeno dopo 10 anni, nello specifico si necessita di circa 12 anni. Aspetto particolare, poiché nonostante si compari una configurazione con facciata ventilata e recuperatore di calore, rispetto alla configurazione in cui si preleva l'aria dall'esterno, questo viene compensato dal fatto di trovarci in zona climatica A4, in cui non vi è un clima freddo e difficile da gestire da un punto di vista energetico. Interessante concetto questo, che si è venuto a presentare proprio

perché si è ridotta la portata d'aria di rinnovo, in quanto ci si riferisce in questa sezione alla normativa spagnola.

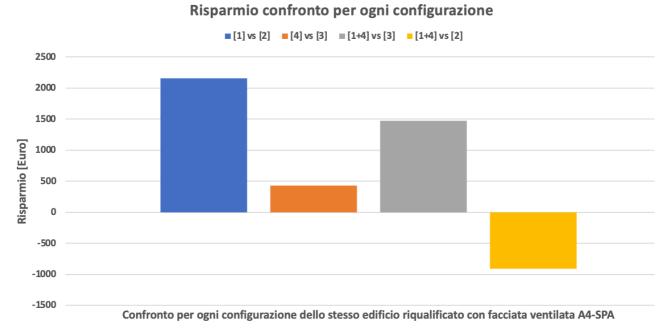
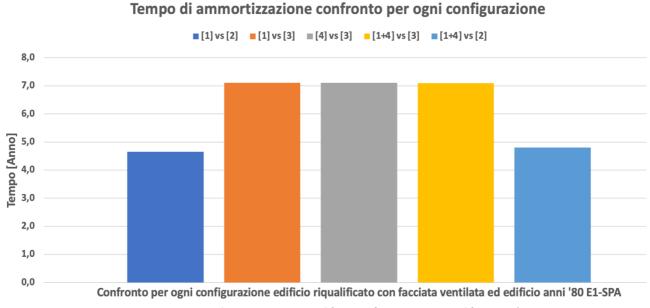


Figura 172 - Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata A4-SPA

Infine, saranno presentati i grafici per definire il tempo di ammortizzazione per la zona climatica E1, secondo la normativa spagnola.



#### Tempo di ammortizzazione confronto per ogni configurazione

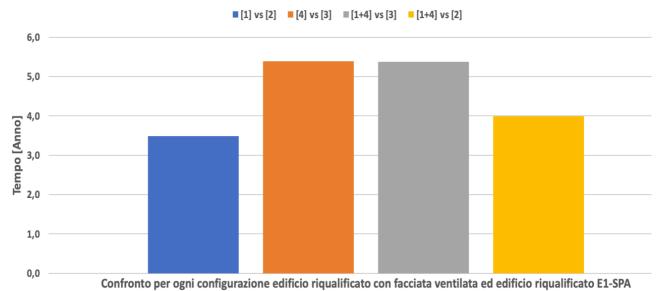


Figura 174 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata rispetto edificio riqualificato E1-SPA

#### Risparmio confronto per ogni configurazione dopo 10 anni

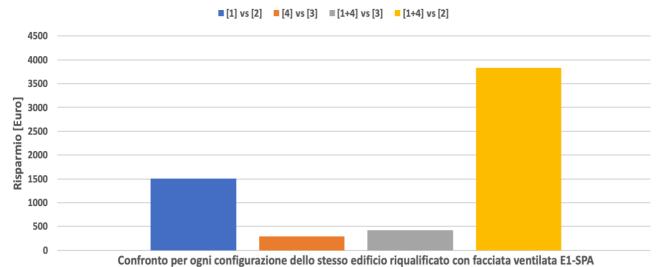


Figura 175 - Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata dopo 10 anni E1-SPA

# CAPITOLO 6 PROSPETTIVE FUTURE E POSSIBILI MIGLIORAMENTI

Le analisi eseguite e presentate nei capitoli precedenti possiedono una notevole potenzialità sia da un punto di vista energetico che economico. Molteplici possono essere i vantaggi riferiti all'installazione di una facciata ventilata a base ceramica, chiaramente possono essere più o meno legati a fattori dipendenti da ogni specifica condizione di funzionamento, quali presenza della radiazione solare, tipologia di edificio, ubicazione geografica, domanda energetica da soddisfare, budget iniziale a disposizione, tempo di ammortizzazione, e numerosi altri termini che possono variare ed avere un peso più rilevante nel computo finale. In generale, si è raggiunta la consapevolezza che la facciata ventilata si comporta di gran lunga meglio in presenza di un'alta e costante radiazione solare, in questo modo si può eseguire un miglior recupero termico, riducendo il carico sul sistema di ventilazione e riscaldamento dell'ambiente. In particolare, la configurazione [1+4] è senza dubbio, la soluzione impiantistica-tecnologica più efficiente, poiché è capace di poter adattarsi alle due principali condizioni affrontate durante tutto il periodo di simulazione, cioè:

- La configurazione quando la temperatura dell'aria all'interno della facciata ventilata sia tale da poter soddisfare la domanda energetica richiesta dall'ambiente, senza alcuna necessità di dover essere pre-riscaldata; configurazione questa rappresentata dalla configurazione [1].
- La configurazione in cui la temperatura dell'aria all'interno della facciata ventilata sia tale da non poter soddisfare la domanda energetica richiesta dall'ambiente, presentando la necessità di dover essere pre-riscaldata, attraverso un opportuno scambiatore di calore; configurazione questa rappresentata dalla configurazione [4].

Riuscendo quindi a realizzare questo sistema impiantistico, grazie ad un adeguato sistema di controllo automatico ed utilizzo di serrande motorizzate accoppiate a sensori, si ottiene una versione di ottimizzazione della facciata ventilata predisposta al supporto di un sistema centralizzato di riscaldamento e ventilazione.

La significativa riduzione della spesa energetica è ben visibile mettendo a confronto le rispettive configurazioni rispetto la [1+4], alla Tabella 52. Si nota che non solo codesta configurazione è la meno energivora, ma in alcune condizioni climatiche particolari, come per la zona climatica E1, in cui si ha una riduzione di circa il 35 % del consumo totale, rispetto ad una configurazione priva di ricuperatore. Questo conferma che, in un clima molto freddo, ma che per particolari conformazioni geografiche, vi sia un elevato apporto solare, la facciata ventilata potrebbe rappresentare una soluzione rilevante. Tuttavia, il consumo più basso si registra nella zona climatica A4, ma che presenta una riduzione percentuale più bassa rispetto alla zona climatica E1. Le tabelle seguenti sono riferite alla normativa italiana.

Consumo Configurazione [W]	В3	A4	E1
1+4	19151	18312	21193
4	19889	19458	21319
3	20318	19930	21649
2	26146	24207	32801
1	24001	21845	31152

Tabella 52 - Consumo configurazione

Anni di ammortamento per ogni configurazione	В3	A4	E1
[1+4] rispetto edificio anni '80 [3]	10,2	10,1	9,8
[1+4] rispetto edificio riqualificato senza facciata ventilata [3]	16,7	15,5	18

Tabella 53 - Anni di ammortamento per ogni configurazione

In riferimento alla Tabella 53 è possibile notare che confrontando la soluzione impiantistica più efficiente, rispetto un edificio con basse potenzialità energetiche, in questo elaborato esemplificato come un edificio risalente agli anni '80, gli anni necessari per poter rientrare nei costi d'investimento sono quantificabili in circa 10 anni. Valore importante e significativo, anche considerando l'evoluzione delle soluzioni tecnologiche e le migliorie energetiche che vi possono essere in un decennio. Tuttavia, ripensando alla vita utile sia di un edificio residenziale, che di una facciata ventilata, esso rappresenta un tempo medio e facilmente assorbibile all'interno dell'arco di vita dei sistemi strutturali considerati.

Nel caso invece, in cui si confrontano gli anni di ammortamento rispetto ad un edificio che possiede delle capacità di performance energetica, grazie alla presenza di soluzioni costruttive adeguate e mirate, caso questo più reale ma non di certo più comune. Ecco che il valore cresce sensibilmente. Naturalmente, qualsiasi decisione iniziale deve tenere in considerazione questi dati, in modo da poter essere pronti per un periodo significativamente ampio a sostenere un carico economico. La zona climatica A4 presenta la condizione migliore, mentre la zona climatica E1 riporta la soluzione più gravosa da un punto di vista del rientro dei costi iniziali.

I vantaggi energetici ed economici devono essere ben ponderati durante una prima fase di progetto, in modo da poter capire in quale condizione esposta in questo elaborato si ricade con maggior somiglianza. Gli aspetti di contorno da considerare sono molteplici e possono giocare un ruolo importante nell'effettivo sviluppo e corretto funzionamento di una facciata ventilata al supporto di un sistema di riscaldamento e ventilazione centralizzato. In ogni caso, le prospettive future che si aprono a vantaggio di una riqualificazione edilizia ed energetica sono profonde e varie, alcune di esse sono:

- Rivalutazione energetica ed economica del parco edilizio, soprattutto nel settore residenziale, riqualificazione di edifici fatiscenti e/o poco performanti.
- Impostazione della costruzione di edifici residenziali plurifamiliari differente, mettendo in risalto il ruolo svolto da un componente passivo, in questo caso dalla facciata ventilata, convertendolo in un supporto attivo al sistema energetico centrale.
- Miglioramento del comfort termico interno medio degli edifici residenziali, incrementando la qualità dell'aria grazie alla presenza dell'impianto di climatizzazione, con opportuni filtri annessi.
- Risparmio energetico globale dell'edificio residenziale, limitando l'impatto di questo settore nel computo generale di domanda primaria di energia.
- Riflessione di questo vantaggio sia da un punto di vista economico, rendendo più flessibile la spesa per la riqualificazione energetica, che da un punto di vista ambientale, riducendo le emissioni di anidride carbonica in atmosfera.
- Sviluppo di importanti competenze in questo settore, non solo per un'ottimizzazione della facciata ventilata, ma anche di tutte quelle soluzioni tecnologiche impiantistiche, meglio conosciute come TABS (Thermally Activated Buildings Structures), capaci di sfruttare ogni componente passivo di un edificio rendendolo al servizio dell'impianto centrale e/o al benessere degli occupanti. Ricerca di materiali e soluzioni combinate sempre più efficienti, che andrebbero a produrre vantaggi non solo per il cliente, in termini di risparmio energetico, ma anche per l'intero settore industriale associato a questo campo.

In un'ottica futura, una delle tipologie di TABS che potrebbe essere una valida combinazione assieme alla facciata ventilata è una struttura di raffrescamento e riscaldamento radiante, in cui sono annegate le tubazioni che trasportano l'acqua all'interno degli elementi costruttivi. Il sistema sfrutta l'elevata inerzia termica della struttura dell'edificio per ridurre i picchi di carico e trasferire parte del carico di raffreddamento nel tempo di occupazione. Perciò, i costi energetici possono essere ridotti utilizzando la tariffa elettrica notturna più bassa. Allo stesso tempo, la dimensione del sistema di riscaldamento e raffreddamento può essere ridotta. A causa della grande superficie di trasferimento del calore, è possibile

riscaldare o raffreddare efficacemente, anche con piccolissime differenze di temperatura tra la lastra di cemento e la stanza. [29]

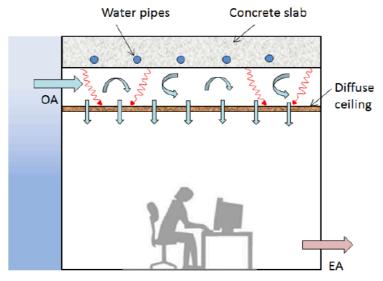


Figura 176 - Diagramma schematico di un TABS [29]

Nel sistema, lo spazio tra TABS e il soffitto diffuso viene utilizzato come un "plenum" e l'aria fresca alimenta la zona occupata tramite perforazioni nei pannelli diffusi del soffitto. Il TABS potrebbe funzionare come sistema passivo per rimuovere i picchi di carico sfruttando la massa termica delle lastre di cemento oppure potrebbe funzionare come un sistema attivo per fornire riscaldamento e/o raffreddamento extra. [29]

#### Thermally Activated Building Structures (TABS)

Advantages Energy Savings Applications Installation Jointing Brochures Projects

#### Efficient heating and cooling for buildings

Energy cost, carbon reduction and legislation drive the need to find new and innovative ways to heat and cool modern buildings. Thermally Activated Building Structures - or TABS – is an innovative cooling and heating system engineered to meet these high requirements.

TABS utilises the large thermal mass of concrete building structures as a buffer for the changing cooling or heating loads during the day. It does this by running hot or cold water through pipes within the slab.

TABS is proving itself as an efficient low energy cooling system on various BREEAM Excellent, Very Good and Passivhaus certified projects across the UK.

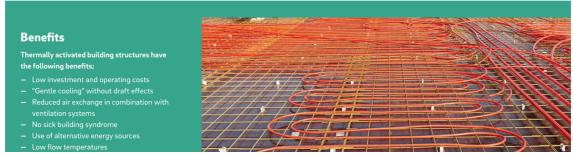


Figura 177 - TABS Benefici [30]

#### **Energy Savings**

Air	Chiller	Comfort Levels	
Lower air volumes - > less energy required & reduced fan size	Higher temps (15-18°C) compared to AC (6-12°C)	Increased comfort and reduced draughts	
Noise Reduction	COP uplift of chiller	1°C increase in room temp = ca. 6% energy savings	

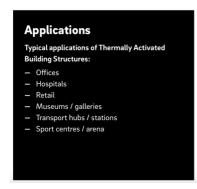




Figura 178 - TABS applicazioni [30]

Come mostrato in Figura 178, si può notare che i campi di applicazione sono molteplici, con differenti destinazioni d'uso, questo naturalmente è ugualmente valido per le applicazioni future di una facciata ventilata. In una visione moderna ed avveniristica, la combinazione di facciata ventilata e TABS possono essere riferiti a tipologie di edifici differenti, con caratteristiche sia architettoniche che energetiche agli antipodi. Tuttavia, al fine di poter preparare queste tecnologie per un campo di applicabilità più ampio è necessario, migliorare alcuni aspetti strutturali, impiantistici, di controllo e monitoraggio, ecc...

Nello studio in esame di questo elaborato, è possibile approfondire il livello di dettaglio dei dati ottenuti. Infatti, i possibili miglioramenti sono:

- Studio e simulazione sperimentale basata su più dimostratori, in grado di poter misurare e ricavare dati in temporanea su diverse configurazioni di funzionamento.
- Utilizzo di sensori, strumenti tecnici e supporti informatici, più vari e puntuali, al fine di ottenere dati riferiti a diverse grandezze di contorno.
- Sistema di controllo automatico più sensibile, in grado di capire con un grado maggiore di raffinatezza, quando azionare gli opportuni componenti ad esso collegato, come le serrande di areazione, per il passaggio dell'aria tra la camera d'aria della facciata ventilata e l'ambiente interno. Inoltre, questo aspetto dovrebbe essere ulteriormente validato nel caso in cui si venisse ad associare strutture combinate e/o TABS alla facciata ventilata, poiché la complessità del sistema crescerebbe e potrebbe inficiare l'effettivo supporto al sistema HVAC.
- Analisi di simulazione eseguita attraverso dei software sviluppati nello specifico per questa particolare tipologia di soluzione tecnologica, in grado di caratterizzare in

modo più fedele il comportamento energetico della facciata ventilata. In questo elaborato è stata utilizzata l'interfaccia software OpenStudio basata su EnergyPlus, ma il sistema può essere adattato ad altri programmi di simulazione.

- L' analisi energetica può essere associata ad altri parametri e grandezze di interesse, non solo il consumo del sistema centralizzato, ma anche un eventuale studio di supporto sul comfort interno degli occupanti, come il calcolo della TMR (Temperatura Media Radiante) ed il PMV (Predicted Mean Vote), oppure una analisi riferita alle emissioni in ambiente di anidride carbonica.
- L'analisi economica in egual modo può essere ampliata e/o focalizzata su altri aspetti che potrebbero essere di eventuale interesse, includendo ad esempio i costi di manutenzione, i tassi d'interesse, il valore artistico ed immobiliare, che potrebbe aggiungersi al valore di base dell'edificio residenziale, quindi eseguendo un'analisi postuma rispetto ai primi anni di vita della soluzione tecnologica.

In generale è evidente che le vie di un possibile miglioramento futuro, non solo dello studio svolto in questo elaborato, ma anche per l'intero settore di ricerca su questi ambiti di riqualificazione degli edifici, siano davvero molte e varie in base agli interessi del mercato. Tuttavia, i risultati ottenuti possono essere di grande spunto per un primo giudizio, in cui la facciata ventilata si presenta solidamente come una valida offerta di vantaggi sia energetici che economici, mostrando una notevole compatibilità con il settore residenziale, ma anche con altri ambiti di applicazione, migliorando le performance dell'edificio da un punto di vista energetico, contribuendo al minor impatto ambientale dello stesso e riducendo la domanda energetica. Sulla base di queste considerazioni, dei risultati ottenuti, dei potenziali aspetti positivi che si potrebbero sfruttare grazie alla sua implementazione, la facciata ventilata a supporto di un sistema centralizzato di riscaldamento e ventilazione, si conferma come una soluzione valida e percorribile per far fronte alle problematiche energetiche, comfort, ambientali, economiche e sociali che un ingegnere è chiamato a risolvere.

#### CONCLUSIONI

Lo studio oggetto di questo elaborato ha risposto agli interrogativi posti nel primo capitolo, domande a cui deve far fronte l'intera società, soprattutto il settore energetico. È stato possibile eseguire delle analisi approfondite sia da un punto di vista sperimentale che simulato, attraverso la ricerca dell'Instituto de Tecnologia Ceramica e dell'Associancion de Investigacion de las Industria Ceramica (ITC-AICE). In un primo step di analisi, si è approfondito l'apporto energetico di una facciata ventilata al servizio di un ambiente unifamiliare, associato ad un impianto di ventilazione. Successivamente, si è allargato il campo di applicazione, ampliando lo studio ad un edificio residenziale di tipo plurifamiliare, attraverso una simulazione computazionale-energetica. I risultati energetici sono stati promettenti e positivi. Inoltre, tenendo in considerazione le dovute ipotesi, è lecito pensare ad un possibile miglioramento aggiuntivo dei dati ottenuti, dimostrando una maggior efficacia della soluzione tecnologica-impiantistica. In egual modo, i risultati ottenuti a valle di una prima analisi economica, sono confortanti ed interessanti, mostrando delle potenzialità, per determinate zone climatiche e particolari condizioni di corollario.

In conclusione, il risultato delle analisi eseguite all'interno di questo studio rispecchiano le aspettative, dimostrano l'efficacia della facciata ventilata sia da un punto di vista energetico che economico, consolidando la posizione della stessa all'interno del ventaglio di possibili soluzioni da attuare all'interno del panorama energetico-ambientale.

## Bibliografia e Sitografia:

- [1] E. Commission, «Statistical Pocketbook 2020, Mobility and Transport,» EU Publications, 2020.
- [2] E. Commission, «Boosting Building Renovation: What Potential and Value for Europe,» EU Publication, 2016.
- [3] C. D. Thibaut Abergel, «Traking Buildings 2020,» IEA Publications, 2020.
- [4] D. Romano, «L'andamento delle emissioni nazionali dei gas serra,» GOV Pubblicazioni, 2020.
- [5] M. Rossano, «Gestire la riqualificazione energetica: quadro normativo, finanziamenti, strategie, Ri-Costruire a (quasi) Km0,» 2013.
- [6] «Global Alliance for Buildings and Costruction: towards a zero emission, efficient and resilient buildings and costruction sector,» IEA Publication, 2019.
- [7] EOTA European Organisation for Technical Assessment, «EOTA European Organisation for Technical Assessment,» [Online]. Available: https://www.eota.eu/en-GB/content/eads/56/. [Consultato il giorno December 2020].
- [8] Facciate20late, «Facciate20late.it,» [Online]. Available: https://facciate20late.it/descrizione-facciata-ventilata/. [Consultato il giorno Ottobre 2020].
- [9] Gruppo Tetto 360 Coperture-Fotovoltaico-Facciate, «www.gruppotetto360.it,» [Online]. Available: https://www.tetto360.it/facciate/facciate-ventilate/. [Consultato il giorno Ottobre 2020].
- [10] De Rossi, Filippo; Università Degli Studi di Napoli Federico II Corso di Laurea Magoistrale in Architettura, *L'involucro opaco nell'edilizia bioclimatica*, Napoli: Università degli Studi di Napoli Federico II.
- [11] ITC-Instituto de Tecnologia Ceramica, «Fachada Ventiladas y Pavimentos Tecnicos,» in *Ceramica para la Arquitectura*, Castellò, Comunidad Valenciana, Spagna, ITC-Instituto de Tecnologia Ceramica, 2010, p. 16.
- [12] G. Costamagna e M. Ficai , «IL RICICLO CI METTE LA "FACCIATA" Soluzioni progettuali di facciate a schermo avanzato mediante il riciclo di materie plastiche,» Politecnico di Torino, Torino, 2018.
- [13] Neolith, «www.neolith.com,» Neolith, [Online]. Available: https://www.neolith.com/it/aplicaciones/fachadas/galeria-de-imagenes-de-fachadas/. [Consultato il giorno Novembre 2020].
- [14] ASCER-Spanish Ceramic Tile Manufacturers' Association, «www.tileofspain.com,» ASCER Association, [Online]. Available: www.tileofspain.com/procesoFabricacion.aspx?lang=en-GB. [Consultato il giorno Ottobre 2020].
- [15] ITC-Instituto de Tecnologia Ceramica, «Fundamentos: Material formativo para prescriptores,» in *Ceramicas para la Arquitectura*, Castellò, Comunidad Valenciana, Spagna, ITC-Instituto de Tecnologia Ceramica, 2010, p. 19.
- [16] Institut de Promociò Ceramica, «Manufacturing Process and Technical Classifications,» Institut de Promociò Ceramica-Publications, Castellòn, 2015.
- [17] J. Mira, J. Corrales, A. Escrig e J. Montolio, «Fachada ventilada ceramica con recuperacion del aire caliente,» ITC- Instituto de Tecnologia Ceramica Qualicer2018, Castellon, 2018.

- [18] S. P. Corgnati, M. Perino e V. Serra, «Experimental assessment of the performance of an active trasparent facade during actual operating conditions,» *Solar Energy,* n. 81, pp. 993-1003, 2007.
- [19] F. Isaia, S. Fantucci, V. Serra e V. Longo, «The effect of airflow rate control on the performance of a fan-assisted solar air heating facade,» in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019.
- [20] SIBER-Ventilaciòn Inteligente, «www.siberzone.es,» [Online]. Available: https://www.siberzone.es/vmc-doble-flujo/. [Consultato il giorno Dicembre 2020].
- [21] Instituto de Tecnologia Ceramica ITC-AICE, «Cuarto Bloque. Simulación de Sistemas Ceràmicos en la Rehabilitación,» ITC-AICE, Castellón, 2016.
- [22] The Board of Trustees of the University of Illinois and the Regents of the University of California through the Ernest Orlando Lawrence Berkley National Laboratory, «EnergyPlus Open Source Licence v1.0,» US Department of Energy, 1996-2004.
- [23] UNI-ENTE ITALIANO DI NORMAZIONE, «www.uni.com,» UNI-ENTE ITALIANO DI NORMAZIONE, [Online]. Available: http://store.uni.com/catalogo/uni-10339-1995?josso\_back\_to=http://store.uni.com/josso-security-check.php&josso\_cmd=login\_optional&josso\_partnerapp\_host=store.uni.com. [Consultato il giorno Dicembre 2020].
- [24] CTE-CODIGO TECNICO DE LA EDIFICACION, «www.codigotecnico.org,» CTE-CODIGO TECNICO DE LA EDIFICACION, [Online]. Available: https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/Salubridad.html. [Consultato il giorno Novembre 2020].
- [25] Mitsubishi Electric, «www.climatizzazione.mitsubishielectric.com,» Mitsubishi Electric, [Online]. Available: https://climatizzazione.mitsubishielectric.it/it/prodotti/ventilazione\_13/recuperatori-dicalore\_24/lgh-rvxt\_355.html#specs. [Consultato il giorno Dicembre 2020].
- [26] ARERA-Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente, «www.arera.it,» [Online]. Available: https://www.arera.it/it/dati/eep35.htm#. [Consultato il giorno Novembre 2020].
- [27] CYPE Ingenieros S.A., «www.generadordeprecios.info,» [Online]. Available: http://www.generadordeprecios.info/#gsc.tab=0. [Consultato il giorno Novembre 2020].
- [28] SIDAN s.r.l., «www.sidansrl.it,» [Online]. [Consultato il giorno Dicembre 2020].
- [29] C. Zang, Y. Tao, P. K. Heiselberg, M. Z. Pomianowski e P. V. Nielsen, «Diffuse Ceiling Ventilation Design Guide,» *ResearchGate Aalborg University*, vol. DCE technical Report No.217, 2016.
- [30] REHAU, «www.Rehau.com,» [Online]. Available: https://www.rehau.com/uk-en/thermally-activated-building-structures. [Consultato il giorno Gennaio 2021].
- [31] ISOVER-Saint Gobain, «www.isover.it,» [Online]. [Consultato il giorno Dicembre 2020].

## **INDICE FIGURE:**

Figura 1- Final Energy Consumption [1]	
Figura 2 – Building stock floor area $(m2)$ per building type per Member State $[2]$	
Figura 3 – Final Energy Consumption ITALIA 2018 [1]	
Figura 4 – Residential stock according to age band [2]	
Figura 5 -Global energy-related CO2 emissions, 1900-2020 [3]	
Figura 6 – GHG emissions by sector EU27 [1]	
Figura 7 – CO2 Emissions by sector EU27 [1]	
Figura 8 – Emissioni GHG per settore 2018 ITALIA [4]	
Figura 9 — Livello di decrescita delle emissioni GHG dal 1990 al 2018 [4]	
Figura 10 – Edilizia ed Energia: possibili interventi [5]	12
Figura 11 – Factors influencing building energy use by building type 2010-2018 [6]	12
Figura 12 – Global building construction area by type of building code in SDS [3]	
Figura 13 – Share of households purchasing heat pumps for heating and hot water in SDS [3]	
Figura 14 – Heating technology sales in SDS. [3]	
Figura 15 – Global buildings sector final energy consumption by end use [6]	
Figura 16 – Space cooling intensity index in SDS [3]	
Figura 17 – Global buildings sector final energy intensity changes by end use [6]	
Figura 18 – Schema di funzionamento di una facciata ventilata [9]	
Figura 19 – Componenti di una facciata ventilata [11]	
Figura 20 – Vantaggi del Gres Porcellanato nelle facciate ventilate [11]	
Figura 21 — Principio di funzionamento di una facciata ventilata [12]	
Figura 22 – Esempio di Gres Porcellanato in facciata ventilata nel residenziale (Seoul) [13]	22
Figura 23 – Gres Porcellanato nel residenziale (Bruxelles) [13] Figura 24 – Gres Porcellanato nel residenziale	
(Istanbul) [13] 23	
Figura 25 – Processo di manifattura del materiale ceramico [14]	
Figura 26 – Composizione in massa del Gres Porcellanato [15]	25
Figura 27 – Mulino per la macinazione per via umida [16]	26
Figura 28 – Processo di atomizzazione al microscopio [15]	
Figura 29 – Variabili di processo del "pressato a secco" [15]	27
Figura 30 – Metodi di estrusione e taglio [15]	
Figura 31 – Materie prime più utilizzate per la composizione dello smalto [15]	
Figura 32 – Differenziazione tra i diversi strati e ruolo dell'ingobbio [15]	30
Figura 33 – Schema di funzionamento della deposizione a campana [15]	
Figura 34 – Deposizione a campana dello smalto [15]	30
Figura 35 — Schema funzionamento Serigrafia [15]	
Figura 36 — Schema funzionamento Stampa a getto d'inchiostro [15]	
Figura 37 – Variabili di processo nella fase di cottura [15]	
Figura 38 – Curva di cottura nel forno di un Gres Porcellanato [15]	
Figura 39 - Facciata rivolta a SUD	33
Figura 40 - Facciata rivolta a SUD 2	
Figura 41 - Dimensioni facciata SUD	34
Figura 42 - Installazione materiale ceramico	
Figura 43 - Focus materiale ceramico	36
Figura 44 - Supporto metallico del materiale ceramico	
Figura 45 - Facciata ventilata completa	37
Figura 46 - Facciata rivolta ad EST	38
Figura 47 - Dimensioni facciata EST	38
Figura 48 - Dimensioni generali Open Habitat	
Figura 49 - Facciata rivolta a NORD	39
Figura 50 - Facciata rivolta a Nord 2	
Figura 51 - Posizione e tipologia dei sensori [17]	41
Figura 52 - Facciata SUD vista esterna	43
Figura 53 - Facciata SUD vista interna	43
Figura 54 - Estrattore facciata SUD	44
Figura 55 - Serranda facciata SUD	44

_		6 - Serranda facciata SUD vista esterna		
		7 - Serranda facciata SUD e serranda camera ventilata		
		3 - Posizione apparati facciata SUD		
_		9 - Estrattore e serranda facciata SUD		
_		) - Estrattore con termocoppia		
_		1 - Estrattore con termocoppia 2		
_		2 - Vista interna dell'estrattore		
_		3 - Apparati facciata EST		
_		4 - Sensori facciata EST		
_		5 - Serranda facciata NORD		
_		5 - Solarimetro		
_		7 - Termocoppie ed estrattore facciata SUD		
_		3 - Interfaccia sistema di controllo [17]		
_		9 - Strategia di tipo 0 [17] 0 - Strategia di tipo 1 [17]		
_		7 - Strategia di tipo 2 [17]		
		2 - Strategia & tipo 2 [17]		
_		3 - Strategia 2 ETA-PH vs Text (4/12/2015)		
_		4 -Strategia 2 ETA-PH vs I (12/01/2016)		
_		5 -Strategia 2 ETA-PH vs I (23/02/2016)		
_		5 - Strategia 2 ETA-PH vs I (25/03/2016)		
_		7 - Strategia 2 ETA-PH vs I (6/04/2016)		
_		3 -Strategia 2 ETA-SOL vs I (4/12/2015)		
_		9 - Strategia 2 ETA-SOL vs I (1/02/2016)		
		7 - Strategia 2 ETA-SOL vs T-ceramica (1/02/2016)		
		1 - Strategia 2 ETA-SOL vs I (17/02/2016)		
		2 - Strategia 2 ETA-SOL vs T-ceramica (17/02/2016)		
		3 - Strategia 2 ETA-SOL vs I (6/04/2016)		
		4 - Strategia 2 ETA-SOL vs T-ceramica (6/04/2016)		
	1,60	ETASOL ——T-CERAMICA	60	
	1,40			
	1,20		50	
_	1,00		40	ភ
ETA-SOL [-]	0,80		30	T-Ceramica [°C
Б	0,60		20	T-C
	0,40	"1. Albital Mary And All Mary And All All All All All All All All All Al	10	
	0,20			
	0,00		0	
	0,00	10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10. 10.	0	
	0,00	Tempo [h]	0	. 71
 Figu			0	. 71 . 71
	 ıra 86	Tempo [h]		
Figu Figu	 11	<b>Tempo [h]</b> 5 - Strategia 2 ETA-SOL vs T-ceramica (20/03/2016)		71

	90 - Strategia 0 ETA-SOL vs I (2/04/2016)75	
_	91 - Strategia 0 ETA-SOL vs I (7/04/2016) 75	
	92 - Confronto 1 ETA-PH	
_	93 - Confronto 1 Consumo energetico	
_	94 - Confronto 1 ETA-SOL	
Figura	95 - Confronto 2 ETA-PH	
	Consumo impianto riscaldamento strategia 0 rispetto strategia 2  —Consumo strategia 2 (21/03/2016) —Consumo strategia 0 (20/03/2016) —Radiazione solare media	
1200		1000
	المراجع	900
1000		800 2
		700 E
Z 800		- 600 ≧
[M] ownsuo2		700 E // (A) 400 500 500 500 500 500 500 500 500 500
Ĕ 600	A.D.A.A.D.A.B.M.A.M.M.M.M.M.A.M.A.M.M.M.M.M.M.M.M	400
nsı		300
8 400	יידאין אין אין אין אין אין אין אין אין אין	200 :
	ן און און איראאוראון אין אין דע אירעראון אין דע איר אירעראון אירעראון אירעראון אירעראון אירעראון אירעראון אירע	200 -
200	The state of the s	100
		0
0		-100
	00:00 00:31 01:33 02:04 02:35 02:36 03:37 02:36 03:37	
	Tempo [h]	
Fiaura	96 - Confronto 2 Consumo energetico	
	ETA-SOL strategia 0 rispetto la strategia 2	
	ETA-SOL strategia 0 (2/04/2016) ETA-SOL strategia 2 (6/04/2016) — Radiazione solare media	
0,8		800
0,7		700
0,6		600 2
0,0		Ę
┰ 0,5		500 ≧
۲[		<u> </u>
-J 0,5 0,4		900 ea 800 oo
₩ 0,3	White the state of	e
<b>—</b> 0,3		Radiazion
0,2	MINISTRAL PROPERTY OF THE PROP	200 🗒
		Œ
0,1		100
0	₩ .	0
U		U
	11:00 11:11 11:12 11:33 11:44 11:55 12:10 12:10 12:10 12:10 13:12 13:12 13:13	
	Tempo [h]	
Figura	97 - Confronto 2 ETA-SOL	
Fiaura	98 - Confronto 3 FTA-PH	

#### Consumo impianto riscaldamento strategia 0 rispetto la strategia 2

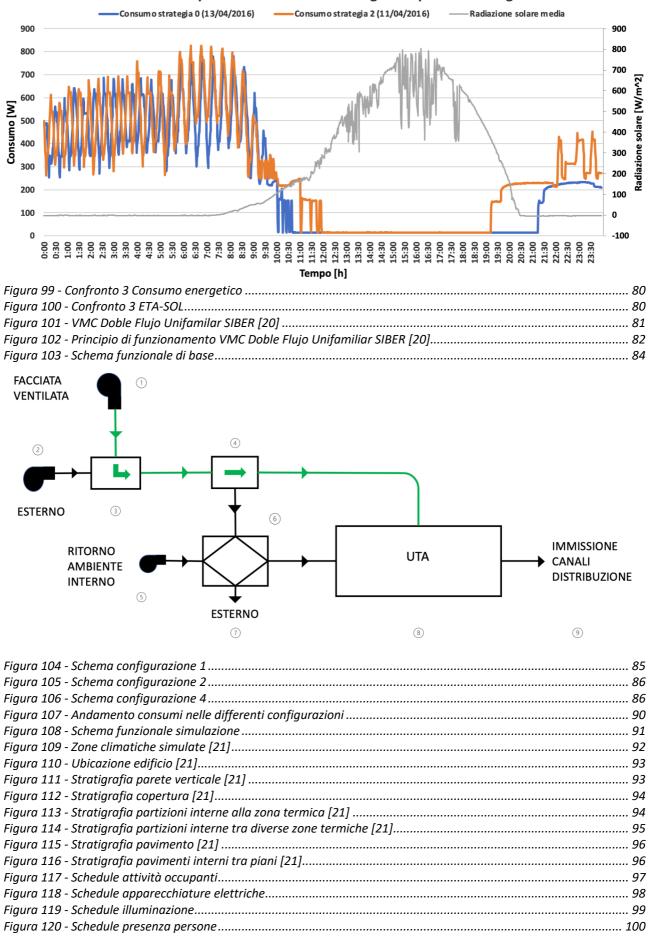


Figura 121 - Suddivisione in zone termiche [21]	101
Figura 122 - Suddivisione zone termiche 2° piano [21]	101
Figura 123 - Dimensioni edificio facciata Sud	102
Figura 124 - Dimensioni edificio facciata Nord	
Figura 125 - Dimensioni edificio in pianta	103
Figura 126 - Vista generale edificio residenziale	103
Figura 127 - Sezioni dell'edificio residenziale [21]	104
Figura 128 - Schedule impianto HVAC [21]	104
Figura 129 - Edificio residenziale riqualificato con facciata ventilata	108
Figura 130 - Facciata ventilata vista dal basso	
Figura 131 - Ulteriore vista facciata ventilata dal basso	
Figura 132 - Vista del solo componente facciata ventilata	109
Figura 133 - Vista del solo componente facciata ventilata dal retro	109
Figura 134 - Definizione di "Trombe Wall" nel modello Open Studio	111
Figura 135 - Confronto risultati simulazione 9/01	114
Figura 136 - Confronto risultati simulazione 7/02	
Figura 137 - Confronto risultati simulazione 10/03	
Figura 138 - Confronto risultati simulazione 10/04	115
Figura 139 - Schema funzionale impiantistico HVAC edificio residenziale	117
Figura 140 - Schema funzionale configurazione 1 edificio residenziale	118
Figura 141 - Schema funzionale configurazione 2 edificio residenziale	119
Figura 142 - Schema funzionale configurazione 3 edificio residenziale	119
Figura 143 - Schema funzionale configurazione 4 edificio residenziale	120
Figura 144 - Immagine recuperatore di calore [25]	121
Figura 145 - Vantaggi recuperatore di calore [25]	122
Figura 146 - Edificio riqualificato con facciata ventilata B3-ITA	123
Figura 147 - Edificio riqualificato con facciata ventilata A4-ITA	
Figura 148 - Edificio riqualificato con facciata ventilata E1-ITA	
Figura 149 - Edificio riqualificato con facciata ventilata B3-SPA	
Figura 150 - Edificio riqualificato con facciata ventilata A4-SPA	140
Figura 151 - Edificio riqualificato con facciata ventilata E1-SPA	144
Figura 152 - Andamento costo dell'energia medio in Euro/kWh [26]	151
Figura 153 - Installazione in opera del rivestimento ceramico [27]	153
Figura 154 - Costo recuperatore di calore e sistema UTA [28]	154
Figura 155 - Tempo di ammortizzazione confronto [1+4] vs [3]	156
Figura 156 - Andamento costi edificio riqualificato con facciata ventilata rispetto edificio anni '80 B3-ITA	157
Figura 157 - Tempo di ammortizzazione configurazioni edificio con facciata ventilata rispetto edificio anni '80	B3-ITA
Figura 158 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata ventilata rispetto edificio riqualificato B3-ITA	158
Figura 159 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata ventilata B3-ITA	
Figura 160 - Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata dopo 10 anni	159
Figura 161 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata rispetto edificio anni '80 AA-ITA	150

#### Tempo di ammortizzazione nel confronto per ogni configurazione

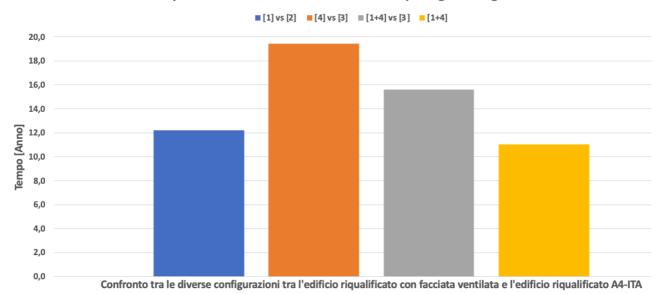


Figura 163 - Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata dopo 10 anni A4-ITA ...... 160 Figura 164 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata rispetto edificio anni '80 E1-ITA ...... 161 Figura 166 - Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata dopo 10 anni E1-ITA...... 162 Figura 170 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata rispetto edificio anni '80 A4-SPA....... 164 Figura 173 - Tempo di ammortizzazione edificio con facciata rispetto edificio anni '80....... 165 Figura 175 - Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata dopo 10 anni E1-SPA...... 166 

## **INDICE TABELLE:**

Tabella 1 - Sensori sistema sperimentale	42
Tabella 2 - Giorni per ogni strategia	
Tabella 3 - Analisi ETA-PH strategia 2	
Tabella 4 - Analisi ETA-PH Strategia 0	73
Tabella 5 - Classificazione giorni	
Tabella 6 - Consumo di ogni configurazione nei diversi giorni	89
Tabella 7 - Risparmio per ogni configurazione nei diversi giorni	89
Tabella 8 - Risparmio medio con cadenza di 1 minuto	90
Tabella 9 - Componenti trasparenti [21]	
Tabella 10 - Stratigrafia parete verticale Sud edificio riqualificato	105
Tabella 11 - Stratigrafia parete verticale Nord edificio riqualificato	106
Tabella 12 - Stratigrafia copertura edificio riqualificato	107
Tabella 13 - Componenti finestrati edificio riqualificato	107
Tabella 14 - Portate d'aria di rinnovo reperite da normativa	113
Tabella 15 - Riepilogo efficienze nei quattro giorni analizzati	116
Tabella 16 - Consumi energetici degli edifici residenziali analizzati nelle differenti zone climatiche	116
Tabella 17 - Dati tecnici recuperatore e termodinamici	121
Tabella 18 - Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata B3-ITA	124
Tabella 19 - Edificio riqualificato B3-ITA	126
Tabella 20 - Risparmio edificio riqualificato B3-ITA	126
Tabella 21 - Edificio anni '80 B3-ITA	127
Tabella 22 - Risparmio edificio anni '80 B3-ITA	127
Tabella 23 - Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata A4-ITA	129
Tabella 24 - Edificio riqualificato A4-ITA	
Tabella 25 - Risparmio edificio riqualificato A4-ITA	130
Tabella 26 - Edificio anni '80 A4-ITA	131
Tabella 27 - Risparmio edificio anni '80 A4-ITA	131
Tabella 28 -Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata E1-ITA	133
Tabella 29 - Edificio riqualificato E1-ITA	134
Tabella 30 - Risparmio edificio riqualificato E1-ITA	134
Tabella 31 - Edificio anni '80 E1-ITA	
Tabella 32 - Risparmio edificio anni '80 E1-ITA	135
Tabella 33 -Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata B3-SPA	
Tabella 34 - Edificio riqualificato B3-SPA	138
Tabella 35 - Risparmio edificio riqualificato B3-SPA	138
Tabella 36 -Edificio anni '80 B3-SPA	
Tabella 37 - Risparmio edificio anni '80 B3-SPA	139
Tabella 38 - Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata A4-SPA	141
Tabella 39 - Edificio riqualificato A4-SPA	142
Tabella 40 - Risparmio edificio riqualificato A4-SPA	142
Tabella 41 - Edificio anni '80 A4-SPA	143
Tabella 42 -Risparmio edificio anni '80 A4-SPA	
Tabella 43 - Risparmio edificio riqualificato con facciata ventilata E1-SPA	145
Tabella 44 - Edificio riqualificato E1-SPA	
Tabella 45 - Risparmio edificio riqualificato E1-SPA	
Tabella 46 - Edificio anni '80 E1-SPA	147
Tabella 47 - Risparmio edificio anni '80 E1-SPA	
Tabella 48 - Costi per riqualificazione e facciata ventilata [27]	
Tabella 49 - Consumo energetico zona climatica B3-ITA	
Tabella 50 - Costo stagionale per riscaldamento B3-ITA	
Tabella 51 - Andamento costi cumulati negli anni	
Tabella 52 - Consumo configurazione	
Tabella 53 - Anni di ammortamento per ogni configurazione	

## **Appendice**

Scheda tecnica recuperatore di calore SIBER PER VIVIENDA, VMC DOBLE FLUJO UNIFAMILIAR: [20]







## Filtración del aire exterior introducido para garantizar la calidad del aire interior en la vivienda

El aire exterior contiene numerosas partículas nocivas para la salud.

Más del 90% de las partículas que contiene el aire exterior tienen unas dimensiones <1 µm.

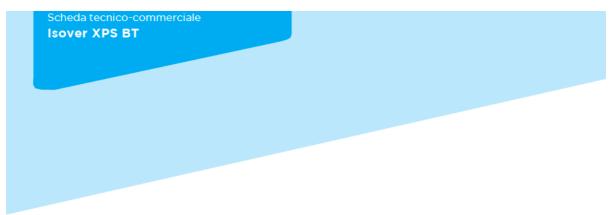


#### Eficacia de nuestros filtros

sobre las partículas que contiene el aire exterior.



#### Scheda tecnica isolante XPS, utilizzato per l'edificio riqualificato nella facciata a SUD: [31]



#### **Dati Tecnici**

<u>Caratteristica</u>	Normativa	<u>Valore</u>	<u>Unità di</u> <u>misura</u>
Conducibilità termica dichiarata spessore 30	EN 12667	0.032	W/(m·K)
Conducibilità termica dichiarata spessore 40	EN 12667	0.033	W/(m·K)
Conducibilità termica dichiarata spessore 50-60	EN 12667	0.034	W/(m·K)
Conducibilità termica dichiarata spessore 80-100	EN 12667	0.035	W/(m·K)
Conducibilità termica dichiarata spessore 120	EN 12667	0.036	W/(m·K)
Resistenza alla compressione con deformazione del 10%	EN 826	>300	kPa
Classe di reazione al fuoco	EN 13501-1	Е	-
Resistenza alla diffusione del vapore acqueo	EN 12086	100 (150 sp. 30)	-
Calore specifico	EN 12524	1450	J/Kg·K



Saint-Gobain Italia S.p.A.

Via E. Romagnoli, 6 • 20146 Milano info.it.isover@saint-gobain.com | www.isover.it

Registro Imprese: Milano n. 08312170155 \* R.E.A.: Milano n. 1212939
Capitale Sociale: Euro 77.305.082,40 i.v. \* Codice Fiscale e P. IVA: 08312170155
Soggetta ad attività di direzione e coordinamento di Saint-Gobain Produits Pour la Construction S.A.S.



#### Lana di vetro usata nell'edificio riqualificato nella facciata a Nord: [31]



Componente finestrato utilizzato in fase di riqualificazione edificio anni 80:

#### ☐ FINSTRAL®

#### Finestre accoppiate Top 72 Twin-line Classic

#### La finestra multifunzionale

- La veneziana integrata, collocata fra i vetri e quindi protetta da pioggia e polvere, vi consente di regolare individualmente l'incidenza di luce e calore. In alternativa vi proponiamo la tenda plissettata in versione traslucida oppure la tenda a nido d'ape che permette il completo oscuramento dei vostri ambienti.
- La struttura a sandwich con ampie intercapedini fra le singole lastre di vetro, l'impiego di molteplici guarnizioni e la terza lastra di vetro, montata sull'anta accoppiata esterna, vi assicurano un ottimo isolamento acustico con un valore R<sub>W</sub> fino a 45 dB.
- Potete scegliere di realizzare la finestra accoppiata interamente in PVC nella versione Twin-line Classic oppure con un rivestimento esterno in alluminio nella versione Twin-line Classic KAB.







finestra accoppiata Top 72 Twin-line Classic KAB con tenda plissettata a nido d'ape



#### Finestra Classic-line e Classic-line KAB

Trasmittanza termica U<sub>f</sub> 1,2 W/m²K

Tipologia vetro	Ug [W/m²K]	U <sub>w</sub> [W/m²K]
Plus-Valor	1,1	1,2
Super-Valor	0,9	1,1
Super-Valor	0,6	0,87
Super-Valor	0,5	0,80

 $U_{\text{g}}$  secondo EN 673 /  $U_{\text{W}}$  secondo EN ISO 10077-1 per finestre ad un'anta

# Scheda tecnica recuperatore di calore Mitsubishi LGH-250RVXT-E per sistema HVAC nella simulazione dell'edificio: [25]

		LGH-150RVXT-E	LGH-200RVXT-E	LGH-250RVXT-E	
Caudal máximo de aire m³/h		1500	2000	2500	
Rendimiento sensible máximo	%	80	80	77	
Presión externa Pa 175		175	175	175	
Alimentación eléctrica F, V, Hz 1 Fase, 220-240V, 50 / 220,60Hz		1 Fase, 220-240V, 50 / 220,60Hz	1 Fase, 220-240V, 50 / 220,60Hz	1 Fase, 220-240V, 50 / 220,60Hz	
Intensidad máxima	A 4,3		5,4	7,6	
Consumo eléctrico W 792 máximo		1000	1446		
Dimensiones mm 500 x 1.500 x 1.980		500 x 1.500 x 1.980	500 x 1.500 x 1.980	500 x 1.500 x 1.980	
Peso	kg	156	159	198	

MODELLO			LGH-250RVXT-E			
Alimentazione		V/Fase/Hz		220-240 / MC	NOFASE /50	
Velocità della ventola			SP4	SP3	SP2	SP1
Intensità corrente		Α	7.60 - 6.90	3.60 - 3.10	1.40 - 1.30	0.57 - 0.49
Potenza assorbita		W	1446 - 1298	687 - 587	244 - 212	82 - 69
Volume d'aria trattato		m³/h	2500	1875	1250	625
		L/s	694	521	347	174
Pressione statica	Mandata	Pa	175	98	44	11
esterna	Ritorno	Pa	100	56	25	6
Efficienza di scambio tern	nico sensibile	%	77.0	79.0	80.5	82.5
Efficienza di	Raffred.	%	65.5	69.0	71.5	76.5
scambio entalpico	Riscald.	%	68.0	71.5	74.0	79.0
Livello pressione sonora		dB(A)	43.0	39.0	32.0	24.0
Nr. e diametro canali		mm		4 x 250 / 2	x (250x750)	
Peso		kg	198			
Dimensioni	AxLxP	mm	500 x 1980 x 1500			
Campo di funzinamento	T. ext	°C	-10 ~ +40			
garantito	UR ext max	%	80			
(funzionamento continuo)*	T. int max	°C	40			
	UR int max	%		8	0	

