



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DIDA**  
DIPARTIMENTO DI  
ARCHITETTURA

Dottorato di ricerca in **Architettura**  
Indirizzo in **Tecnologie dell'Architettura**

**Alessandra Donato**

**ANALISI E MONITORAGGIO A REGIME DINAMICO DELLE PERFORMANCE  
ENERGETICHE DI COMPONENTI DI INVOLUCRO MEDIANTE OUTDOOR TEST**



**Settore disciplinare prevalente: ICAR 12**

**Tutor: Prof. Arch. Marco Sala**

**Co-tutor: Prof. Ing. Maurizio De Lucia**

**Ciclo XXVIII - 2013-2015**





UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

## DOTTORATO DI RICERCA IN ARCHITETTURA

CICLO XXVIII

COORDINATORE Prof. Maria Teresa Bartoli

**ANALISI E MONITORAGGIO A REGIME DINAMICO DELLE PERFORMANCE  
ENERGETICHE DI COMPONENTI DI INVOLUCRO MEDIANTE OUTDOOR TEST**

Settore Scientifico Disciplinare ICAR/12

**Dottorando**

Dott. Alessandra Donato

**Tutore**

Prof. Marco Sala

---

**Coordinatore**

Prof. Maria Teresa Bartoli

---

Anni 2013/2015

**Alessandra Donato**

e-mail: [alessandra.donato@unifi.it](mailto:alessandra.donato@unifi.it)

In copertina: *Test Cell Unifi*, Credit foto Alessandra Donato, 2015.

Università degli Studi di Firenze

Dipartimento di Architettura DIDA

Via della Mattonaia, 14 - 50121 Firenze

Tel. +39 055 2755419 | Fax +39 055 2755399 | posta certificata: [dida@pec.unifi.it](mailto:dida@pec.unifi.it)

P.IVA | Cod. Fis. 01279680480

[www.arch.unifi.it](http://www.arch.unifi.it)



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

**DIDA**  
DIPARTIMENTO DI  
ARCHITETTURA

Tutti i diritti riservati Università degli Studi di Firenze 2016

## **Executive summary**

Il presente lavoro di tesi si colloca all'interno di un programma di ricerca congiunto tra il Dipartimento di Architettura DIDA e il Dipartimento di Ingegneria Industriale DIFE dell'Università di Firenze. Si tratta di un'attività sperimentale che prevede la realizzazione di prove di laboratorio e outdoor test per la caratterizzazione termofisica di materiali e sistemi tecnologici di parete mediante la Test Cell Unifi, un laboratorio all'aperto per prove a regime dinamico realizzato dal Centro ABITA all'interno del Progetto ABITARE MEDITERRANEO.

L'industria delle costruzioni si trova oggi a confrontarsi con una riorganizzazione del proprio Know-how in funzione delle disposizioni normative comunitarie sull'efficienza energetica. Le forti spinte all'innovazione nel campo della tecnologia dei materiali hanno portato alla diffusione sul mercato edilizio di prodotti e sistemi di involucro caratterizzati da elevati livelli prestazionali che integrano materiali innovativi (PCM, VIP, Aerogel, materiali nanostrutturati) in grado di modificare la propria struttura chimico-fisica al variare delle condizioni climatiche esterne.

I principali limiti tecnici all'adozione di tali sistemi nella prassi costruttiva comune risiedono nella difficoltà di valutarne le performance energetiche attraverso le comuni prove di laboratorio e di simularne il comportamento energetico attraverso i più diffusi strumenti di analisi dinamica. La valutazione delle performance termofisiche di tali sistemi mediante outdoor test può contribuire in maniera significativa al superamento di questi limiti.

Alla luce di queste considerazioni, obiettivo generale della ricerca è quello attivare un processo di industrializzazione della ricerca che favorisca il coinvolgimento del settore scientifico in processi legati all'innovazione di prodotto nel campo dell'efficienza energetica mediante l'uso della Test UNIFI. A tale scopo la tesi si propone di fornire un contributo allo sviluppo del sistema di monitoraggio attraverso la definizione di una procedura di GESTIONE, ANALISI E VERIFICA DEI DATI sperimentali derivanti da OUTDOOR TEST A REGIME DINAMICO per l'improving tecnologico di componenti innovativi di parete.

La struttura si articola in tre parti:

- Parte I, la fase istruttoria, ricostruisce il quadro di riferimento normativo nazionale ed europeo sull'efficienza energetica degli edifici, analizzando la situazione di attuale crisi del settore delle costruzioni e le potenzialità mostrate dal settore dei materiali innovativi ad alte prestazioni, oggetto di interessanti sperimentazioni e che negli ultimi anni stanno trovando applicazione nella realizzazione di sistemi di involucro adattivi/responsivi.
- la Parte II, la fase analitica, riporta una sintesi dei principali metodi di misura delle prestazioni termofisiche di materiali e prodotti per l'edilizia e delle normative tecniche UNI EN ISO di riferimento internazionali. Verrà effettuata una ricostruzione sullo sviluppo delle attività sperimentali condotte da diversi istituti di ricerca nazionali e internazionali mediante test facilities sviluppate per la caratterizzazione delle performance energetiche di prodotti di parete a scala reale.

- Parte III, la fase propositiva, riporta una descrizione delle attività sperimentali svolte durante la ricerca e finalizzate all'allestimento del banco prova e del relativo sistema di monitoraggio (installazione e configurazione dei sensori e degli strumenti di monitoraggio) e alla calibrazione della Test Cell UNIFI.

Il prodotto della ricerca è la formulazione di una metodologia su base scientifica applicata al trattamento dei dati monitorati , ovvero la definizione di un percorso logico che, in ragione degli obiettivi d'indagine fissati all'inizio del test sul provino, dalla raccolta dei dati grezzi conduce alla formulazione dell'output di sintesi e alla determinazione delle proprietà termofisiche del componente testato.

## INDICE

Introduzione - Ambito tematico e motivazioni della ricerca	VI
--	----

---

### PARTE I - fase ISTRUTTORIA

<b>Cap. I.1 SOSTENIBILITA' ED EFFICIENZA ENERGETICA: il futuro dell'edilizia nell'Europa 2020</b>	<b>17</b>
<b>I.1.1 IL RISPARMIO ENERGETICO NEGLI EDIFICI: il quadro normativo di riferimento nazionale ed internazionale</b>	<b>24</b>
<b>I.1.2 RICERCA E INNOVAZIONE TECNOLOGICA NELL'INDUSTRIA DELLE COSTRUZIONI</b>	<b>34</b>
<b>I.1.3 CONGIUNTURA ECONOMICA E PROSPETTIVE DI SVILUPPO DEL MERCATO EDILIZIO</b>	<b>39</b>
<b>Cap. I.2 PRODOTTI E SISTEMI DI INVOLUCRO EDILIZIO INNOVATIVI: sviluppi e prospettive future</b>	<b>43</b>
<b>I.2.1. MATERIALI ISOLANTI AVANZATI</b>	<b>49</b>

---

### PARTE II - fase ANALITICA

<b>Cap. II.1 METODI DI PROVA E STRUMENTI DI MISURA DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE DEI PRODOTTI EDILIZI</b>	<b>65</b>
<b>II.1.1 METODI DI PROVA A REGIME STAZIONARIO: la Normativa Tecnica di riferimento</b>	<b>67</b>
<b>II.1.2 METODI DI PROVA A REGIME DINAMICO: Outdoor Test</b>	<b>77</b>
<b>II.1.2.1. Sviluppi della ricerche in ambito europeo</b>	<b>78</b>
<b>II.1.2.2. Sviluppi delle ricerche in ambito nazionale</b>	<b>90</b>
<b>Cap. II.2 LA TEST CELL UNIFI E IL PROGETTO ABITARE MEDITERRANEO</b>	<b>93</b>

---

### **PARTE III - fase PROPOSITIVA**

<b>Cap.III.1. CARATTERIZZAZIONE TERMOFISICA DI COMPONENTI D'INVOLUCRO IN CONDIZIONI REALI</b>	<b>105</b>
<b>III.1.1 OUTDOOR TEST E PROTOCOLLI PASLINK</b>	<b>106</b>
<b>III.1.2 PROCEDURE PER L'ESECUZIONE DI TEST DINAMICI</b>	<b>112</b>
<b>Cap.III.2. DESCRIZIONE E ALLESTIMENTO DEL BANCO PROVA</b>	<b>116</b>
<b>III.2.1 SENSORI E STRUMENTI DI MONITORAGGIO</b>	<b>118</b>
<b>III.2.1.1 Parametri climatici esterni</b>	<b>121</b>
<b>III.2.1.2 Temperature ambientali</b>	<b>125</b>
<b>III.2.1.3 Temperature superficiali</b>	<b>127</b>
<b>III.2.1.4 Flusso termico a parete</b>	<b>129</b>
<b>III.2.2 TERMOVENTILATORE IN TEST ROOM</b>	<b>145</b>
<b>III.2.3 SISTEMA DAQ (DATA ACQUISITION SYSTEM)</b>	<b>147</b>
<b>Cap.III.3. PROCEDURA DI GESTIONE, ANALISI E VERIFICA DEI DATI MONITORATI</b>	<b>156</b>
<b>III.3.1 PRE-PROCESSING DATA</b>	<b>160</b>
<b>III.3.2 POST-PROCESSING DATA</b>	<b>172</b>
<b>III.3.3 ANALISI DINAMICA</b>	<b>180</b>
<b>Cap.III.4. CALIBRAZIONE DELLA TEST CELL</b>	<b>183</b>
<b>III.4.1 PROVE DI INFILTRAZIONE</b>	<b>183</b>
<b>III.4.2 PROCEDURA DI CALIBRAZIONE PASLINK</b>	<b>187</b>
<b>CONCLUSIONI</b>	<b>191</b>

### **PARTE IV - APPENDICI**

<b>IV.A. REPORT PROVE DI CALIBRAZIONE HFS TILES</b>	<b>195</b>
<b>IV.B. SCHEDE TECNICHE SENSORI IN TEST CELL</b>	<b>227</b>

### **PARTE V - APPARATI CONCLUSIVI**

<b>V.1 BIBLIOGRAFIA GENERALE</b>	<b>257</b>
<b>V.2 TESI DI DOTTORATO</b>	<b>259</b>
<b>V.3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>261</b>
<b>V.4 DOCUMENTI E MANUALI PASSYS E PASLINK</b>	<b>264</b>
<b>V.5 ARTICOLI SCIENTIFICI</b>	<b>265</b>
<b>V.6 SITOGRAFIA</b>	<b>267</b>



*A Leonardo ed Alex*

## **Ringraziamenti**

*Il mio più sincero ringraziamento è rivolto a chi mi ha incoraggiato e supportato con grande affetto in questo lungo percorso. Grazie agli amici e colleghi del Dottorato e del Centro ABITA, ai ricercatori del Laboratorio di misure meccaniche del DIEF, ai ragazzi del Laboratorio LCCE di Vitoria-Gasteiz, ai docenti Prof. M. Sala e Prof. M. De Lucia che mi hanno offerto l'opportunità di prendere parte a questo progetto.*

*Un riconoscimento particolare va a Giuseppina e Giacomo, per l'aiuto e l'amicizia che mi hanno offerto in ogni circostanza.*

*Alla mia famiglia, sempre al mio fianco.*

*Ad Alex, compagno di vita e marito premuroso...e a Leonardo, che da pochi mesi ha donato nuova luce alla mia vita.*

## Introduzione

### *1. Collocazione scientifica della ricerca*

La tesi affronta le tematiche relative alla sostenibilità ambientale e all'efficienza energetica degli edifici alla luce delle recenti disposizioni normative in ambito nazionale ed europeo, con particolare riferimento alla ricerca scientifica nel settore dei componenti di involucro e alla determinazione delle performance energetiche mediante prove di laboratorio e outdoor test.

La tesi affronta un tema con una forte connotazione sperimentale in cui prevalgono gli aspetti applicativi e pratici rispetto a quelli teorici. Pertanto, trattandosi di un'attività sperimentale che richiede diverse competenze sia teoriche sia applicative, durante lo svolgimento dell'indagine è stato necessario acquisire competenze afferenti a settori disciplinari diversi per affrontare il tema secondo un approccio interdisciplinare.

D'altra parte, la ricerca scientifica, nella sua accezione più ampia, riguarda *l'insieme di tutte le attività pratiche, intellettuali e culturali aventi lo scopo di scoprire, interpretare e revisionare fatti, eventi, comportamenti e teorie relative ad una determinata disciplina, basandosi su metodi intersoggettivi e condivisi, cioè basati sul metodo scientifico.*<sup>1</sup> Ne consegue che nella ricerca condotta in Tecnologia dell'Architettura, un settore scientifico caratterizzato da un'accentuata interdisciplinarietà degli apporti provenienti da altri ambiti (fisica, ingegneria, storia dell'arte, urbanistica, sociologia, chimica ecc.) in conseguenza al suo forte legame con l'attività edilizia, settore produttivo trainante per l'economia di un paese industrializzato, il percorso di indagine deve necessariamente svilupparsi in maniera trasversale avvalendosi del contributo scientifico proveniente da altre discipline.

Le Aree scientifico-disciplinari interessate dalla ricerca sono:

- **Area 08 - Ingegneria civile e Architettura**
- **Area 09 - Ingegneria industriale e dell'informazione**

I settori scientifico-disciplinari interessati dalla ricerca sono:

- *ICAR/12 Tecnologia dell'Architettura*  
I cui contenuti disciplinari riguardano «le teorie, gli strumenti ed i metodi rivolti ad un'architettura sperimentale alle diverse scale, fondata sull'evoluzione degli usi insediativi, della concezione costruttiva e ambientale, nonché delle tecniche di trasformazione e manutenzione dell'ambiente costruito. Comprendono la storia e la cultura tecnologica della progettazione; lo studio dei materiali naturali ed artificiali, la progettazione ambientale, degli elementi e dei sistemi; le tecnologie di progetto, di costruzione, di trasformazione e di manutenzione; l'innovazione di processo e

---

<sup>1</sup> Fonte Wikipedia

l'organizzazione della produzione edilizia; le dinamiche esigenti, gli aspetti prestazionali e dei controlli di qualità»<sup>2</sup>.

In relazione al tema della ricerca sono stati approfonditi lo studio dei materiali innovativi ad alte prestazioni, la loro applicazione e integrazione in sistemi tecnologici di parete adattivi e l'approccio metodologico per lo sviluppo di una procedura per la determinazione delle proprietà termofisiche di prodotti e componenti di parete mediante prove outdoor.

- *ING-IND/11 Fisica Tecnica Ambientale*

«Il settore studia gli aspetti fondamentali ed applicativi della termofluidodinamica, della trasmissione del calore, dell'energetica, dell'illuminazione e dell'acustica applicata sia negli ambiti dell'ingegneria industriale, civile ed ambientale sia negli ambiti della pianificazione territoriale, dell'architettura e del disegno industriale»<sup>3</sup>. In particolare sono stati approfondite le tematiche inerenti la trasmissione del calore in relazione all'involucro edilizio, le metodologie di analisi ambientale mediante tecniche di rilevamento ed elaborazione dei dati ambientali, e gli aspetti applicativi legati all'impiego di strumentazioni e procedure unificate secondo le prescrizioni riportate dalle norme tecniche valide a livello nazionale ed europeo per la conduzione di prove di laboratorio o prove in opera che consentono di misurare le prestazioni energetiche di materiali e componenti edilizi.

- *ING-IND/12 Misure Meccaniche e termiche*

«Gli studi del settore tendono a sviluppare la ricerca e le competenze sui metodi di analisi, di progettazione e di collaudo di sistemi per la misura di grandezze meccaniche e termiche sia per la scienza sia per le applicazioni industriali, ivi comprese quelle attinenti al benessere dell'uomo. In generale, essi affrontano problemi riguardanti la progettazione integrata di strumenti per il monitoraggio, la diagnostica ed il controllo di qualsiasi sistema interessato da grandezze meccaniche e termiche. Perciò, oltre a competenze di metrologia generale e di strumentazione specifica, sono necessarie competenze relative al funzionamento delle apparecchiature da collaudare, agli impianti da monitorare ed ai sistemi da controllare»<sup>4</sup>. Settore da cui si è attinto per acquisire competenze relative al funzionamento delle apparecchiature per il monitoraggio, la gestione e il controllo sullo sviluppo di strumenti di misura e l'acquisizione dei dati monitorati per la diagnostica ed il controllo di sistemi interessati da grandezze meccaniche e termiche.

---

<sup>2</sup> D.M. 4 ottobre 2000 - Allegato B "Declaratorie descrizione dei contenuti scientifico-disciplinari dei settori di cui all'art. 1 del D.M.. 23 dicembre 1999".

<sup>3</sup> Ibidem

<sup>4</sup> Ibidem

## **II. Parole chiave**

Monitoraggio energetico-ambientale, Outdoor test, Analisi a regime dinamico, Test Cell.

## **III. Base di partenza scientifica nazionale o internazionale**

### *III.a Stato dell'arte: quadro di riferimento e campo di indagine*

Da tempo una crescente attenzione verso le tematiche relative alla sostenibilità ambientale e al risparmio energetico ha innescato un processo di rigenerazione di tutti quei settori produttivi ritenuti maggiormente responsabili del consumo energetico globale, mostrando i primi segnali di una possibile ripresa dall'attuale situazione di crisi politica, economica e sociale in cui versano i paesi industrializzati.

I fattori chiave attraverso cui attivare un processo di cambiamento possono essere individuati nell'innovazione, nella ricerca e nella sperimentazione nel campo della sostenibilità e dell'efficienza energetica per poter direzionare gli investimenti dell'industria verso nuove aree di mercato e potenziare la produttività e la competitività dei settori produttivi più colpiti dalla crisi, garantendo d'altra parte un uso razionale delle risorse materiali ed energetiche e attestandosi su strategie di sviluppo industriale appropriate rispetto alle istanze contingenti, in cui i fattori ambientali assumono un ruolo propulsore e dominante.<sup>5</sup>

Nel settore delle costruzioni il tema dell'innovazione si presenta con numerose declinazioni, interessando molteplici ambiti e sottolineando la complessità del progetto di architettura. Tuttavia è possibile assistere ad un capillare processo di innovazione tecnologica dell'industria edilizia determinato dalle nuove disposizioni normative nazionali e internazionali, che attendono con urgenza risposte concrete sul fronte del contenimento dei consumi energetici, del miglioramento del comfort abitativo e più in generale sull'ottimizzazione delle prestazioni energetiche e ambientali di materiali e componenti per l'edilizia.<sup>6</sup>

La tesi si inserisce nell'ambito delle ricerche di Tecnologia dell'Architettura ed affronta in particolare le tematiche relative alla sostenibilità ambientale e all'efficienza energetica degli edifici alla luce delle recenti disposizioni normative in ambito nazionale ed europeo, con particolare riferimento alla ricerca scientifica nel settore dei componenti di involucro e alla determinazione delle performance energetiche mediante prove di laboratorio e outdoor test.

L'indagine si colloca all'interno di un programma di ricerca congiunto tra il Dipartimento di Architettura DIDA e il Dipartimento di Ingegneria Industriale DIFE dell'Università di Firenze. Si tratta di un'attività sperimentale che prevede l'allestimento della Test Cell Unifi, un laboratorio all'aperto per prove a regime dinamico realizzato dal Centro ABITA all'interno del Progetto ABITARE

---

<sup>5</sup> Carolina Girardi, La produzione industrializzata eco-innovativa per il retrofit edilizio, in Esempi di Architettura, International Journal of Architecture and Engineering, ISSN online 2035-7982.

<sup>6</sup> Andrea Campioli, *Qualità dell'architettura: innovazione, ricerca tecnologica e progetto*, in TECHNE Firenze University Press ISSN online 2239-0243, 2011

MEDITERRANEO<sup>7</sup>, per la valutazione delle prestazioni energetiche di materiali e sistemi tecnologici di parete a regime dinamico in condizioni climatiche reali.

### *III.b Delimitazioni del problema scientifico*

Parte dell'innovazione tecnologica in ambito edilizio trae origine da processi di trasferimento tecnologico da altri settori industriali caratterizzati da un forte dinamismo orientato all'innovazione (il settore chimico, aeronautico, biomedico ecc.), in cui si registrano importanti passi avanti sulla ricerca nel campo dei materiali "avanzati" ad elevate prestazioni e sulla loro applicazione per la realizzazione di prodotti e sistemi più efficienti.

L'industria delle costruzioni si trova oggi a confrontarsi con una riorganizzazione del proprio Know-how in funzione delle disposizioni normative comunitarie sull'efficienza energetica.

Le forti spinte all'innovazione nel campo della tecnologia dei materiali hanno portato alla diffusione sul mercato edilizio di prodotti e sistemi di involucro caratterizzati da elevati livelli prestazionali che integrano materiali innovativi (PCM, VIP, Aerogel, materiali nanostrutturati) in grado di modificare la propria struttura chimico-fisica al variare delle condizioni climatiche esterne.

I principali limiti tecnici all'adozione di tali sistemi nella prassi costruttiva comune risiedono nella difficoltà di valutarne le performance energetiche attraverso le comuni prove di laboratorio e di simularne il comportamento energetico attraverso i più diffusi strumenti di analisi dinamica.

La valutazione delle performance termofisiche di tali sistemi mediante outdoor test può contribuire in maniera significativa al superamento di questi limiti, specie se usata in maniera congiunta a strumenti di simulazione dinamica.

### **IV. Obiettivi generali e specifici della ricerca**

Alla luce delle considerazioni fin qui esposte, obiettivo generale della ricerca è quello avviare un'attività di sperimentazione nel settore dei sistemi di involucro attivando un processo di industrializzazione della ricerca che favorisca il coinvolgimento del settore scientifico in processi produttivi legati all'innovazione di prodotto nel campo dell'efficienza energetica.

L'indagine si focalizza in particolare sullo studio delle tecnologie di involucro verticale testate mediante la Test Cell UNIFI, una camera di prova all'aperto progettata per rispondere a specifici requisiti prestazionali sia per gli aspetti costruttivi-tecnologici sia per quelli inerenti la strumentazione di monitoraggio secondo i protocolli PASLINK<sup>8</sup> a garanzia della qualità dei dati misurati.

Il progetto di ricerca si propone come finalità di:

1. Rendere operativo uno strumento di diagnosi avanzato come la Test Cell per favorire l'attivazione di un processo di **industrializzazione della ricerca** che favorisca il **trasferimento tecnologico dal settore scientifico a quello industriale** e coinvolgimento del settore della ricerca scientifica in processi legati **all'innovazione di prodotto** nel campo **dell'efficienza energetica**;

---

<sup>7</sup> <http://www.abitaremediterraneo.eu/>

<sup>8</sup> [www.paslink.org](http://www.paslink.org)

2. Avviare un'**attività di sperimentazione** nel settore dei sistemi di **involucro dinamici**, sviluppati come elementi tecnologici di facciata e garantire l'integrazione tecnologica nel componente in grado di incrementare l'efficienza energetica degli edifici ;
3. Esercitare nei confronti del mondo industriale e dei servizi progettuali un incisivo ruolo di stimolo all'innovazione di prodotto e di processo nel settore delle tecnologie di involucro finalizzate al risparmio energetico, favorendo la **nascita di nuove iniziative imprenditoriali** in comparti innovativi mediante la **realizzazione di prototipi pre-industriali**.

Gli obiettivi specifici sono:

- l'allestimento del sistema di monitoraggio della Test Cell UNIFI (installazione e configurazione dei sensori e degli strumenti di monitoraggio) per condurre le prove a regime dinamico in condizioni outdoor e per la valutazione delle prestazioni termofisiche di componenti tecnologici di parete;
- la definizione di una procedura di *gestione, analisi e verifica dei dati sperimentali derivanti da outdoor test a regime dinamico per l'improving tecnologico di componenti innovativi di parete*.

## ***V. Descrizione del programma di ricerca***

Il percorso di ricerca è articolato in tre fasi successive che, a partire da un primo inquadramento generale sul tema del risparmio energetico negli edifici e del quadro normativo di riferimento, dalla scala macroscopica, spostano l'attenzione sull'analisi della realtà produttiva odierna ed in particolare sul settore produttivo di materiali e prodotti per l'involucro edilizio, individuandone da un lato potenzialità dall'altro i principali limiti affinché possa attivarsi un processo di sviluppo in grado di stimolare la ripresa dell'industria delle costruzioni.

La tesi è strutturata in tre parti, ciascuna delle quali riporta una delle fasi sviluppate durante il percorso di indagine: la Parte I include la fase istruttoria della ricerca, la Parte II riporta la fase di analisi dello stato dell'arte ed infine la Parte III, la fase propositiva, descrive il prodotto della ricerca.

### *V.a Fase istruttoria*

In questa prima fase si intende offrire uno spunto di riflessione sullo sforzo che viene richiesto all'architettura per un concreto miglioramento della qualità edilizia, al fine di attivare un processo virtuoso che renda possibile il rilancio del settore delle costruzioni attraverso il trasferimento tecnologico dal settore della ricerca scientifica al settore dell'industria.

Viene ricostruito, in sintesi, il quadro normativo di riferimento sull'efficienza energetica degli edifici, riportando le tappe fondamentali che hanno segnato l'evoluzione normativa nazionale e internazionale negli ultimi anni indirizzando le politiche degli Stati Membri verso gli obiettivi definiti dall'Orizzonte 2020 e verrà illustrato il quadro della situazione attuale del mercato delle costruzioni e le possibili prospettive di crescita future.

Alla luce delle recenti disposizioni normative e delle politiche di sviluppo economico adottate a livello nazionale ed europeo in tema di risparmio energetico, si intende focalizzare l'attenzione sull'importanza del ruolo della ricerca in tecnologia dell'architettura rispetto all'esigenza di produrre innovazione e improving tecnologico e sulla necessità di interagire con altri settori industriali (ingegneria dei materiali, chimica, biotecnologie ecc.).

Le potenzialità mostrate dal settore dei materiali innovativi ad alte prestazioni, oggetto di interessanti sperimentazioni e che negli ultimi anni stanno trovando applicazione nella realizzazione di sistemi di involucro adattivi/responsivi è il punto di partenza dal quale si snoda il percorso di indagine che, una volta individuati i principali limiti allo sviluppo di queste nuove tecnologie, si muove alla ricerca di uno dei possibili percorsi di innovazione attraverso cui la ricerca possa apportare un contributo concreto al settore produttivo, con la finalità di formulare soluzioni innovative in grado di rispondere alle esigenze di mercato sempre più orientate verso prodotti e sistemi con elevati livelli prestazionali derivanti da particolari e inedite conformazioni chimico-fisiche.

Gli strumenti operativi adoperati in questa fase consistono in un'indagine bibliografica sui temi relativi alla sostenibilità e al risparmio energetico negli edifici, studio della normativa di riferimento a livello europeo e nazionale, raccolta di informazioni dai siti web specializzati nel settore d'interesse, lettura di rapporti statistici e documenti di analisi sugli sviluppi del mercato delle costruzioni con particolare attenzione al settore dei materiali e prodotti per l'involucro edilizio;

#### *V.b Fase di analisi*

L'indagine in questa fase si focalizza sull'analisi del quadro di riferimento relativo allo stato dell'arte nell'ambito dei principali metodi di prova per la caratterizzazione delle proprietà termofisiche e delle performance energetiche di prodotti e materiali per sistemi tecnologici di involucro.

Ad oggi i metodi e gli strumenti più comunemente impiegati per la misura e l'analisi delle prestazioni termofisiche di materiali e prodotti di involucro avviene per via diretta, mediante prove di laboratorio a regime stazionario che consentono di misurare direttamente i parametri monitorati grazie all'impiego di strumentazioni e procedure unificate secondo le prescrizioni riportate dalle norme tecniche UNI EN ISO valide a livello nazionale ed europeo. Questi test, pur garantendo un buon livello di accuratezza dei risultati e la ripetibilità dei test, non tengono conto della variabilità delle condizioni al contorno nell'applicazione reale della soluzione esaminata su un edificio a scala reale.

Per queste ragioni, risulterebbe più ragionevole condurre prove in situ per testare il comportamento dinamico del componente in condizioni operative reali. Tuttavia, le difficoltà connesse allo svolgimento di tali attività sono molteplici e di difficile soluzione, e se estese a tutto il complesso risultano estremamente dispendiose in termini di risorse e di costi legati all'uso e alla gestione delle strumentazioni necessarie al monitoraggio.



La valutazione delle performance termiche degli edifici basata su outdoor test mediante l'uso di camere di prova a scala reale può contribuire in maniera significativa al superamento dei limiti suddetti, specie se usata in maniera congiunta a strumenti di simulazione dinamica.

In relazione a queste tematiche, è stato ricostruito un quadro complessivo delle principali esperienze in ambito europeo che hanno apportato un contributo significativo in termini di produzione scientifica, di innovazione e internazionalizzazione della ricerca sullo sviluppo di test facilities per condurre prove di monitoraggio energetico e analisi a regime dinamico su componenti di parete in condizioni outdoor.

Lo stato dell'arte è stato analizzato a partire dagli outcomes della attività di ricerca internazionale promossa dalla IEA (International Energy Agency) nell'ambito dell'Energy in Buildings and Communities Programme (ECBCS), in particolare su *Reliable Building Energy Performance Characterization Based on Full Scale Dynamic Measurements* (Annex 58).

A partire da questa prima fase di indagine, è stato inoltre possibile ricostruire la rete di interlocutori a livello europeo, e individuare alcune delle principali strutture di riferimento in ambito accademico e scientifico sui temi indagati, sia a livello europeo, sia a livello nazionale.

Gli strumenti operativi adoperati in questa fase consistono nella consultazione dei testi delle normative tecniche UNI EN ISO per quanto riguarda la conduzione di test a regime stazionario e le procedure di prova normalizzate da eseguire in laboratorio o in situ; lo studio analitico dei documenti, dei protocolli e delle procedure sviluppate all'interno del network di ricerca DYNASTEE finalizzate allo sviluppo di metodi unificati per la conduzione di prove a regime dinamico mediante Test Cells Paslink.

#### *V.c Fase propositiva*

In continuità con gli obiettivi finora raggiunti dal percorso di indagine avviato sulla Test Cell mediante il progetto ABIMED, è in quest'ultima fase del lavoro di tesi che si procede ad un ulteriore sviluppo del tema indagato con l'obiettivo specifico di formulare una procedura specifica per la conduzione di prove in Test Cell UNIFI.

Pertanto vengono descritte tutte le attività sperimentali condotte durante l'intero percorso di ricerca e finalizzate all'allestimento del banco prova e del relativo sistema di monitoraggio (installazione e configurazione dei sensori e degli strumenti di monitoraggio) e alla calibrazione della Test Cell UNIFI.

Questa fase coincide infatti con la fase di produzione scientifica e riguarda la formulazione una procedura per la gestione, l'analisi e la verifica dei dati sperimentali derivanti da outdoor test a regime dinamico per la valutazione delle prestazioni termofisiche di materiali e sistemi tecnologici di parete mediante Test Cell UNIFI.

La ricerca si focalizza in particolare sulle procedure di monitoraggio e analisi dati per la determinazione della trasmittanza termica  $U$  [ $W/m^2K$ ] della capacità termica  $C$  [ $MJ/K$ ] di componenti di parete a regime dinamico.

Gli strumenti operativi adoperati in questa fase consistono nello studio dei protocolli e delle procedure di prova applicate alle altre test facilities sviluppate all'interno del network di ricerca DYNASTEE.

#### **VI. Risultati attesi: rilevanza scientifica, originalità e utilità della ricerca**

L'utilità della ricerca risiede nella possibilità di rendere operativo e funzionale uno strumento come la Test Cell UNIFI e, affrontando le problematiche legate alla ricerca sperimentale in campo industriale, mira a promuovere l'innovazione tecnologica del settore edilizio e a concretizzare il trasferimento tecnologico dal settore scientifico disciplinare di competenza al settore produttivo.

Risultati attesi:

1. Ampliare e approfondire il campo di indagine già avviato con la ricerca ABITARE MEDITERRANEO, offrendo di fatto la possibilità di eseguire outdoor test e di interagire con il settore industriale, in particolare con aziende produttrici di materiali e componenti edilizi.
2. Includere il laboratorio all'interno della rete internazionale delle test facilities sviluppate da centri di ricerca e Università dell'ANNEX 58.
3. Sollecitare la Collaborazione tra Università e imprese su programmi di ricerca di più ampio respiro attorno al progetto di componenti innovativi di facciata per l'edilizia, capaci di prefigurare soluzioni sperimentali di chiusura verticale caratterizzate da un innovativo contenuto tecnico-scientifico.
4. Creare nuovi mercati nel settore edilizio per le aziende toscane che partecipano ad attività di R&S, aumentandone la competitività sul territorio.

#### **VII. Destinatari privilegiati e spendibilità della ricerca**

Destinatari privilegiati della ricerca sono:

- **Il personale tecnico scientifico dei settori scientifici coinvolti**, che potrà acquisire la ricerca per svilupparla in relazione agli aspetti insoluti di proprio interesse, con particolare riferimento alle prove di monitoraggio a regime dinamico in condizioni climatiche esterne.
- **Portatori di interesse del settore industriale:**
  - ✓ Aziende produttrici di materiali con caratteristiche innovative (tim, isolanti nanostrutturati, superfici trasparenti bassoemissive, vernici foto catalitiche, pv terza generazione, ecc.);
  - ✓ Aziende produttrici di componenti e sistemi di facciata, per la verifica dell'integrabilità tra le parti e per testarne le caratteristiche prestazionali;
  - ✓ Aziende specializzate nella produzione di sistemi tecnologici d'involucro che integrano impianti per l'ottimizzazione dei consumi energetici;

### ***VIII. Sviluppi futuri della ricerca***

I possibili sviluppi futuri che emergono a partire dal presente lavoro di tesi, riguardano la possibilità di impiegare i dati monitorati durante le prove su componenti per validare dei dati di output forniti dai principali software di simulazione energetica a regime dinamico che potrà avvenire per via empirica attraverso il confronto, applicato a uno o più casi studio, tra i dati calcolati mediante il software e i dati monitorati e registrati da Test Cells collocate in diverse località geografiche d'Europa.

Tra gli sviluppi a lungo termine risiede l'idea di includere la Test Cell all'interno di un circuito regionale di laboratori di prova su prodotti e componenti edilizi (resistenza meccanica, resistenza al fuoco, tenuta all'acqua, prestazione acustica e illuminotecnica, ecc.), mediante lo sviluppo di protocolli condivisi, per una caratterizzazione della qualità globale del prodotto.



## **PARTE I - QUADRO CONOSCITIVO**

---



## Cap. I.1 Sostenibilità ed efficienza energetica: il futuro dell'edilizia nell'Europa 2020

Oggi la sostenibilità energetica e ambientale si sta rapidamente affermando a livello globale come principale motore dell'innovazione e driver di scelta strategica per lo sviluppo economico di un Paese e per la conquista della leadership sul mercato, favorita in ciò dalla normativa cogente e dalle politiche di sviluppo internazionali già fortemente orientate in questa direzione.

Sostenibilità è il nuovo paradigma della nostra epoca e rappresenta una delle sfide più stimolanti per la ricerca scientifica e tecnologica poiché sollecita mutamenti strutturali anche nel mondo della produzione e interessa ambiti disciplinari diversi e apparentemente slegati tra loro.

Fin dai primi anni del XX secolo, la convinzione che le risorse fossero ovunque disponibili e inesauribili, l'estendersi del processo di globalizzazione e l'azione delle politiche europee basate esclusivamente sulla riduzione della spesa pubblica e sul rigore di bilancio hanno avuto un effetto dirompente sull'equilibrio dell'economia mondiale, accelerando in misura esponenziale tutti i processi di disuguaglianza sociale e di collasso ambientale.

L'analisi congiunturale di tutti questi fattori ha portato l'opinione pubblica mondiale e i principali decisori politici ad un'attenta riflessione sulle contraddizioni mostrate dal modello di sviluppo del sistema economico che fondava le proprie radici nella rivoluzione industriale, e che aveva determinato il depauperamento delle risorse energetiche e una forte crisi ambientale fino a coinvolgere il sistema produttivo nel suo insieme e l'intero sistema sociale.

In conseguenza a questi fenomeni di trasformazione irreversibile è emersa l'esigenza di affacciarsi verso un nuovo paradigma sociale e produttivo che sia in grado di coniugare lo sviluppo con la sostenibilità ambientale.

Il consumo energetico è una componente dominante della struttura dei costi della sostenibilità, tuttavia le tendenze attuali sull'uso dell'energia non hanno ancora raggiunto un buon livello di sostenibilità anche a causa del perdurare della dipendenza della produzione energetica da fonti di energia non rinnovabili.

Negli ultimi cinquant'anni, industria e società hanno subito delle profonde trasformazioni dei rispettivi modelli evolutivi, entrambi caratterizzati da un incremento dei consumi di energia primaria. Secondo i dati riportati dall'International Energy Agency – IEA, tra il 1980 e il 2010 la domanda di energia primaria a livello mondiale è cresciuta del 40% e, secondo le previsioni future, questa tendenza continuerà ad affermarsi fino al 2030 se non verranno adottate giuste misure di intervento.<sup>9</sup>

L'aumento del consumo mondiale di energia ed una forte dipendenza dei Paesi dell'UE dalle importazioni di energia, in particolare di petrolio e più recentemente di gas, destano non poche preoccupazioni in merito al problema dell'approvvigionamento energetico.

Più della metà dell'energia consumata nell'UE-28 proviene da paesi extra UE, e nell'ultimo decennio tale quota è andata generalmente aumentando.

---

<sup>9</sup> Nel report "Energy Technology Perspectives" dell'IEA, vengono presentati scenari diversi che quantificano gli effetti ambientali previsti a medio e lungo termine, in relazione ad una visione prospettica che prevede un aumento di 6 gradi della temperatura globale fino al 2050.

Tra il 2002 e il 2012, la dipendenza dell'UE da paesi terzi per l'approvvigionamento di gas naturale (14,9 %) e petrolio greggio (11,9 %) è cresciuta a un ritmo più sostenuto rispetto alla dipendenza dalle importazioni di combustibili solidi (8,9 %).

Dal 2004 le importazioni nette di energia dell'UE-28 hanno superato la sua produzione di energia primaria: in altri termini, più della metà dei consumi interni lordi di energia dell'UE-28 è coperta dalle importazioni nette<sup>10</sup>.

La dipendenza dell'UE-28 dalle importazioni di energia è cresciuta, passando da meno del 40 % del consumo lordo di energia negli anni 80 al 53,4 % nel 2012, anno in cui più della metà dei consumi interni lordi di energia dell'UE-28 era coperta dalle importazioni: tassi di dipendenza energetica più alti sono stati registrati per il petrolio greggio (88,2 %) e per il gas naturale (65,8 %).

Tra i maggiori importatori netti di energia primaria figurano gli Stati membri più popolosi dell'UE, ad eccezione di Regno Unito e Polonia (che continuano a possedere riserve di petrolio/gas naturale e carbone)<sup>11</sup>.

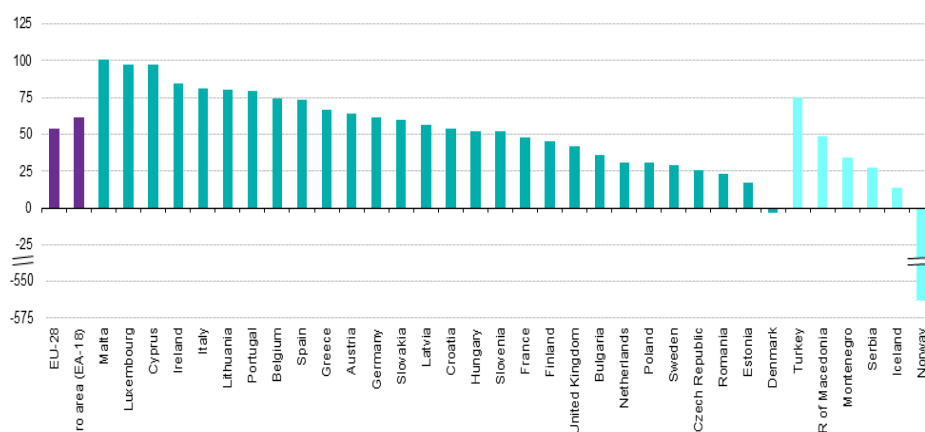


Fig.I.1 Tasso di dipendenza energetica, tutti i prodotti, 2012 (% delle importazioni nette su consumi interni lordi e bunkeraggi, sulla base di tonnellate equivalenti di petrolio). Fonte: Eurostat.

La forte dipendenza da Paesi produttori di energia e un aumento della domanda di petrolio e gas da parte delle economie emergenti previsti in uno scenario di medio-lungo periodo fino al 2030, sarà all'origine di gravi conseguenze per l'economia dell'UE in termini di accessibilità alle risorse e competitività tra i Paesi Europei per rifornirsi di materie prime a condizioni accessibili.

D'altra parte, se si osserva il problema sotto il profilo della sostenibilità ambientale, la produzione di energia da combustibili fossili genera effetti devastanti sul clima a causa dell'emissione di agenti inquinanti, pericolosi per la salute umana, e di gas a effetto serra responsabili del surriscaldamento globale e dei cambiamenti ambientali.

In relazione a queste problematiche, la risoluzione della questione energetica è di importanza prioritaria, a livello europeo e nazionale, al fine di garantire la

<sup>10</sup> Dati EUROSTAT riferiti al 2012.

<sup>11</sup> Dal 2004 l'unico esportatore netto di energia primaria tra gli Stati membri è la Danimarca.



sicurezza degli approvvigionamenti, l'accessibilità e competitività dei mercati e la sostenibilità ambientale.

Con queste finalità, nel novembre 2008, la Commissione europea ha adottato il secondo riesame strategico della politica energetica rivedendo la politica energetica dell'UE e ponendo l'accento su sicurezza e solidarietà quali fattori essenziali che contribuiscono a una politica energetica efficace.

Il piano proposto si pone come obiettivo principale la riduzione il consumo di energia di circa il 15% e le importazioni di energia del 26% entro il 2020, migliorando così la sicurezza degli approvvigionamenti energetici e diminuendo le emissioni di gas a effetto serra.

Nell'ambito del riesame è stata incoraggiata la solidarietà tra gli Stati membri UE in campo energetico, è stato proposto un piano d'azione articolato in cinque punti in cui sono state adottate una serie di proposte in materia di efficienza energetica volte a conseguire risparmi energetici in settori chiave quali l'edilizia e i prodotti che consumano energia.

Coniugare l'efficienza energetica ad un modello di sviluppo sostenibile rappresenta dunque il primo passo verso un sistema energetico globale più stabile e meno esposto ai rischi e alla volatilità a cui la crescita economica globale condurrà inevitabilmente, contribuendo al tempo stesso a ridurre le emissioni di biossido di carbonio e di agenti inquinanti locali.

Le tecnologie di risparmio energetico e le misure sul contenimento dei consumi adottati in settori come industria, edilizia e trasporti hanno prodotto notevoli progressi in termini di efficienza energetica: attualmente il consumo finale totale nei paesi dell'UE è inferiore del 60% rispetto agli ultimi quarant'anni.

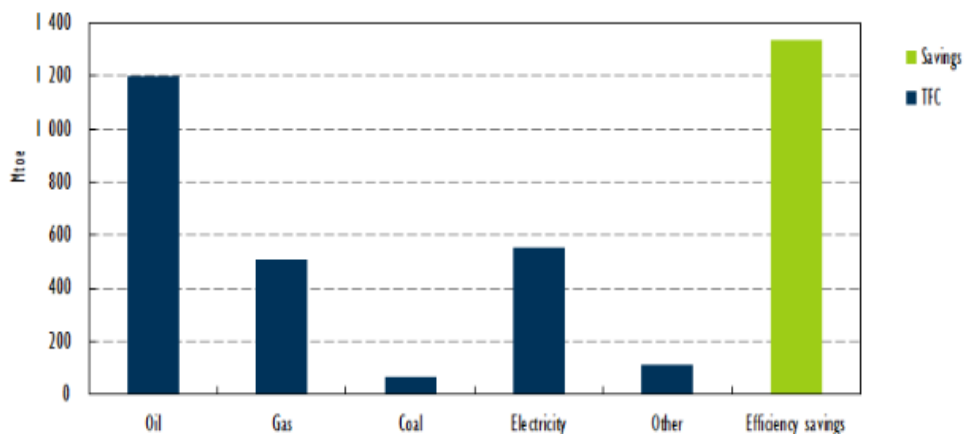


Fig. I.2. Consumo finale totale di combustibili fossili e risparmio energetico in 11 Paesi membri dell'IEA nel 2011. Fonte IEA.

Secondo le stime dell'IEA<sup>12</sup>, grazie alle politiche di risparmio energetico e all'adozione di tecnologie che migliorano efficienza energetica:

- Nel 2011, in 11 dei Paesi Membri<sup>13</sup> dell'IEA negli ultimi quarant'anni sono stati risparmiati 1337 Mtoe, valore superiore al consumo totale

<sup>12</sup> Energy Efficiency Market Report 2014

<sup>13</sup> I dati si riferiscono a Australia, Denmark, Finland, France, Germany, Italy, Japan, Netherlands, Sweden, UK, United States

finale (TFC) di qualsiasi altra fonte di energia derivata da combustibili fossili: petrolio (1202 Mtoe), elettricità (552 Mtoe) e metano (509 Mtoe).

Il valore 1337 Mtoe di energia risparmiata risulta maggiore al TFC dei Paesi dell'UE (1217 Mtep) e dell'Asia escludendo la Cina (1112 Mtep).

- L'efficienza energetica è stato il principale driver di riduzione della domanda energetica dei consumi contribuendo ad un risparmio di 1700 Mtep in 18 Paesi dell'IEA e ad una riduzione del TFC del 5% nel 2011 rispetto ai livelli del 2001. In riferimento allo stesso periodo, in assenza di misure di efficienza energetica, nel 2011 il consumo di energia sarebbe stato superiore all'8%.

Nonostante i progressi compiuti dall'UE negli ultimi dieci anni per il raggiungimento degli obiettivi energetici e climatici, il percorso di miglioramento dell'efficienza energetica non è ancora abbastanza rapido. Nel corso degli ultimi dieci anni, l'intensità energetica globale si è ridotta dell'1,6% all'anno ma, per allinearsi agli obiettivi di risparmio per il 2035 previsti nel 2nd Scenario dell'IEA, il tasso di miglioramento dell'intensità energetica dovrà aumentare del 2,9% l'anno, circa il doppio del tasso medio attuale.

La riduzione della domanda di energia registrata negli ultimi decenni, piuttosto che riflettere una profonda trasformazione del settore energetico dell'UE, è almeno in parte legata alla crisi economica: la ridotta attività industriale, la diminuzione dei volumi di trasporto e una scarsa attività economica rientrano tra le cause che hanno determinato un calo dei consumi energetici e delle emissioni di gas serra tra il 2007 e il 2011.

Secondo le rilevazioni statistiche dell'EUROSTAT, le emissioni di gas serra nell'UE-15 sono state il 14,6% inferiori rispetto ai limiti stabiliti nel protocollo di Kyoto<sup>14</sup> per lo stesso anno di riferimento. Il gruppo di paesi adempiuto così con successo il suo impegno internazionale prima del termine previsto del 2012.

Ciononostante, il sensibile calo registrato tra il 2008 e il 2011 (nel 2009 le

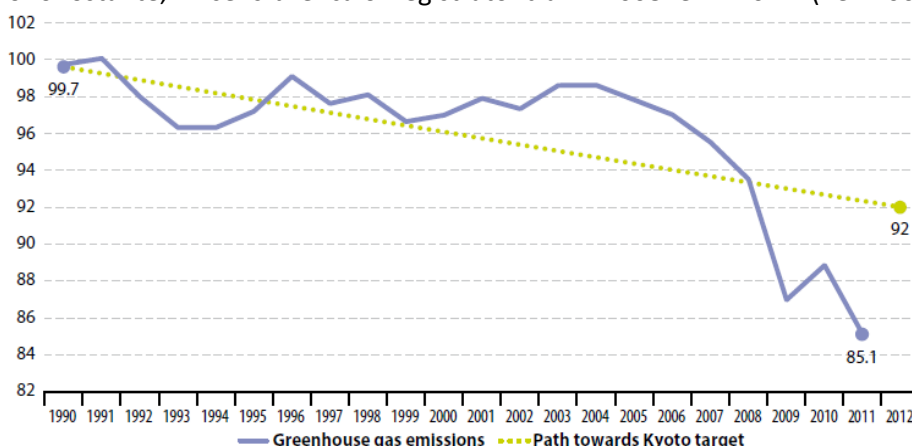
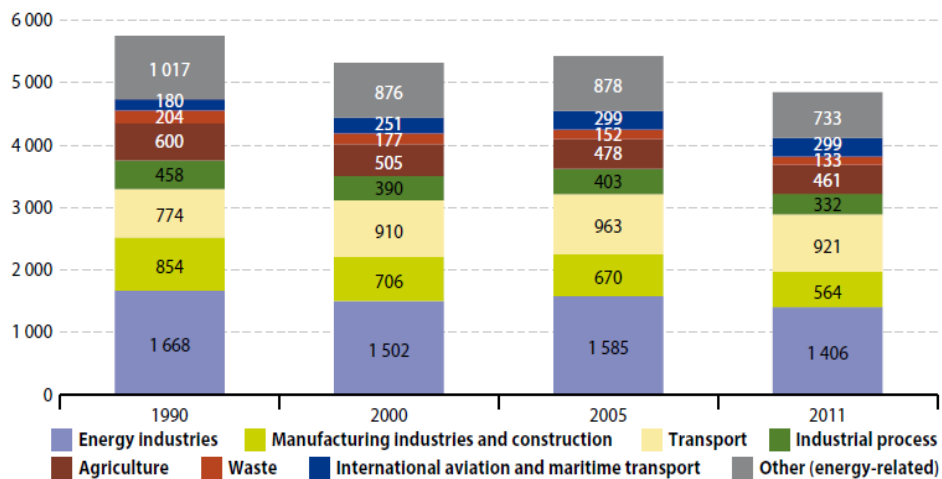


Fig.I.3. Emissione di gas effetto serra, EU-15 (confronto con gli obiettivi del protocollo Kyoto). Fonte Eurostat.

emissioni sono diminuite del 7% rispetto all'anno precedente) altro non è che una

<sup>14</sup> Nell'ambito del protocollo di Kyoto, l'UE-15 si era impegnata a tagliare le emissioni di gas serra (escludendo il trasporto aereo internazionale) dell'8% entro il 2008-2012 rispetto ai livelli del 1990.

conseguenza diretta della crisi economica e del blocco del sistema produttivo che ha indotto una riduzione della domanda energetica.



NB: Emissions from land use, land use change, and forestry (LULUCF) are excluded.

Fig.1.4. Emissione di gas effetto serra per settori, EU-27(milioni di tonnellate di CO2 equivalente). Fonte Eurostat.

Le emissioni di gas a effetto serra dell'UE-27 nel periodo tra il 1990 e il 2011 sono diminuite del 17%: in termini assoluti, l'Unione Europea ha tagliato le proprie emissioni di 958 milioni tonnellate di CO2 equivalente.

Nonostante il dato positivo, le riduzioni medie delle emissioni annuali tra il 2000 e il 2011 non sono sufficienti a mettere l'UE sulla strada giusta per rispettare il suo impegno a lungo termine di ridurre le emissioni di gas a effetto serra dell'80-95% entro il 2050 rispetto ai livelli del 1990.

Le emissioni di gas serra in relazione ai diversi settori economici, sono diminuite in tutti i settori tra il 2000 e il 2011 con la sola eccezione del settore dei trasporti.

Le industrie per la produzione di energia, che sono le maggiori responsabili delle emissioni totali di gas effetto serra, tra il 2000 e il 2011 hanno ridotto di 96 milioni di tonnellate le emissioni di CO2 equivalente (pari al 6% del valore iniziale). Ma il contributo più grande è riconducibile al settore delle industrie manifatturiere e a quello delle costruzioni, in cui si registra un calo di 142 milioni di tonnellate di CO2 equivalente dal 2000 al 2011, pari a una riduzione del 20%.

Dal 2008, anno in cui l'UE ha adottato il primo pacchetto di misure per il clima e l'energia, sono stati raggiunti notevoli risultati in rapporto agli obiettivi 2020, e significativi miglioramenti sono stati registrati anche sul fronte del risparmio energetico grazie allo sviluppo di sistemi più efficienti nel campo dell'industria, dei trasporti e delle costruzioni.

I dati rilevati per l'anno 2012 affermano che le emissioni di gas a effetto serra sono diminuite del 18% rispetto al 1990 e si prevede un'ulteriore diminuzione del 24% nel 2020 e del 32% nel 2030; la percentuale di energia finale consumata rappresentata da energie rinnovabili è arrivata al 13% e dovrebbe aumentare ulteriormente, salendo al 21% nel 2020 e al 24% nel 2030.<sup>15</sup>

L'efficienza energetica è dunque destinata a svolgere un ruolo fondamentale nella transizione verso un nuovo modello di crescita sicuro e competitivo basato su un

<sup>15</sup> COM(2014) 15 final

sistema energetico sostenibile, ed è uno degli elementi fondanti della politica energetica europea per promuovere una crescita intelligente, sostenibile ed inclusiva secondo gli obiettivi strategici fissati da Europa 2020.

In termini di obiettivi quantitativi, la Commissione Europea ha varato nel 2008 il «Pacchetto Clima-Energia», che stabilisce i seguenti target al 2020:

- un aumento del 20% dell'efficienza energetica;
- una riduzione del 20% delle emissioni di gas serra rispetto al 1990;
- una quota pari al 20% di energie rinnovabili sul totale (per l'Italia il 17%).

Sebbene siano stati realizzati progressi notevoli per il conseguimento di questi obiettivi, stime recenti della Commissione indicano che tali obiettivi potranno essere raggiunti solo attraverso l'adozione di ulteriori strategie in funzione delle opzioni tecnologiche che si renderanno disponibili negli anni.

Le possibilità di intervento sono notevoli, in particolare nei settori ad elevato consumo di energia, quali il settore della produzione di energia elettrica, il settore delle costruzioni, l'industria e i trasporti.

Secondo le stime riportate dall'UE, il settore delle costruzioni è quello che presenta un potenziale di risparmio più elevato rispetto ad altri settori produttivi: il consumo energetico nel settore civile è responsabile di circa il 40% del consumo energetico totale per gli usi finali e del 36% delle emissioni totali di gas climalteranti nell'UE; inoltre il 50% di materiali estratti sono trasformati in materiali e prodotti per la costruzione.

Il settore delle costruzioni assume un ruolo considerevole ai fini della riduzione dei consumi energetici e del raggiungimento degli obiettivi delle strategie di sostenibilità ambientale.

Le trasformazioni e le novità introdotte dalle normative internazionali in tema di risparmio energetico negli edifici hanno avviato un profondo processo di trasformazione nel settore delle costruzioni che riguarda sia i modelli insediativi sia la qualità dell'abitare, sempre più improntati a principi di efficienza energetica e di eco-compatibilità.

Le attuali normative impongono una trasformazione del settore edilizio da una parte mediante lo sviluppo di tecnologie costruttive e impiantistiche per il risparmio energetico nelle nuove costruzioni, dall'altra attraverso l'introduzione di metodologie progettuali e prodotti innovativi per la manutenzione e la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente.

Le potenzialità di risparmio e le opportunità di intervento sugli edifici sono numerose se si considera la varietà di tecnologie che possono essere impiegate in ordine alle diverse unità tecnologiche che costituiscono l'organismo edilizio e alle soluzioni impiantistiche per il riscaldamento, il raffrescamento, l'illuminazione e l'acqua calda sanitaria.

Il processo di trasformazione dell'edilizia, orientato verso l'innovazione di processo e di prodotto finalizzata al risparmio energetico, ha condotto nel tempo ad un progressivo spostamento delle lavorazioni dal cantiere agli stabilimenti di produzione industriale, determinando una nuova cultura del progetto di architettura.

Nonostante la spinta pervasiva al cambiamento, con riferimento al panorama italiano, l'innovazione nel settore dell'edilizia si è sviluppata con maggiore lentezza rispetto ad altri settori, in un contesto che permane caratterizzato dalla

'tradizione', sia per ragioni legate alle resistenze di una cultura sedimentata dell'abitare, ma soprattutto a causa delle oscillazioni di una domanda che dipende fortemente dal mercato e dalle politiche di incentivazione.

Il superamento delle barriere di mercato nel settore delle costruzioni è una questione prioritaria per garantire il successo delle politiche comunitarie e per raggiungere gli obiettivi strategici di risparmio, per questo motivo sono necessarie politiche integrate e globali.

Le innovazioni poste in essere mediante l'applicazione di nuove soluzioni tecnologiche integrate a sistemi di produzione di energia rinnovabile in edifici NZeb, rappresentano ancora solo un primo timido passo verso il futuro dell'Europa 2020.

Gli obiettivi strategici posti dall'UE sono molto impegnativi, tuttavia la loro realizzazione sarà possibile solo attraverso politiche di governance e linee strategiche orientate ad azioni di R&S, con il coinvolgimento e la collaborazione di tutti gli attori interessati: progettisti, produttori, costruttori, ricercatori, decisori politici e istituzioni, consumatori.

### **I.1.1 Il risparmio energetico negli edifici: il quadro normativo di riferimento nazionale ed internazionale**

Nel capitolo precedente si è discusso di come la crisi economica e finanziaria abbia di fatto ridotto la capacità d'investimento degli Stati membri, mentre l'aumento dei prezzi dei combustibili fossili ed il conseguente aumento dei costi dell'energia ha condotto ad un progressivo spostamento del centro di gravità della domanda di energia a livello mondiale verso le economie emergenti, in particolare la Cina e l'India.

D'altra parte l'emergenza ambientale dettata dai cambiamenti climatici e la necessità di ridurre in modo significativo e prolungato le emissioni di gas a effetto serra per limitare ulteriori alterazioni del clima terrestre hanno spinto l'UE a orientare le proprie politiche strategiche verso obiettivi ancora più ambiziosi<sup>16</sup>.



Fig. I. 5 Emergenza smog in Cina (Fonte: International Web Post).

Il forte impulso determinato dagli indirizzi e dalle politiche dell'UE a seguito della crisi petrolifera del 1979, hanno dato il via negli anni alla promozione di azioni specifiche in tema di efficienza energetica, affrontando il problema dello sviluppo dei Paesi dell'UE, nella sua dimensione economica e sociale, come un'occasione per migliorare la competitività e la ricerca e garantire una crescita basata su maggiore occupazione e produttività.

Attraverso la Direttiva 2006/32/CE sull'efficienza degli usi finali dell'energia e servizi energetici, l'UE ha adottato un quadro istituzionale, finanziario e giuridico completo contenente misure per promuovere il raggiungimento degli obiettivi di miglioramento dell'efficienza energetica e dei servizi energetici, nel rispetto degli impegni assunti nel quadro del protocollo di Kyoto sui cambiamenti climatici.

La Commissione Europea ha di recente presentato un quadro aggiornato delle politiche climatiche ed energetiche per il periodo 2020-2030, proponendo obiettivi ambiziosi per la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra e l'uso di energie da fonti rinnovabili.

---

<sup>16</sup> L'International Energy Agency (IEA) ha posto come obiettivo principale la riduzione dell'80% delle emissioni di CO<sub>2</sub> entro il 2050 (rispetto al 1990) per stabilizzare le concentrazioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera secondo i livelli suggeriti dal Gruppo intergovernativo sui cambiamenti climatici (IPPC).

La nuova Direttiva sull'efficienza energetica 2012/27/UE del 25 ottobre 2012<sup>17</sup>, stabilisce un quadro normativo comune per la promozione dell'efficienza energetica nell'Unione al fine di garantire il conseguimento dell'obiettivo principale dell'aumento dell'efficienza energetica del 20% entro il 2020, gettando le basi per ulteriori miglioramenti oltre tale data. L'obiettivo dichiarato è quello di ridurre la dipendenza energetica dei Paesi dell'Unione dai Paesi extra Ue operando un taglio del 20% sulla quota di approvvigionamento di combustibili fossili (petrolio e gas) allo scopo di rimuovere gli ostacoli del mercato che frenano l'efficienza nella fornitura e nell'uso dell'energia.

I requisiti stabiliti dalla direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica sono requisiti minimi e non impediscono ai singoli Stati membri di mantenere o introdurre misure più rigorose.

In accordo con la Comunicazione della Commissione Europea sull'Efficienza Energetica<sup>18</sup> di Luglio 2014, l'UE prevede di raggiungere un risparmio energetico del 18%-19% nel 2020, circa 1-2 punti percentuali al di sotto dell'obiettivo del 20%.

Per conseguire l'obiettivo dell'Unione di ridurre dell'80-95 % le emissioni di gas serra entro il 2050 rispetto al 1990 la Direttiva europea sull'efficienza energetica riconosce come necessari gli interventi sul patrimonio edilizio esistente che rappresenta il settore con le maggiori potenzialità di risparmio energetico: emerge dunque la necessità di aumentare il tasso delle ristrutturazioni di immobili riducendo le quantità di energia spesa per il riscaldamento, l'aria condizionata, l'acqua calda e l'illuminazione.

Per questo ciascuno Stato è tenuto a definire una strategia a lungo termine per mobilitare investimenti nella ristrutturazione del parco nazionale di edifici residenziali e commerciali.

La direttiva impone un miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici pubblici e di utilità pubblica del +1,5% all'anno. Si stima che la quota del settore edilizio garantisca un risparmio del 10-12% sul 20% totale.

Con l'emanazione della prima Direttiva sull'efficienza energetica degli edifici 2002/91/CE (EPBD - Energy Performance of Buildings Directive), in ottemperanza alle disposizioni contenute all'interno del Protocollo Kyoto, vennero definiti gli orientamenti comunitari in tema di miglioramento delle prestazioni energetiche nell'edilizia.

In vista degli obiettivi fissati per il 2020, nel 2010 la Direttiva 2002/91/EC è stata sottoposta a revisione con lo scopo di rafforzare le misure di efficienza energetica degli edifici previste fino a quel momento.

La nuova Direttiva sull'efficienza energetica degli edifici 2010/31/EU, denominata "EPBD recast", rafforza l'obiettivo di riduzione dei consumi aprendo nuovi fronti sul risparmio energetico e puntando a una visione complessiva che interessa sia edifici di nuova costruzione, sia il patrimonio edilizio esistente.

La revisione della Direttiva EPBD è funzionale agli obiettivi dell'Unione Europea stabiliti dalla strategia "20-20-20" e, fra le nuove misure per rafforzare le precedenti disposizioni in tema di efficienza energetica degli edifici, introduce all'Art.2 il requisito di Nearly Zero Energy Building, "edifici ad altissima prestazione

---

<sup>17</sup> DIRETTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE

<sup>18</sup> COM(2014) 520 final

*energetica e fabbisogno energetico molto basso, quasi nullo, coperto in larga misura da fonti rinnovabili, compresa l'energia da rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze*<sup>19</sup>.

La Direttiva impone agli Stati membri l'adeguamento delle normative nazionali alle direttive europee e impone altresì che a partire dal 2018, tutti gli edifici pubblici di nuova costruzione dovranno soddisfare il requisito NZeb, mentre per quelli oggetto di riqualificazioni dovranno essere soddisfatti risultati di massima efficienza energetica in considerazione del fattore *costo/beneficio*, mentre dal 2020 tale obbligo sarà esteso a tutti i nuovi edifici pubblici e privati.

La definizione di NZEB a livello europeo rimane volutamente vaga ed è di natura qualitativa, lasciando libertà di interpretazione agli Stati membri declinandone il concetto in virtù delle specificità del contesto territoriale e socio-culturale.

Negli ultimi dieci anni si è assistito alla definizione di vari standard di edifici low energy: dalle prime Passivhaus tedesche, diffuse nel nord Europa alla più recente passive-on per i climi caldi europei.<sup>20</sup>

I risultati conseguiti dalla matura sperimentazione tecnologica, nonché la ricerca scientifica nel campo delle tecnologie soft e hard<sup>21</sup> applicate al settore edilizio sono parte attiva nella corsa al conseguimento degli obiettivi NZEB.

In Italia, il recepimento della Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica avviene con il Decreto Legislativo 102/2014<sup>22</sup> in cui vengono stabilite le misure da adottare per il raggiungimento degli obiettivi nazionali di risparmio energetico definiti al 2020 delineando una serie di strategie finalizzate a superare gli ostacoli e le carenze del mercato nazionale. Attraverso il decreto viene varato un *Fondo Rotativo Nazionale per l'efficienza energetica* per finanziare la riqualificazione di edifici basata su interventi di efficienza energetica, che mette a disposizione per il periodo 2014-2020 un ammontare di 800 milioni di euro per la riqualificazione energetica degli edifici e per l'efficienza delle imprese energivore.<sup>23</sup>

Coerentemente con il Decreto 102/2014, viene adottato il Piano d'Azione per l'Efficienza Energetica 2014 (PAEE 2014) in cui si stabilisce un quadro di misure per la promozione e il miglioramento dell'efficienza energetica rafforzando gli strumenti già esistenti e introducendo nuove norme finalizzate a rimuovere gli ostacoli sul mercato dell'energia e a superare le carenze del mercato che frenano i settori più in difficoltà.

In particolare per il settore edilizio, il Piano elabora una proposta di interventi di medio-lungo termine per il miglioramento della prestazione energetica di edifici appartenenti al parco immobiliare nazionale, pubblico e privato, valutandone il potenziale sia dal punto di vista tecnico, sia economico, con l'ausilio di un'analisi costi-benefici che confronti lo scenario di riferimento con uno o più scenari alternativi che tengano conto di opzioni relative ai sistemi efficienti.

L'evoluzione del quadro normativo nazionale in vista dell'adeguamento richiesto dalla UE alle novità introdotte dalla EPBD recast ha portato all'approvazione della

---

<sup>19</sup> Cfr. "EPBD recast" 2010/31/EU

<sup>20</sup> P.Gallo, G. Calcagno *Obiettivo Nzeb: dalla progettazione, all'innovazione tecnologica, al mercato. Il caso Italia*, in *Ingenio* n.30, 2015.

<sup>21</sup> Andrea Campioli, *Qualità dell'architettura: innovazione, ricerca tecnologica e progetto*, in *TECHNE* Firenze University Press ISSN online 2239-0243, 2011

<sup>22</sup> DECRETO LEGISLATIVO 4 luglio 2014, n. 102. Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

<sup>23</sup> <http://www.direttiva27.it/>



Legge 90/2013, recante disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE, che ha modificato e convertito in legge il Decreto Legge 63/2013.

La Legge 90/2013 rappresenta uno degli strumenti normativi più importanti per l'adeguamento degli strumenti normativi nazionali alle disposizioni comunitarie. La Legge apporta modifiche sostanziali al Decreto Legislativo 192/2005<sup>24</sup> e formula una prima definizione di criteri e procedure per gli edifici a energia quasi zero (NZEB), introducendo una serie di novità in ordine alla metodologia di calcolo dell'indice di prestazione energetica degli edifici aggiornata in riferimento alle Norme UNI TS 11300 (parti da 1 a 4) e alla Raccomandazione 14 del Comitato Termotecnico Italiano (CTI), alla redazione dell'Attestato di Prestazione Energetica (APE) e alle detrazioni fiscali in caso di ristrutturazioni e interventi di riqualificazione energetica.<sup>25</sup>

Un passo importante verso un l'incremento di edifici a energia quasi zero è stato compiuto di recente grazie alla pubblicazione delle nuove disposizioni legislative nazionali contenute sulla Gazzetta Ufficiale Serie Generale n.162 del 15 luglio 2015 - Suppl. Ordinario n. 39 - in cui sono stati pubblicati i tre Decreti Ministeriali elaborati dal Ministero dello Sviluppo in attuazione alla Legge 90/13.

Tali decreti entreranno in vigore il 1 ottobre 2015 delineando il nuovo quadro legislativo in materia di efficienza energetica degli edifici, introducendo importanti novità in materia di certificazione energetica degli edifici e nuovi limiti di prestazione termica da rispettare per l'involucro edilizio trasparente e opaco in determinati interventi edilizi. Tali disposizioni diventeranno un riferimento univoco per tutte le regioni italiane ovviando alla precedente frammentazione normativa dovuta all'ampia autonomia regionale nel recepire la precedente Direttiva 2002/91/UE.

---

<sup>24</sup> Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192-Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.(G.U. 23 settembre 2005, n. 222)

<sup>25</sup> Legge ordinaria del Parlamento n° 373 del 30/04/1976 Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici. La legge imponeva limiti alla dispersione termica degli involucri per limitare i consumi energetici, ma la sua applicazione nell'edilizia fu scarsa se non addirittura assente a causa dei pochi controlli e della poca sensibilità sociale e dei costruttori nei confronti del problema.

---

**Decreti attuativi della Legge 90/13 del Ministero dello Sviluppo Economico  
(Gazzetta Ufficiale Serie Generale n.162 del 15 luglio 2015 - Suppl. Ordinario n. 39 - )**

---

**DECRETO 26 giugno 2015 -  
Applicazione delle metodologie di  
calcolo delle prestazioni  
energetiche e definizione delle  
prescrizioni e dei requisiti minimi  
degli edifici.**

Definisce le nuove modalità di calcolo della prestazione energetica e i nuovi requisiti minimi di efficienza per i nuovi edifici e per quelli sottoposti a ristrutturazione e a riqualificazione energetica. Rispetto alle disposizioni legislative attualmente vigenti il decreto riporta standard energetici minimi più severi per gli edifici nuovi e per quelli ristrutturati, ottimizzando il rapporto costi/benefici degli interventi, per arrivare a realizzare gli Edifici a Energia Quasi Zero previsti dalla Direttiva 2010/31/UE.

**DECRETO 26 giugno 2015 -  
Adeguamento del decreto del  
Ministro dello sviluppo  
economico, 26 giugno 2009 -  
Linee guida nazionali per la  
certificazione energetica degli  
edifici.**

Integra e modifica le linee guida nazionali per l'Attestazione della Prestazione Energetica degli edifici (APE 2015). Il nuovo modello di APE, uguale per tutto il territorio nazionale, presenta una nuova struttura e un nuovo indicatore per la classificazione energetica dell'edificio, consentendo un più facile confronto della qualità energetica di unità immobiliari differenti e orientando il mercato verso edifici con migliore qualità energetica.

**DECRETO 26 giugno 2015 - Schemi  
e modalità di riferimento per la  
compilazione della relazione  
tecnica di progetto ai fini  
dell'applicazione delle prescrizioni  
e dei requisiti minimi di  
prestazione energetica negli  
edifici.**

Fornisce schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici. Gli schemi sono stati predisposti in funzione delle diverse tipologie di intervento edilizio (nuova costruzione, ristrutturazione importante, riqualificazione energetica)

Relativamente al nuovo decreto sull'APE, viene completato il quadro normativo sull'efficienza energetica in edilizia adeguando le linee guida nazionali alle nuove metodologie di calcolo introdotte a livello europeo e definite a livello nazionale con il decreto sui requisiti minimi di prestazione energetica.

Tra le principali novità introdotte da questo decreto rispetto alla normativa preesistente emerge una scala più ampia delle classi energetiche dell'edificio, passando da 7 a 10 classi, dalla peggiore (Classe G) alla migliore (Classe A4).

La scala di queste classi è definita a partire dal valore dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio di riferimento, calcolato ipotizzando che in esso siano installati elementi edilizi e impianti standard dell'edificio di riferimento. Tale indice è posto come separazione tra la Classe B e la Classe A1.

Ai fini della determinazione della classe energetica, la prestazione energetica dell'edificio è espressa attraverso l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile  $EP_{gl,nren}$ , che si determina come somma dei consumi relativi ai singoli servizi energetici<sup>26</sup> forniti nell'edificio in esame.

Ai fini della determinazione della classe energetica complessiva dell'edificio per la redazione dell'APE unico, si procede calcolando il valore di  $EP_{gl,nren,rif,standard}$  (in corrispondenza dei parametri vigenti per gli anni 2019-2021), ovvero dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile per l'edificio di riferimento<sup>27</sup> secondo quanto previsto dall'Allegato 1, Capitolo 3, del decreto requisiti minimi, dotandolo delle tecnologie standard riportate nelle Linee guida, in corrispondenza dei parametri vigenti per gli anni 2019/21.

Calcolato il valore di  $EP_{gl,nren}$  per l'immobile oggetto dell'attestazione, si individua la classe energetica da attribuire in base Tabella 2 dell'Allegato 1.

	<b>Classe A4</b>	$\leq 0,40 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$0,40 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	<b>Classe A3</b>	$\leq 0,60 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$0,60 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	<b>Classe A2</b>	$\leq 0,80 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$0,80 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	<b>Classe A1</b>	$\leq 1,00 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$1,00 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	<b>Classe B</b>	$\leq 1,20 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$1,20 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	<b>Classe C</b>	$\leq 1,50 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$1,50 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	<b>Classe D</b>	$\leq 2,00 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$2,00 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	<b>Classe E</b>	$\leq 2,60 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
$2,60 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21) <$	<b>Classe F</b>	$\leq 3,50 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$
	<b>Classe G</b>	$> 3,50 EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$

Tab.I. 2.Scala di classificazione degli edifici sulla base dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile  $EP_{gl,nren}$

<sup>26</sup>  $EP_{gl,nren}$ , è un indice espresso in kWh/mq/anno in relazione alla superficie utile di riferimento e tiene conto del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale ed estiva ( $EP_{H,nren}$  ed  $EP_{C,nren}$ ), per la produzione di acqua calda sanitaria ( $EP_{W,nren}$ ), per la ventilazione ( $EP_{V,nren}$ ) e, nel caso del settore non residenziale, per l'illuminazione artificiale ( $EPL,nren$ ) e il trasporto di persone o cose ( $EPT,nren$ ).

<sup>27</sup> L'edificio di riferimento è un edificio identico a quello oggetto della progettazione per geometria, orientamento, ubicazione geografica, destinazione d'uso e tipologia di impianto, avente però le caratteristiche termiche ed energetiche (relative alla trasmittanza dell'involucro e al rendimento degli impianti) fissate dal decreto "requisiti minimi"

Nel nuovo attestato di prestazione energetica unico, oltre alla classe energetica basata sull'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile sono indicate anche la prestazione energetica invernale ed estiva dell'involucro al netto del rendimento degli impianti presenti sotto forma di un indicatore grafico di tipo qualitativo (in forma di emoticon). Tali indicatori sono calcolati facendo riferimento rispettivamente al valore dell'indice di prestazione termica utile per il riscaldamento dell'edificio di riferimento (dotato di elementi edilizi rispondenti ai requisiti fissati per il 2019/2021), ovvero alla trasmittanza termica periodica e all'area solare equivalente estiva per unità di superficie utile.<sup>28</sup>

**Appendice B - Format di Attestato di Prestazione Energetica (APE)**

Logo Regione	<b>ATTESTATO DI PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI</b> CODICE IDENTIFICATIVO: _____ VALIDO FINO AL: _____	<b>APE</b> 2015																																				
<b>DATI GENERALI</b>																																						
<b>Destinazione d'uso</b> <input type="checkbox"/> Residenziale <input type="checkbox"/> Non residenziale  Classificazione D.P.R. 412/93: _____	<b>Oggetto dell'attestato</b> <input type="checkbox"/> Intero edificio <input type="checkbox"/> Unità immobiliare <input type="checkbox"/> Gruppo di unità immobiliari  Numero di unità immobiliari di cui è composto l'edificio: _____	<input type="checkbox"/> Nuova costruzione <input type="checkbox"/> Passaggio di proprietà <input type="checkbox"/> Locazione <input type="checkbox"/> Ristrutturazione importante <input type="checkbox"/> Riqualificazione energetica <input type="checkbox"/> Altro: _____																																				
<b>Dati identificativi</b>																																						
FOTO EDIFICIO	Regione : _____ Comune : _____ Indirizzo : _____ Piano : _____ Interno : _____ Coordinate GIS : _____	Zona climatica : _____ Anno di costruzione : _____ Superficie utile riscaldata (m <sup>2</sup> ) : _____ Superficie utile raffrescata (m <sup>2</sup> ) : _____ Volume lordo riscaldato (m <sup>3</sup> ) : _____ Volume lordo raffrescato (m <sup>3</sup> ) : _____																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Comune catastale</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;">Sezione</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;">Foglio</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;">Particella</td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Subalterni</td> <td>da</td> <td>a</td> <td>da</td> <td>a</td> <td>da</td> <td>a</td> <td>da</td> <td>a</td> <td>da</td> <td>a</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Altri subalterni</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			Comune catastale						Sezione		Foglio		Particella		Subalterni	da	a	da	a	da	a	da	a	da	a		Altri subalterni											
Comune catastale						Sezione		Foglio		Particella																												
Subalterni	da	a	da	a	da	a	da	a	da	a																												
Altri subalterni																																						
<b>Servizi energetici presenti</b>																																						
<input type="checkbox"/> Climatizzazione invernale <input type="checkbox"/> Climatizzazione estiva	<input type="checkbox"/> Ventilazione meccanica <input type="checkbox"/> Prod. acqua calda sanitaria	<input type="checkbox"/> Illuminazione <input type="checkbox"/> Trasporto di persone o cose																																				
<b>PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO</b>																																						
La sezione riporta l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile in funzione del fabbricato e dei servizi energetici presenti, nonché la prestazione energetica del fabbricato, al netto del rendimento degli impianti presenti.																																						
<b>Prestazione energetica del fabbricato</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"><b>INVERNO</b></td> <td style="width: 50%; text-align: center;"><b>ESTATE</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">☹️ ☹️ ☹️</td> <td style="text-align: center;">☹️ ☹️ ☹️</td> </tr> </table>	<b>INVERNO</b>	<b>ESTATE</b>			☹️ ☹️ ☹️	☹️ ☹️ ☹️	<b>Prestazione energetica globale</b> 	<b>Riferimenti</b> Gli immobili simili avrebbero in media la seguente classificazione:  Se nuovi: Y (EPgl,nren)  Se esistenti: Z (EPgl,nren)																														
<b>INVERNO</b>	<b>ESTATE</b>																																					
☹️ ☹️ ☹️	☹️ ☹️ ☹️																																					

<sup>28</sup> Cfr. 5.2.1 - Allegato 1- Linee guida nazionali per l'attestazione della prestazione energetica degli edifici

A partire dal 1° gennaio 2021 i nuovi edifici e quelli sottoposti a ristrutturazioni significative dovranno essere realizzati in modo tale da ridurre al minimo i consumi energetici che verranno coperti in buona parte con l'uso di fonti rinnovabili. Per gli edifici pubblici la scadenza è anticipata al 1° gennaio 2019. Le prescrizioni, i requisiti e le verifiche dettate dal decreto ministeriale Requisiti minimi variano in base alla categoria in cui ricade l'intervento edilizio e si applicano ad edifici sia pubblici sia privati.

Tra le principali novità introdotte dal decreto Requisiti Minimi, nell'Allegato 1 (Articoli 3 e 4) *Criteria generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici*, viene introdotta una nuova classificazione delle tipologie di intervento, distinguendo tra:

- Nuova costruzione, demolizione e ricostruzione;
- Ampliamento e sopra elevazione;
- Ristrutturazione importante
  - di primo livello;
  - di secondo livello;
- Riqualficazione energetica.

Tipologia di intervento	Descrizione livelli di intervento	Prescrizioni / Verifiche di legge
<b>Edifici nuovi</b>	Edifici di nuova costruzione o demoliti e ricostruiti	Rispetto di tutti i requisiti pertinenti di cui ai capitoli 2 e 3.
<b>Ampliamenti di edifici esistenti</b>	Ampliamenti volumetrici di un edificio esistente se collegati a impianto tecnico esistente.  Recupero volumi esistenti precedentemente non climatizzati o cambio di destinazione d'uso (es. recupero sottotetti, depositi, magazzini) se collegati a impianto tecnico esistente.	Rispetto, per la parte ampliata e per il volume recuperato: <ul style="list-style-type: none"> <li>• di tutti i requisiti pertinenti di cui al capitolo 2;</li> <li>• delle prescrizioni di cui al paragrafo 3.2, capoversi 4 e 7;</li> <li>• dei requisiti relativi al coefficiente globale di scambio termico per trasmissione (<math>H^*_{T}</math>), di cui al paragrafo 3.3, lettera b), punto i.</li> <li>• dei requisiti relativi al parametro <math>As_{ol,est}/A_{sup,utile}</math>, di cui al paragrafo 3.3, lettera b), punto ii..</li> </ul>
	Ampliamenti volumetrici di un edificio esistente se dotati di nuovi impianti tecnici.  Recupero volumi esistenti precedentemente non climatizzati o cambio di destinazione d'uso (es. recupero sottotetti, depositi, magazzini) se dotati di nuovi impianti tecnici.	Rispetto, per la parte ampliata o il volume recuperato, di tutti i requisiti pertinenti di cui ai capitoli 2 e 3 (come se si trattasse di un edificio nuovo).
<b>Ristrutturazione importante di primo livello</b>	Intervento che interessa gli elementi e i componenti integrati costituenti l'involucro edilizio delimitanti un volume a temperatura controllata dall'ambiente esterno e da ambienti non climatizzati, con un incidenza superiore al 50 per cento della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio e comporta il rifacimento dell'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva asservito all'intero edificio.	Rispetto di tutti i requisiti pertinenti di cui ai capitoli 2 e 3, limitatamente ai servizi coinvolti (impianto/i).

Tab.I. 1 Quadro di sintesi delle prescrizioni, dei requisiti e delle verifiche da eseguire in funzione della tipologia di intervento. Cfr. Punto 6.1 Tab.4 Allegato 1 (Articoli 3 E 4) *Criteria generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici*.

<p><b>Ristrutturazione importante di secondo livello</b></p>	<p>Intervento che interessa gli elementi e i componenti integrati costituenti l'involucro edilizio delimitanti un volume a temperatura controllata dall'ambiente esterno e da ambienti non climatizzati, con un incidenza superiore al 25 per cento della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio e può interessare l'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva;</p>	<p>Rispetto di tutti i requisiti pertinenti di cui ai capitoli 2, 4 e 5 e in particolare:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• dei requisiti di trasmittanza termica limite di cui all'Appendice B delle porzioni e delle quote di elementi e componenti l'involucro dell'edificio interessati dai lavori di riqualificazione energetica;</li> <li>• dei requisiti minimi per gli impianti oggetto di intervento, se applicabile;</li> <li>• del requisito relativo al coefficiente globale di scambio termico per trasmissione (<math>H'_{T}</math>), di cui all'Appendice A, determinato per l'intera parete, comprensiva di tutti i componenti, su cui si è intervenuti. A titolo esemplificativo e non esaustivo:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- se l'intervento riguarda una porzione della copertura dell'edificio, la verifica del coefficiente globale di scambio termico per trasmissione (<math>H'_{T}</math>) si effettua per l'intera porzione di copertura;</li> <li>- se l'intervento riguarda una porzione della parete verticale dell'edificio esposta a nord, la verifica del coefficiente globale di scambio termico per trasmissione (<math>H'_{T}</math>) si effettua per l'intera porzione di parete verticale esposta a nord.</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Riqualificazione energetica</b> (ovvero interventi non riconducibili ai casi di cui al paragrafo 1.4.1)</p>	<p>Intervento che interessa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• coperture piane o a falde, opache e trasparenti (isolamento / impermeabilizzazione), compresa la sostituzione di infissi in esse integrate;</li> <li>• pareti verticali esterne, opache e trasparenti, compresa la sostituzione di infissi in esse integrate.</li> </ul>	<p>Rispetto di tutti i requisiti pertinenti di cui ai capitoli 2 e 5 e in particolare dei valori di trasmittanza termica limite di cui all'Appendice B per le parti dell'involucro dell'edificio interessate all'intervento</p>
<p><i>Nota: Indicazioni esemplificative e non esaustive delle casistiche possibili</i></p>	<p>Ristrutturazione dell'impianto/i di riscaldamento, di raffrescamento e produzione dell'acqua calda sanitaria o installazione di nuovo/i impianto/i per i predetti servizi</p> <p>Sostituzione del solo generatore di calore e installazione di generatori di calore e/o altri impianti tecnici per il soddisfacimento dei servizi dell'edificio</p>	<p>Rispetto di tutti i requisiti pertinenti di cui ai capitoli 2 e 5 e in particolare dell'efficienza media stagionale dell'impianto o degli impianti ristrutturati o installati di cui ai punti 5.3.1, 5.3.2 e 5.3.3.</p> <p>Rispetto di tutti i requisiti pertinenti di cui ai capitoli 2 e 5 e in particolare che dell'efficienza di generazione di cui ai punti 5.3.1, 5.3.2 e 5.3.3.</p>

Per gli edifici di nuova costruzione e per quelli sottoposti a ristrutturazioni di primo livello, non sono previsti specifici limiti di trasmittanza termica da rispettare per le chiusure trasparenti. Sussiste l'obbligo di rispettare limiti per quanto concerne altri parametri tecnici che connotano gli impianti, l'involucro edilizio e l'edificio nel loro complesso contenuti nell'Appendice A del decreto.

Nell'ambito degli interventi di ristrutturazione importante di secondo livello e degli interventi di riqualificazione energetica sono invece da rispettare i limiti riportati nell'Appendice B del decreto relativamente:

- alla trasmittanza termica  $U_w$  dei serramenti (trasparenti, opachi) e dei cassonetti posti a delimitazione di ambienti climatizzati verso l'esterno oppure verso ambienti non climatizzati;
- al fattore di trasmissione solare totale  $g_{gl+sh}$  dei serramenti vetrati in combinazione con schermature solari mobili posizionati sui fronti dell'edificio SUD, EST, OVEST, SUD-EST, SUD-OVEST .

Con riferimento al contesto italiano, gli edifici di nuova costruzione incidono solo per circa l'1% annuo sul patrimonio edilizio nazionale, pertanto le strategie di miglioramento dell'efficienza energetica si devono necessariamente focalizzare sul miglioramento delle condizioni energetiche del patrimonio esistente.

Il patrimonio immobiliare italiano ammonta a circa 13,6 milioni i fabbricati, l'87% dei quali residenziali. Più del 60% degli edifici esistenti è antecedente al 1976, anno in cui fu emanata la prima legge sul risparmio energetico in edilizia.

L'obsolescenza e il livello di decadimento prestazionale degli edifici dipende solo in parte dall'età di costruzione e in gran parte dalla scarsa qualità dei materiali impiegati e da errori progettuali ed esecutivi nella realizzazione dell'immobile, pertanto il patrimonio esistente rappresenta un ambito di intervento di riqualificazione di significativo interesse e con rilevanti margini di miglioramento prestazionale e di sviluppo economico.

Oggi, nonostante oltre il 50% del nostro patrimonio necessiti di interventi di manutenzione straordinaria, le criticità che occorre superare per operare a livello nazionale sono numerose sia per i possibili vincoli di tutela architettonica e ambientale, sia per una scarsa conoscenza delle innovazioni già disponibili sul mercato in termini di nuovi prodotti materiali, componenti e soluzioni impiantistiche destinate ad interventi di recupero e riqualificazione energetica edilizia.

Le opportunità di sviluppo vanno dunque ricercate nella capacità di innescare dinamiche reali di ricerca, sperimentazione e innovazione tecnologica attraverso la collaborazione efficiente fra Imprese, Centri di Ricerca, Università e Pubblica Amministrazione e l'adozione di strumenti di finanziamento, pubblici e privati, a sostegno di progetti di ricerca e sviluppo.

## I.1.2 Ricerca e innovazione tecnologica nell'industria delle costruzioni

Tra i settori produttivi più colpiti dalla crisi economica mondiale, il settore immobiliare è quello che ha registrato una maggiore recessione degli investimenti, coinvolgendo tutti i comparti produttivi ad esso collegati.

In riferimento al contesto nazionale, il settore delle costruzioni ha storicamente rivestito un ruolo determinante per l'economia del nostro Paese e senza la dovuta attenzione verso le istanze avanzate dalle politiche strategiche internazionali in tema di sostenibilità ambientale e risparmio energetico non potrà esserci un futuro.

Solo di recente le attuali trasformazioni del mercato hanno indirizzato la ricerca della qualità architettonica verso le istanze di uno sviluppo sostenibile sempre più orientato verso il recupero edilizio, il green building e l'uso di fonti rinnovabili, mostrando una più evoluta dimensione dell'innovazione che si affianca alla convenzionale condizione di lentezza e di arretratezza tecnologica del settore edilizio.

Tra le strategie che assumono un ruolo catalizzatore verso dell'obiettivo di crescita intelligente, emerge con chiarezza la priorità di investire nella ricerca scientifica e nello sviluppo tecnologico, non solo in riferimento all'obiettivo di aumentare la percentuale di contributo per il settore pari al 3% del PIL dell'UE, ma anche perché è attraverso la ricerca che l'Europa può innovarsi ed essere più competitiva. Attraverso un approccio integrato e strategico su R&S sarà possibile potenziare la competitività globale europea, favorendo la costituzione di partenariati per l'innovazione, il potenziamento delle iniziative di ricerca e, nel contempo, la semplificazione amministrativa per l'accesso ai fondi di finanziamento.

L'eccellenza scientifica, l'industria competitiva e le sfide sociali sono al centro di Horizon 2020<sup>29</sup>, lo strumento attuativo del programma di finanziamento europeo che prevede, per il periodo 2014-2020, un pacchetto di misure volte a rilanciare crescita, innovazione e competitività raggruppando gli investimenti dell'Unione per la ricerca e l'innovazione in un unico programma.

Nella comunicazione *"Europa 2020 - Una strategia per una crescita intelligente, sostenibile e inclusiva"* -, approvata dal Consiglio nel giugno 2010, la Commissione ha sottolineato il ruolo cruciale delle PMI per raggiungere gli obiettivi della strategia Europa 2020. La programmazione finanziaria 2014-2020 rappresenta uno dei principali strumenti per sostenere la ripresa dell'economia europea: i programmi UE Horizon 2020 e COSME, offrono una grossa opportunità di sostegno agli investimenti in innovazione, ricerca e internazionalizzazione a beneficio della competitività delle PMI.

HORIZON 2020 è lo strumento finanziario di attuazione di "Unione dell'Innovazione", un'iniziativa faro della strategia Europa 2020 volta a garantire la competitività globale dell'Europa. Con un budget di 80 miliardi di euro, il nuovo programma per la ricerca e l'innovazione dell'UE è la spinta per la creazione di nuova crescita e nuovi posti di lavoro in Europa.<sup>30</sup>

---

<sup>29</sup> <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>

<sup>30</sup> *I finanziamenti dei due programmi sono complementari in quanto a categorie di imprese o progetti beneficiari e simmetrici in quanto a strumenti utilizzati. Accesso al credito (garanzie sui* Università di Firenze - Dottorato in Architettura – Indirizzo in Tecnologia dell'Architettura - ciclo XXVIII



All'interno della cornice Horizon è presente "SME Instrument", una nuova misura di finanziamento (*type of action*) espressamente dedicata alle piccole e medie imprese orientate all'internazionalizzazione e in grado di sviluppare un progetto di eccellenza nel campo dell'innovazione di prodotto, di servizio, di processo e di business model, ad elevato impatto economico al fine di guadagnare competitività sui mercati nazionali e internazionali. Il suo scopo è incoraggiare la partecipazione delle PMI al programma e valorizzare il loro potenziale innovativo rendendo i meccanismi di finanziamento più semplici.

Il Programma COSME 2014-2020 per la Competitività di imprese e PMI opera in continuità con il Programma quadro 2007-2013 CIP (*Programme for the Competitiveness of enterprises and SMEs*) ma semplifica le procedure per accedere ai finanziamenti e il ricorso agli strumenti finanziari. L'obiettivo è creare un ambiente favorevole alla nascita e crescita delle PMI per promuovere l'imprenditorialità facilitando l'accesso al credito e l'internazionalizzazione.

L'importante tensione innovativa che pervade il settore edilizio, l'introduzione sul mercato di prodotti con caratteristiche impensabili solo qualche anno fa, e la domanda di sostenibilità, spingono verso un accresciuto interesse per il contenimento dei consumi energetici che ha radicalmente trasformato la cultura tecnologica del progetto e il modo di concepire l'organismo edilizio caratterizzato da standard prestazionali e funzionali sempre più elevati, raggiungibili solo attraverso un approccio integrato al progetto.

«Il progetto architettonico può e deve arricchirsi degli apporti dell'innovazione tecnologica per la rispondenza a nuovi standard di qualità e a nuove esigenze dell'utenza. Parallelamente, un cambiamento di prospettiva culturale deve investire la responsabilità sociale e ambientale dell'industria, inducendo nell'innovazione di processo e di prodotto la necessaria attenzione alla emergente domanda di sostenibilità sociale, ambientale ed economica».<sup>31</sup>

Nonostante le criticità emerse nel rapporto tra industria delle costruzioni e sostenibilità, è bene riconoscere tuttavia che, se da un lato la crisi che negli ultimi anni ha colpito l'economia e l'industria ha di fatto determinato una sensibile contrazione dell'attività edilizia tradizionale e dei settori industriali ad essa collegati (industria del cemento e del mattone), dall'altra è stata motivo di stimolo per comprendere quanto la ricerca e l'innovazione rappresentino un'opportunità di ripresa di un settore chiave della nostra economia: basti pensare a quei comparti produttivi dell'industria edilizia (infissi, isolanti, impianti solari, fotovoltaico, ecc.) che hanno saputo cogliere da principio queste logiche di mercato investendo in ricerca e sviluppo, trasformando la crisi energetica in

---

*prestati alle PMI, prestiti diretti, garanzie a intermediari finanziari che concederanno i prestiti, combinazioni di prestiti e garanzie, garanzie o controgaranzie). L'intervento si articola in due finestre, una nel quadro di COSME per i progetti più piccoli e l'altra in quello di Horizon 2020 per i progetti più grandi, che si attiveranno in base a due criteri: entità del finanziamento e grado di innovazione del progetto. COSME predilige progetti orientati alla crescita, Horizon 2020 all'innovazione e ricerca. A seconda del tipo di impresa si attiva l'uno o l'altro programma: COSME guarda ai progetti di investimento in imprese che hanno già superato la fase iniziale di sviluppo e desiderano espandere la propria attività (growth stage), "Horizon 2020" a quelle innovative in fase iniziale di sviluppo (early stage).*

<sup>31</sup> Losasso, M. 2010. *Percorsi dell'Innovazione. Industria edilizia, tecnologie, progetto*. Napoli: CLEAN Università di Firenze - Dottorato in Architettura – Indirizzo in Tecnologia dell'Architettura - ciclo XXVIII

un'opportunità di rilancio sul mercato sotto la spinta della domanda di sostenibilità.

Il processo di innovazione nel settore dei prodotti per l'edilizia sostenibile mostra potenzialità di impatto enormi e negli ultimi anni ha modificato in maniera radicale il modo di progettare e realizzare gli organismi edilizi.

Oggi il mercato offre un'ampia scelta di prodotti nuovi, tecnologie sempre più innovative, basate spesso sull'utilizzo di *Advanced Materials* ancora poco noti agli addetti al settore, dotati di un elevato potenziale rispetto alle prestazioni e alle possibilità di applicazione nel campo del risparmio energetico in edilizia, ma con tutte le difficoltà correlate al loro corretto impiego.

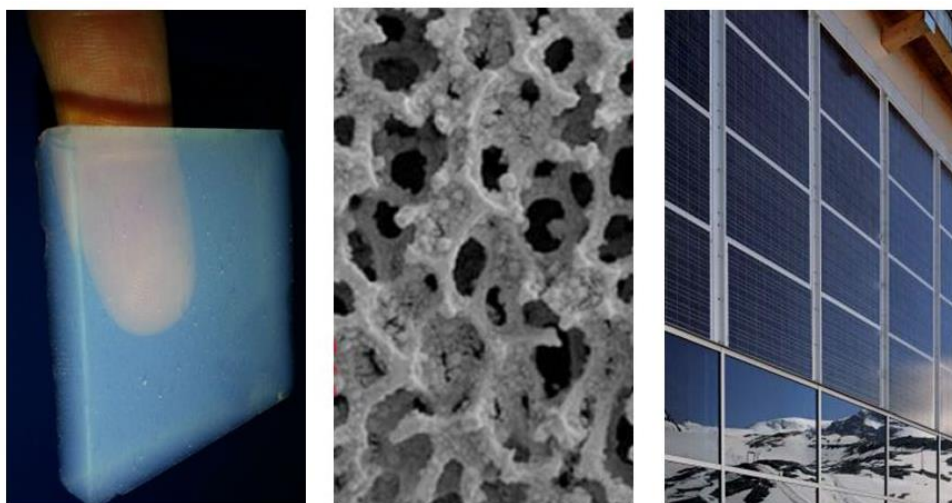
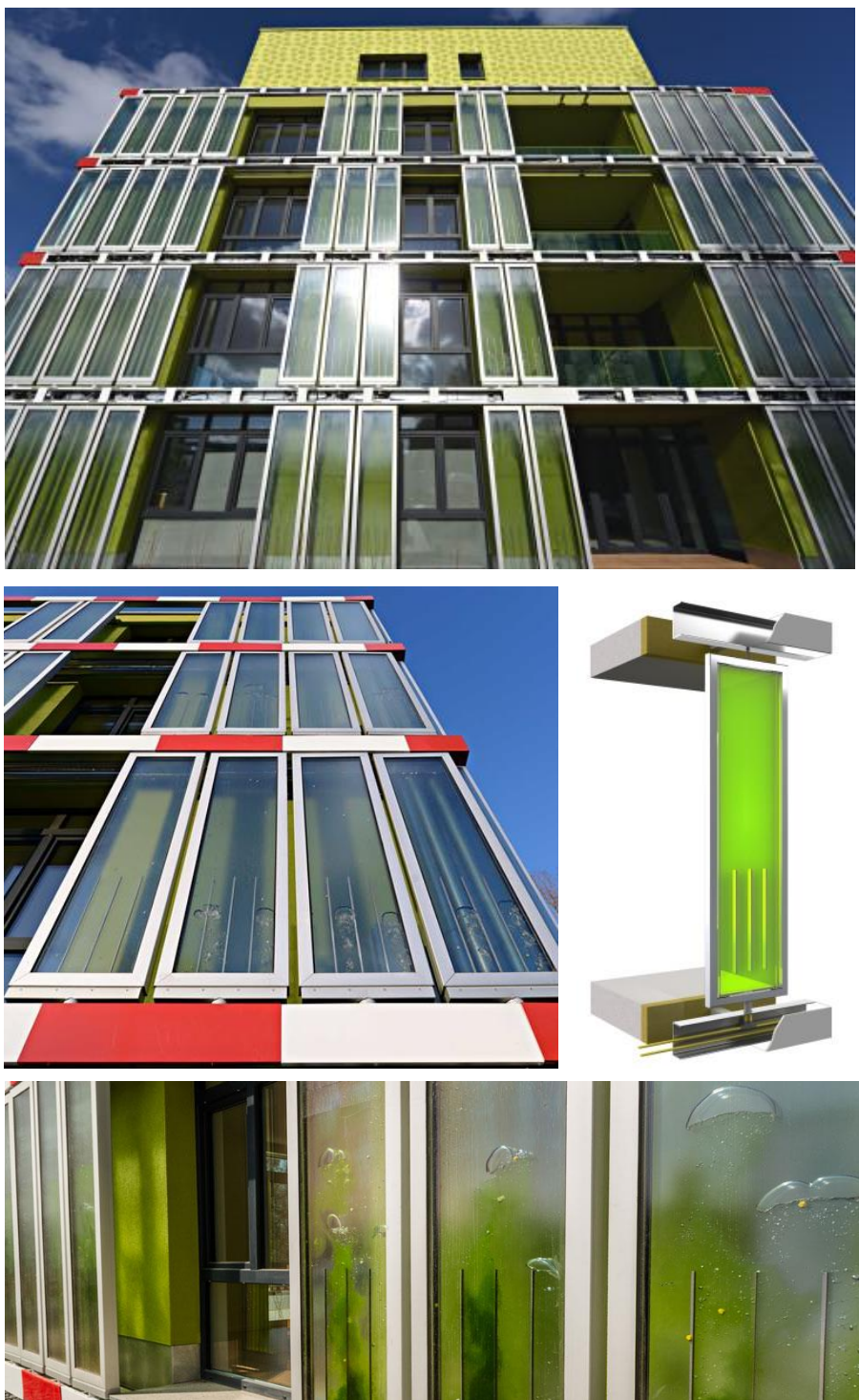


Fig.1. 6. Materiali e componenti per il risparmio energetico in edilizia: (da sinistra) aerogel per materiali superisolanti e integrazione in facciata di sistemi solari attivi per la produzione di energia. (Fonte: [www.empa.ch](http://www.empa.ch))

I *materiali avanzati* rispetto a quelli tradizionali presentano un alto grado di funzionalizzazione, e sono il risultato di interventi di manipolazione chimico-fisica della materia che li compone a livello macroscopico per variane il contenuto informativo ed incorporare la capacità di modificare la propria struttura in risposta a specifiche sollecitazioni esterne ( variazioni di trasparenza nei vetri fotocromatici, il recupero di una sagoma geometrica preordinata nelle leghe metalliche a memoria di forma).

Solo negli ultimi anni gli sviluppi della ricerca scientifica nel campo della chimica e della fisica hanno potuto portare il livello di manipolazione dei materiali molto oltre la dimensione macroscopica, riuscendo ad operare alla scala nanometrica, offrendo spunti interessanti per l'applicazione delle nanotecnologie per la produzione di nuovi materiali sempre più performanti.

Una volta riconosciute le potenzialità di questi nuovi prodotti, occorre però affrontare la questione su come sia opportuno procedere affinché questo potenziale venga realmente espresso. Per lo sviluppo di soluzioni ulteriormente innovative e per il miglioramento di quelle esistenti, il cambiamento può attuarsi solo attraverso un utilizzo diffuso, efficace e pervasivo della ricerca, procedendo secondo un approccio complessivo ed integrato che coinvolga competenze diverse, avviando esperienze di collaborazione con settori non necessariamente affini tra loro.



*Figl.7 BIQ House, Amburgo, ARUP, 2013. SolarLeaf, la prima facciata bio-reattiva presentata in occasione dell'IBA di Amburgo, è costituita da un sistema di pannelli vetrati che funzionano da bioreattori contenenti micro-alghe che innescando il processo di fotosintesi, producono la biomassa e l'energia termica per alimentare l'edificio. L'esposizione diretta al sole accelera il processo di proliferazione della alghe che, di conseguenza aumentano la quantità di energia prodotta e creano uno strato isolante naturale tra interno ed esterno e si trasformano in un dispositivo di ombreggiamento naturale. Al cambiare delle condizioni climatiche cambiano le prestazioni dell'edificio, trasformando l'architettura in un vero e proprio organismo vivente.*

Se si guarda allo scenario che caratterizza l'imprenditoria del nostro Paese in questo particolare momento storico, fare innovazione e competere sul mercato richiede sforzi e risorse che una singola impresa non può possedere, ma occorre cooperazione simultanea tra i diversi operatori della filiera. Occorre in altre parole una cultura del progettare e costruire supportata da *un'intelligenza collettiva*, «che porta ad una profonda mobilitazione di risorse e competenze in grado risolvere problemi complessi grazie alla capacità degli operatori coinvolti di fare rete.»<sup>32</sup>

A tale scopo, è necessario implementare sinergie fra produttori, fornitori di materiali, tecnologie e servizi, centri di ricerca ed altri stakeholders attraverso apposite misure, fra le quali la creazione di strutture di rete e la realizzazione di percorsi di ricerca condivisi.

Si tratta di costituire legami privilegiati attraverso l'attivazione di processi di integrazione che solo di recente hanno trovato possibilità concrete di crescita all'interno di contesti specifici come i *Poli di Innovazione e i Distretti Tecnologici*<sup>33</sup>, destinati a stimolare l'attività innovativa incoraggiando l'interazione intensiva, l'uso comune di installazioni e lo scambio di conoscenze ed esperienze, nonché contribuendo in maniera effettiva al trasferimento di tecnologie, alla messa in rete e alla diffusione delle informazioni tra imprese, università ed istituzioni di ricerca relativamente ad uno specifico ambito tecnologico e di applicazione.

Nel quadro complessivo appena descritto, la figura del progettista tecnologo deve svolgere un ruolo di interfaccia tra i diversi attori della filiera, rendendosi artefice di una sintesi che sappia coniugare le capacità tecniche con gli aspetti sociali ed economici. Egli assume un ruolo fondamentale e strategico nel processo di trasferimento tecnologico affinché si stabilisca un dialogo tra il settore della ricerca scientifica, dotato di competenze specifiche nell'ambito dello sviluppo, della progettazione e della *comunicazione dell'innovazione* e il settore produttivo, depositario del Know-how tecnico-operativo necessario alla realizzazione dell'idea.

---

<sup>32</sup> Andrea Campioli, *Qualità dell'Architettura: innovazione, ricerca tecnologica e progetto*, in *TECHNE 01-2011*, Firenze University Press, pg.66.

<sup>33</sup> "Aggregazioni su base territoriale di imprese, università ed istituzioni di ricerca guidate da uno specifico organo di governo focalizzate su un numero definito e delimitato di aree scientifico tecnologiche strategiche, idonee a sviluppare e consolidare la competitività dei territori di riferimento e raccordate con insediamenti di eccellenza esistenti in altre aree territoriali del paese". Concepite come luogo fisico di governo della ricerca industriale, concorrono allo sviluppo della competitività del territorio mediante attività integrate di R&S tra Imprese enti di ricerca ed università e in tal modo facilitare la competitività del territorio (PNR 2011-2013).

### **I.1.3 Congiuntura economica e potenzialità di sviluppo del mercato edilizio**

In Europa il settore delle costruzioni incide per circa il 10% del PIL dell'UE, impiegando oltre 32 milioni di persone, con un fatturato complessivo di € 1305 bnp all'anno. Secondo i dati forniti nel Rapporto Annuale EBC aggiornati al 2014, il settore delle costruzioni nell'UE conta 3 milioni di imprese edili, di cui circa il 95% sono PMI che generano l'80% della produzione economica dell'industria edile impiegando l'83% della forza lavoro nel suo insieme. Il successo e la crescita del settore è dunque fortemente dipendente dalla ripresa economica delle PMI in un mercato globale altamente competitivo. Inoltre più del 50% di tutti i materiali estratti dalla Terra si trasformano in materiali e prodotti da costruzione.

In un quadro congiunturale economico che non mostra ancora segni di ripresa, il settore delle costruzioni resta uno più colpiti dalla crisi iniziata nel 2008, non solo a livello nazionale ma anche a livello europeo. Negli ultimi anni, le misure di consolidamento delle finanze pubbliche che hanno ridotto gli investimenti sui lavori pubblici, la cornice economica complessivamente debole, l'alta disoccupazione e la bassa fiducia dei consumatori hanno diminuito il potenziale dell'edilizia residenziale e non residenziale nel 2013.

Secondo Euroconstruct - la rete di centri di ricerca sulle previsioni per il settore edile in Europa - nel 2013 la produzione è scesa in media del 3% in termini reali rispetto al 2012. Nel 2015 è prevista una moderata crescita del settore dell'1,9%, ma secondo gli esperti le previsioni dovrebbero essere più favorevoli a partire dal 2016.

Per il momento, un incremento della produzione nel settore edile si è registrato prevalentemente nei Paesi del Nord Europa (Danimarca) e nei Paesi dell'Europa Centrale (Germania e Austria), mentre nei Paesi Occidentali, il 2013 ha visto calare la produzione in termini reali del 2,7%: tra i Paesi più colpiti dalla crisi immobiliare ci sono Italia (-7,9%) e Portogallo (-11,5%) .

In particolare, se si osserva la situazione del mercato delle costruzioni in Italia, non esistono ancora segnali sufficientemente robusti che lascino intravedere speranze in una ripresa dalla crisi. Ciononostante, seppur in un clima di sfiducia generale contraddistinto da una persistente incertezza di fondo legata soprattutto alle variabili economiche e politiche, si rilevano dei segnali che inducono a pensare ad una sostanziale stabilizzazione delle tendenze del mercato edilizio mentre, per taluni segmenti del settore (residenziale e riqualificazione), è addirittura presumibile una possibile inversione di tendenza nel medio periodo.

In un ciclo economico recessivo come quello che stiamo attraversando, da un confronto tra il mercato delle nuove costruzioni e quello degli interventi sull'esistente, emerge una sostanziale differenza tra i trend di mercato: il settore delle nuove costruzioni registra una contrazione dei volumi di investimento che perdura senza soluzione di continuità 2007, anno dal quale il comparto ha sostanzialmente perso circa la metà del suo valore; gli interventi di riqualificazione, di ristrutturazione e di recupero dell'esistente mostrano invece

una sostanziale tenuta rispetto alla crisi anticipando i segni di un'incoraggiante ripresa per i prossimi anni.<sup>34</sup>

Nel 2014 la recessione che interessa il settore delle costruzioni è diminuita d'intensità, confermando tassi di crescita negativi per il segmento delle nuove costruzioni e una buona tenuta del segmento della ristrutturazione edile ma, in generale non vi sono ancora evidenti segnali di un'inversione di tendenza nel breve periodo.

Solo nel 2014, sotto l'influenza dalle politiche di incentivazione fiscale, il settore del rinnovo ha registrato una leggera crescita dello 0,5% rispetto all'anno precedente, grazie all'aumento della domanda da parte di privati per interventi di ammodernamento ed efficientamento energetico.

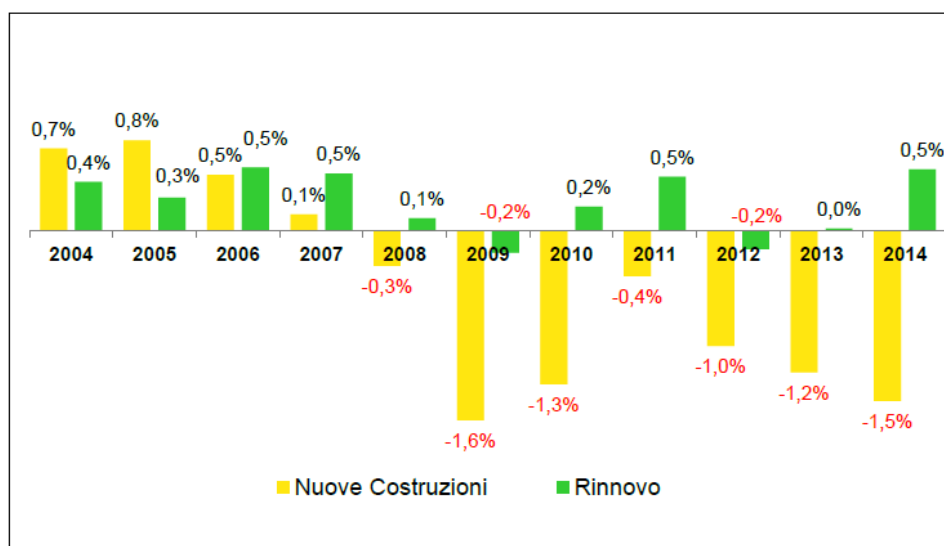


Fig.I.8. Variazioni degli investimenti nel settore delle costruzioni (2004-2013). Fonte UNICMI

Il comparto delle nuove costruzioni, che tende a svilupparsi su periodi di tempo più lunghi ed è caratterizzato da tassi di rischio più elevati, risulta penalizzato in quanto richiede impegni finanziari ben più ingenti rispetto a quelli necessari per gli interventi di riqualificazione e ristrutturazione edilizia sull'esistente.

Il comparto del rinnovo sull'esistente ha già mostrato e sta dimostrando una maggiore dinamicità rispetto a tutti gli altri segmenti del mercato delle costruzioni, riguardando sempre più spesso interventi di piccola entità attivati prevalentemente da micro-finanziamenti dei privati e risultando più sensibile agli interventi di politica fiscale quali ad esempio gli incentivi per le ristrutturazioni.

Ciononostante, questo fenomeno difficilmente potrà configurarsi come elemento trainante verso una ripresa e, per i prossimi anni, si prevede già una contrazione del mercato in cui si consolideranno i processi ed i meccanismi di selezione tra i diversi operatori del settore.

Solo in tempi più recenti l'attenzione del mercato e degli operatori di settore si è spostata su comparti produttivi che hanno saputo cogliere le istanze di

<sup>34</sup> Rapporto sul mercato italiano dell'involucro edilizio, numero 1, Ufficio Studi UNICMI, 2014.

sostenibilità ambientale e di risparmio energetico sostenute dalla graduale diffusione della bioedilizia e del greenbuilding, operando una profonda trasformazione nel processo di produzione attraverso la sperimentazione e l'industrializzazione del processo edilizio, ovvero nell'integrazione, all'interno di una struttura edilizia esistente o di nuova costruzione, di componenti realizzati in stabilimento e montati in cantiere.

In questo percorso di innovazione occorre distinguere tra:

- i produttori di materiali e prodotti per l'edilizia, realizzati in fabbrica e poi montati in cantiere;
- i produttori di componenti e sistemi tecnologici che integrano nella loro struttura tali materiali.

Riguardo ai primi, il percorso di innovazione ha avuto inizio da più tempo rispetto ai secondi, beneficiando spesso degli effetti del trasferimento tecnologico provenienti da altri settori industriali caratterizzati da forti spinte all'innovazione (ad esempio l'uso degli isolanti multi riflettenti in copertura e sulle pareti, derivati dall'industria aerospaziale).

Nel caso delle tecnologie, la diffusione sul mercato di nuovi sistemi costruttivi è un fenomeno più recente: la disponibilità di tecnologie di assemblaggio a secco, in legno e in acciaio, già sperimentate da decenni soprattutto in ambito europeo, va incontro alle istanze di carattere economico ed ambientale, ovvero la necessità di contenere i costi di produzione e di soddisfare la richiesta di altissime prestazioni energetiche negli edifici.

L'innovazione si concentra sull'involucro edilizio (pareti esterne, coperture e infissi), laddove avvengono gli scambi termo igrometrici e di ventilazione tra l'ambiente esterno e quello interno, e negli impianti, deputati a fornire e regolare i flussi energetici dell'edificio.

Secondo quanto esposto dalla UNICMI nel rapporto di mercato 2015, il comparto dell'involucro edilizio si caratterizza per un'elevata frammentazione dell'offerta e per la prevalenza di aziende di piccole e medie dimensioni, spesso a carattere artigianale: su circa 12.000 aziende, solo 1.857 aziende (pari al 15% della popolazione) sono società di capitali.

All'interno di questo mercato, i costruttori di sistemi di facciate, aziende di medie e grandi dimensioni specializzate nella realizzazione di involucri architettonici hanno intrapreso due indirizzi prevalenti per reagire alla crisi: operare nell'ambito delle riqualificazioni di edifici esistenti proponendo l'integrazione di nuovi sistemi di facciata moderne, funzionali e ad alte prestazioni; ritagliarsi quote crescenti di mercato nel settore del greenbuilding.

Questa tendenza appare già marcata a livello europeo, e potrebbe offrire buone prospettive di crescita anche a livello nazionale, generando la nascita di un segmento di mercato nuovo in via di sviluppo.

La direttiva 2010/31/EU costituisce di fatto un invito a compiere i primi passi in questa direzione: gli obiettivi definiti dal quadro tecnico normativo italiano ed europeo per i Nearly Zero Energy Building (NZEB) richiedono livelli prestazionali sempre maggiori per i componenti ed i sistemi dell'involucro edilizio.

A tale scopo, i produttori si stanno muovendo in due direzioni: elevare a livelli estremi le prestazioni per i componenti di tipo tradizionale e favorire soluzioni e

tecnologie di involucro edilizio di tipo dinamico, sistemi in grado di adeguarsi all'evolvere delle condizioni ambientali esterne ed interne.

L'applicazione di tali requisiti, insieme con l'attuale rallentamento dell'economia e all'aumento dei prezzi dell'energia atteso nei prossimi anni, incoraggiano gli operatori del settore a indirizzare i propri investimenti in settori caratterizzati da forti spinte all'innovazione e alla ricerca aprendo le porte verso nuovi mercati più promettenti: ne è un chiaro esempio il mercato dei materiali "avanzati" ad alte prestazioni utilizzati per la realizzazioni di prodotti destinati all'isolamento termico.



## Cap. I.2 Prodotti e sistemi di involucro edilizio innovativi: sviluppi e prospettive future

Più del 40% dei consumi finali di energia nell'Unione Europea è riconducibile al settore delle costruzioni, e il 57% di questa energia è destinata al riscaldamento e al raffrescamento degli edifici.

La necessità di risolvere il problema dei consumi energetici legati allo stock edilizio europeo (costituito per il 70-80% da edifici vetusti costruiti prima degli anni 70) secondo i requisiti prestazionali definiti dalle normative internazionali, ha orientato le azioni di intervento verso una riduzione della domanda energetica per riscaldamento e raffrescamento.

Un primo passo importante per migliorare il parco immobiliare globale è quello di stabilire dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici, esistenti e di nuova costruzione, condivisi a livello internazionale.

Il comportamento dell'involucro edilizio può essere assimilabile a quello di una membrana attraverso cui avvengono gli scambi di energia tra interno ed esterno, pertanto, migliorare le prestazioni dell'involucro equivale a ottimizzare la quantità di energia necessaria per riscaldare e raffreddare un edificio.

Naturalmente fattori geografici, climatici, progettuali e culturali possono influenzare in maniera determinante il comportamento dell'involucro, oltre al fatto che il consumo di energia in un edificio cambia sensibilmente durante l'arco dell'anno in funzione dei parametri ambientali come la temperatura, la posizione geografica, l'umidità, l'esposizione e l'orientamento.

Le soluzioni adottate finora per l'isolamento degli edifici offrono buone prestazioni termiche solo in relazione ad alcune di queste specifiche condizioni ambientali, ma l'efficienza decade nel momento in cui tali condizioni si modificano. Di conseguenza la ricerca deve orientarsi verso soluzioni di involucro che integrano materiali isolanti in grado di modificare le loro proprietà termiche in relazione al cambiamento dei fattori climatici esterni.

Inoltre, per ridurre i costi di gestione e di manutenzione di un fabbricato sarebbe auspicabile che questi materiali fossero in grado di resistere a condizioni climatiche avverse affinché assolvano alla loro funzione nel pieno delle loro prestazioni a lungo termine, per tutto l'arco di tempo legato alla vita utile di un edificio.

Per far fronte alla immediata necessità di ridurre i consumi energetici nel settore civile, negli ultimi quarant'anni sono state adottate principalmente due strategie differenti ma complementari: migliorare le prestazioni dell'isolamento termico dell'involucro edilizio in modo da minimizzare le dispersioni e gli sprechi energetici, e utilizzare fonti energetiche rinnovabili, tra le quali la più diffusa ed accessibile è sicuramente il sole.

Le tecnologie introdotte per migliorare l'isolamento dell'involucro esterno si sono dimostrate tra le soluzioni più efficaci per ridurre i consumi energetici legati agli impianti: secondo uno studio condotto dalla compagnia di consulenza energetica ECOFYS<sup>35</sup> svolto in diversi Paesi europei, un miglioramento delle prestazioni termiche d'involucro negli edifici esistenti potrebbe potenzialmente ridurre i costi

---

<sup>35</sup> <http://www.ecofys.com/en/>

energetici per il riscaldamento del 42% e conseguentemente diminuire di 353 milioni di tonnellate le emissioni di CO<sub>2</sub> all'anno.

Dal momento in cui il problema del risparmio energetico, in origine motivato unicamente da questioni economiche, ha sollevato anche istanze ambientali ed ecologiche, l'attenzione di tecnici e progettisti si è spostata sulla necessità di adottare strategie di captazione ed accumulo dell'energia termica mediante tecnologie e sistemi cosiddetti passivi.

L'involucro esterno è l'elemento che regola i flussi di calore in ingresso e in uscita dall'organismo edilizio. In ragione della variabilità delle condizioni climatiche esterne, l'involucro edilizio, la cui funzione è assimilabile a quella di una membrana dalla struttura complessa attraverso la quale avvengono scambi di energia e di materia tra interno ed esterno, da semplice elemento di chiusura statico ed energeticamente passivo, si trasforma in elemento dinamico che, grazie all'interazione dei singoli elementi che lo compongono, è capace di rispondere agli input determinati dal cambiamento dell'ambiente esterno ed interno.

In tal senso, se progettato secondo i principi dell'architettura sostenibile, l'involucro edilizio dovrebbe ridurre al minimo le dispersioni termiche verso l'esterno e captare quanta più energia solare nelle ore diurne durante la stagione invernale; nel periodo estivo, viceversa, dovrebbe evitare fenomeni di surriscaldamento schermato la radiazione solare e disperdendo il calore verso l'esterno.

Contrariamente a ciò che accade in climi tipicamente freddi dei Paesi dell'Europa centro-settentrionale, il clima temperato tipico dell'area Mediterranea richiede un doppio sforzo, rendendo la questione più complessa: progettare soluzioni architettoniche di involucro in grado di interagire con l'esterno sia nella stagione fredda sia in quella calda.

In riferimento al periodo invernale, le strategie adottate più frequentemente per ridurre le perdite di calore negli edifici e migliorare le prestazioni termiche dell'involucro prevedono un aumento dello spessore degli strati isolanti convenzionali applicati all'involucro esterno.

Nella maggior parte dei casi, questa strategia conduce a buoni risultati, risulta più economica in termini di costi dell'intervento e consente di ottenere una riduzione significativa delle perdite di calore attraverso l'involucro edilizio, tuttavia non può essere considerata l'unico approccio possibile e non sempre può essere applicata in modo diffuso come nel caso di interventi di riqualificazione di edifici storici, in cui spesso vengono imposti vincoli di spessore e, per ragioni tecnologiche o architettoniche, sussistono difficoltà tecnico-operative che limitano le possibilità di intervento. In questi casi, gli interventi possono essere indirizzati verso soluzioni alternative che prevedano l'uso di materiali isolanti e/o componenti di involucro isolanti ad alte prestazioni, in grado di garantire valori bassi di conducibilità termica a fronte di spessori molto contenuti.<sup>36</sup>

---

<sup>36</sup> Nelle riqualificazioni energetiche quando la sagoma esterna dell'edificio non può essere alterata, si ricorre alla realizzazione di un **cappotto interno**; in questo caso il vantaggio nell'uso di materiali superisolanti rispetto ai tradizionali isolanti è il notevole risparmio di spazio, che permette di non sprecare superficie calpestabile; in questo caso il vantaggio rispetto ai tradizionali isolanti è il notevole risparmio di spazio, che permette di non sprecare superficie calpestabile.

La funzione principale di un isolante termico è quella di ritardare il flusso di energia termica indesiderata da o verso una zona specifica.

La conduzione di calore attraverso la struttura del materiale termica avviene attraverso i tre meccanismi di trasmissione: conduzione, convezione ed irraggiamento.

In riferimento al periodo estivo, una buona prestazione delle pareti di involucro per impedire il surriscaldamento degli ambienti interni e mantenere condizioni di comfort ottimali può essere conseguita grazie ad una buona inerzia termica.

La prestazione dell'involucro è definita in base a due parametri prestazionali:

- coefficiente di sfasamento dell'onda termica (h);
- attenuazione dell'onda termica (adimensionale).

L'inerzia termica è strettamente legata alla capacità termica (specifica o per unità di superficie) di una parete, ed è una caratteristica che indica l'energia termica immagazzinata nella parete per ogni grado di aumento della sua temperatura media. Si tratta di una grandezza che dipende dalla massa e dal calore specifico del materiale, e determina l'attenuazione e lo sfasamento del flusso termico che attraversa la soluzione dell'involucro tra l'ambiente esterno e l'ambiente interno.

In funzione dello sfasamento dell'onda termica e del fattore di attenuazione, nel periodo estivo è possibile calcolare la temperatura superficiale interna e il flusso termico entrante in rapporto alla temperatura superficiale esterna sulla parete. Questa capacità di sfasamento termico, che per i climi mediterranei presenta tempi ottimali tra le 8 e le 14 ore, insieme al fattore di attenuazione (considerato significativo al di sotto di 0,35), indica la capacità termica di una parete di abbattere la temperatura determinata dal flusso del calore al proprio interno e di ritardarne il passaggio e restituendo lentamente il calore immagazzinato in precedenza così da fungere da vero e proprio "accumulatore di calore": questo è quanto accade efficacemente ad una soluzione costituita da un materiale con elevata inerzia termica.

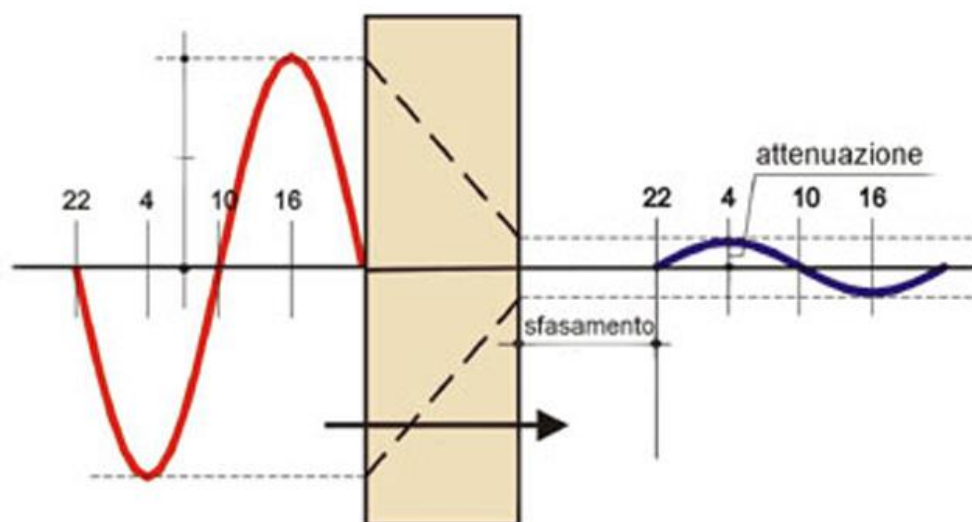


Fig.I. 9. Effetto della massa termica di un involucro opaco sulla trasmissione del calore.

Edifici costituiti da strutture perimetrali con poca massa termica possono presentare nell'arco della giornata temperature con punte al di fuori della zona di comfort, con necessità di riscaldamento nel periodo invernale o di raffrescamento nel periodo estivo; viceversa, nel caso di edifici massivi la restituzione dell'energia accumulata porta a una maggior efficienza e, in ogni caso, a un migliore funzionamento degli impianti correlato ai carichi di punta inferiori.<sup>37</sup>

Attraverso uno studio delle ricerche effettuate nel campo dei *componenti d'involucro opachi*, emerge che il miglioramento della prestazione estiva è sempre più spesso delegato al controllo solare mediante l'uso di materiali ad elevata riflettanza solare, noti come *cool materials*.

Oggi il mercato offre materiali altamente selettivi in forma di coating elastomerici e membrane che, se opportunamente trattati, sono in grado di raggiungere valori di riflettanza molto elevati del 90%, paragonabili al vicino infrarosso: ad esempio, un coating nero ha una riflettanza solare del 5%, mentre lo stesso nero trattato con pigmenti riflettenti all'infrarosso può arrivare a quasi il 25%.

Altre soluzioni allo studio vedono la ricerca orientata verso l'integrazione architettonica in sistemi d'involucro di *materiali termocromici*, in grado di fornire una risposta cromatica in funzione della temperatura superficiale: questi materiali sono capaci di cambiare colore diventando bianchi quando la temperatura supera un determinato valore, per tornare alla gradazione cromatica originale quando si raffreddano.

Soluzioni potenzialmente interessanti per la stagione estiva prevedono l'utilizzo di *Phase Change Materials*, materiali a cambiamento di fase in grado di migliorare l'inerzia termica della struttura. Si tratta di prodotti disponibili sul mercato già da alcuni decenni, ma la loro complessità e il costo elevato ne impediscono un'efficace diffusione sul mercato.

Per quanto riguarda i *componenti d'involucro trasparenti*, raggiunto il massimo dell'isolamento termico per i vetro-camera con trattamenti basso emissivi, già da alcuni anni sono disponibili sul mercato materiali innovativi tra cui i *vetri cromogenici*, in grado di variare le proprietà fisico-chimiche e ottiche a seguito dell'applicazione di una differenza di potenziale elettrico o dell'esposizione alla radiazione luminosa o dalla temperatura. Tuttavia si tratta di tecnologie relegate ancora ad applicazioni di nicchia a causa dei costi ancora troppo proibitivi per l'impiego su larga scala.

Una tecnologia che sta incontrando un maggiore riscontro è il fotovoltaico trasparente, in grado di produrre elettricità ma di lasciare che i raggi luminosi filtrino attraverso i pannelli fotovoltaici, che inizia ad avere una più ampia applicazione sfruttando tecnologie consolidate (silicio) o innovative (film sottili, DSSC, PV organico con diverse tecnologie di deposizione).

Tra le soluzioni attualmente allo studio è possibile trovare materiali a cambiamento di fase trasparenti inseriti nel vetro-camera; vetri termocromici che variano l'assorbimento della radiazione luminosa diventando opachi quando si raggiunge un valore critico della temperatura superficiale esterna; vetri termotropici, che sono costituiti da un fluido formato da una miscela di acqua e gas contenuta tra due lastre di vetro o pellicole. Tale miscela si mantiene

---

<sup>37</sup> A. F. L. Baratta, L. Venturi, *Prestazioni termiche di pareti perimetrali in regime dinamico*, Costruire in Laterizio, Business Media Sole 24 Ore, n. 122, pp. 62-67.

omogenea e trasparente fino ad una determinata temperatura, superato un certo limite le due componenti si separano e strato diventa bianco opaco , riflettendo gran parte della luce e riducendo il passaggio della radiazione luminosa; sistemi di daylighting con schermature riflettenti a geometria complessa, trattati superficialmente con film ottici semispeculari che ne aumentano il potere riflettente incrementandone l'efficienza complessiva.

Infine, per quanto riguarda le tecnologie impiegate per la *protezione solare*, l'innovazione è orientata soprattutto verso l'integrazione architettonica con soluzioni hi-tech sempre più ardite che impiegano griglie metalliche e plastiche, con trame tridimensionali.

Di grande interesse è la movimentazione dei sistemi schermanti, con richiesta sempre maggiore di controllo in funzione di diverse strategie e con sistemi di gestione collegati ai diversi servizi energetici degli edifici. La ricerca è orientata verso soluzioni attivabili mediante un sistema di controllo composto da sensori e attuatori che si attivano in funzione delle condizioni climatiche esterne, di particolare interesse è l'utilizzo di *materiali a memoria di forma* per l'apertura e la chiusura dei sistemi di schermatura solare.



*Fig.I. 10. Consolidated Forensics Lab, Washington DC, HOK, 2013. Certificazione LEED-NC Platinum. Il design innovativo dell'involucro architettonico è caratterizzato da una facciata in vetro dotata di un sistema di schermatura solare in lamelle di vetro il cui orientamento è controllato mediante una stazione meteorologica posta sul tetto. Al variare delle condizioni ambientali esterne, il sistema di controllo solare realizza la seconda pelle dell'edificio per garantire condizioni di comfort indoor nell'edificio. (Fonte: <http://www.hok.com>)*

### I.2.1. Materiali isolanti avanzati

I prodotti isolanti tradizionalmente impiegati, fatta eccezione per alcuni tipi di schiume cellulari, si basano sull'incorporamento di gas all'interno di piccole cavità, pori o cellule che impediscono lo scambio termico per convezione.

La perdita di calore per convezione viene ridotta dalle piccole dimensioni di queste cavità d'aria e può essere trascurata in molti materiali isolanti commerciali. Per questo motivo la conducibilità termica di tali materiali raggiunge valori minimi fino a 0,023 W/mK. Dunque il meccanismo di scambio termico per convezione attraverso la componente gassosa risulta preponderante rispetto agli altri due meccanismi che a loro volta dipendono dalla densità del materiale: una densità alta riduce la componente radiativa del trasferimento di calore, a ne aumenta la conduzione attraverso la componente solida del materiale. Tanto più preponderante è la composizione solida del materiale rispetto alla quantità di gas contenuta nell'unità di volume, tanto più si riduce il contributo della conducibilità del gas sulla conducibilità termica complessiva.

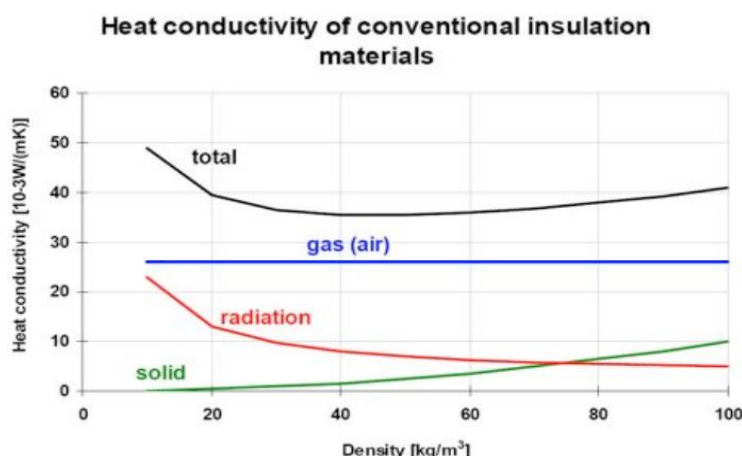


Fig.I.11. Conducibilità termica di materiali isolanti tradizionali in relazione alla componente gassosa.

Un buon isolante è caratterizzato da una bassa termica conducibilità. Allo stato attuale i materiali isolanti convenzionali più impiegati nella prassi costruttiva comune possiedono valori di conducibilità termica tra 0.020 and 0.045 W/mK (Tab. I.4).

Material	Thermal conductivity	Density	Non-renewable primary energy demand
	[W/mK]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Fibreboard	0.045-0.053	190-240	590-785
Expanded polystyrene (EPS)	0.033 – 0.040	15-30	530-1050
Polyurethane (PUR)	0.020 – 0.035	30-35	1140-1330
Mineral wool	0.035 -0.045	20-140	100-700
Cellulose	0.045	40-70	10-17
Air	0.024-0.026	-	-

Tab.I. 2. Valori di conducibilità termica di materiali isolati tradizionali.

In climi freddi, per soddisfare i requisiti richiesti dagli standards Passive House occorrono circa 30 cm di lana minerale.

In località dove il problema può essere costituito da umidità e condensa interstiziale sullo strato isolante, si ricorre all'uso di polistirene espanso (EPS) o estruso (XPS). Il poliuretano (PUR) possiede una conducibilità ancora più bassa del polistirene ma si deteriora molto rapidamente a contatto con l'acqua.

Al momento il mercato europeo dei materiali per l'isolamento termico è caratterizzato dal dominio di due gruppi di prodotti: i materiali fibrosi inorganici (vetro e lana di roccia), che rappresentano il 60% del mercato; i materiali schiumosi organici, polistirolo e poliuretano nella forma espansa ed estrusa, che rappresentano circa il 27%.<sup>38</sup> Tutti gli altri materiali rappresentano meno del 13%.

Le disposizioni normative in materia di risparmio energetico spesso impongono dei valori limite di trasmittanza U per coperture e pareti di circa 0,2 W/m<sup>2</sup>K, condizione che spesso comporta l'applicazione di strati di isolante piuttosto elevati (20-30cm isolante). D'altra parte, spessori di tali dimensioni risultano irragionevoli per diverse applicazioni, specie in interventi di riqualificazione edilizia di immobili storici, dove sussistono vincoli architettonici o esigenze di spazio che, talvolta, impediscono la realizzazione di un cappotto termico tradizionale.

Per queste ragioni, nell'ultimo decennio si è registrata un'inversione di tendenza, con l'introduzione sul mercato di materiali isolanti innovativi ad alte prestazioni, sviluppati in ambiti diversi da quello edilizio per rispondere ad esigenze particolarmente severe (applicazioni aerospaziali, aeronautiche, biotecnologie ecc.) e in grado di fornire un alto potere isolante a fronte di spessori inferiori anche dieci volte rispetto agli isolanti tradizionali e valori di conducibilità termica 3-4 volte inferiori a quella dei materiali tradizionali. Questi nuovi sistemi si basano sull'uso di tecnologie sottovuoto in grado di attenuare i meccanismi di trasferimento di calore, permettendo di ottenere livelli di trasmittanza estremamente bassi.

A fronte delle prestazioni offerte dai materiali isolanti tradizionali disponibili oggi sul mercato, che riportano valori di conducibilità termica di circa 0,03 W/mK, i materiali isolanti ad alte prestazioni (superisolanti) sono in grado di raggiungere valori di conducibilità intorno ai 0,013 W/mK (come nel caso dei pannelli isolanti con aerogel) fino a 0,007 W/mK (nel caso di VIP) e livelli simili sono obiettivo della sperimentazione condotta sulle schiume poliuretaniche nanostrutturate attualmente in fase di sviluppo.<sup>39</sup>

L'innovazione nei materiali da costruzione si sta sempre più orientando verso tre tendenze complementari:

1. la miniaturizzazione, in cui lo studio e la sperimentazione sui materiali arriva ad interessare la scala microscopica con i materiali nanostrutturati, manipolando la materia a livello molecolare per ottenere prestazioni molto più elevate rispetto ai materiali tradizionali.

---

<sup>38</sup> A.M. Papadopoulos, et al., *Design and Development of Innovative Stone-wool Products for the Energy Upgrading of Existing and New Buildings*, Project Interim Report, 2004.

<sup>39</sup> ENEA, "Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2012", Dicembre 2013



2. il recupero, attraverso il riuso e il riciclo di una quantità sempre maggiore di materiali provenienti da precedenti cicli produttivi industriali.
3. l'ibridazione, ovvero la combinazione di materiali diversi a formarne uno nuovo con diverse e più performanti caratteristiche.

La nanotecnologia è un ramo della scienza applicata e della tecnologia che si occupa del controllo della materia su scala dimensionale inferiore al micrometro (in genere tra 1- 100 nm).

Un nanomateriale è un materiale particellare contenente nanoparticelle o agglomerati o aggregati di queste in forma solida o disperse in un liquido, o nanostrutture interne o esterne o domini nanometrici. Un nanoprodotto è un prodotto in cui viene deliberatamente inserito un nanomateriale al fine di condizionarne le proprietà.. Attraverso la manipolazione della materia a livello microscopico è possibile far acquistare ai prodotti caratteristiche e proprietà diverse da quelle che essi presentano allo stato naturale: resistenza meccanica, maggiore igroscopicità, resistenza al fuoco ecc...

Le potenzialità di sviluppo di queste tecnologie nell'industria delle costruzioni sono molto elevate, sebbene il loro uso sia per ora limitato a le causa degli elevati costi di produzione e ad una mancanza di informazione nei confronti degli addetti al settore che non consentono, allo stato attuale, di ottenere prodotti in grado di competere con quelli già esistenti.

In linea di massima è possibile individuare due differenti categorie di materiali isolanti innovativi:

- i materiali le cui prestazioni sono fisse, stabilite a livello di fabbrica e che offrono risultati costanti come, per esempio, gli isolanti, le resine con proprietà particolari, i materiali antiusura, quelli fotocatalitici e autopulenti. quelli che sono in grado di "rispondere" alle variazioni delle condizioni d'utilizzo;
- i materiali cosiddetti adattivi-responsivi, che rappresentano la frontiera più avanzata dell'innovazione, che sono in grado di rispondere alle variazioni delle condizioni climatiche esterne. Ne sono un esempio i materiali a cambiamento di fase (PCM) e i materiali che possiedono una memoria di forma.<sup>40</sup>

#### *Transparent Insulation Materials (TIM)*

Una tipologia di prodotti piuttosto eterogenea che ha trovato applicazione a partire dagli anni 80 in ambito aerospaziale e si è poi diffusa in ambito edilizio attraverso lo sviluppo di sistemi finestrati innovativi ad alta efficienza è quella dei TIM *Transparent Insulation Materials*.

Questi materiali trasparenti sono dotati di buone caratteristiche isolanti con valori di trasmittanza termica paragonabili a quelli dei materiali isolanti opachi pur conservando ottime capacità di trasmissione luminosa.

Pur conservando caratteristiche che li rendono adatti all'impiego in sistemi di involucro vetrati riducendo da un lato i flussi energetici tra interno ed esterno, e

---

<sup>40</sup> La capacità di reazione di questi materiali non dipende dalla presenza di un sistema di controllo, ma dalle caratteristiche intrinseche della loro struttura molecolare. Rientrano in questa categoria anche i materiali attivi che consentono lo scambio o la produzione d'energia, come i pannelli fotovoltaici organici.

di conseguenza il fabbisogno di energia primaria e i consumi di energia elettrica, dall'altro garantiscono un adeguato comfort visivo degli spazi interni diffondendo la luce naturale diretta e diffusa. Se destinati invece ad applicazioni integrate in sistemi opachi dell'involucro edilizio, vengono impiegati per realizzare rivestimenti a cappotto e schermati esternamente da una superficie vetrata, aumentando notevolmente i guadagni termici diretti e l'inerzia termica dell'involucro.<sup>41</sup>

I TIM di natura organica impiegano nella loro struttura materiali come aerogel e composti silicei omogenei o granulari. I TIM di natura inorganica integrano nella loro struttura policarbonati (PC) o polimetilmetacrilati (PMMA) con una struttura tipicamente a nido d'ape (*honeycomb*).

La dimensione delle celle che compongono la struttura capillare *honeycomb* è tale da impedire la trasmissione del calore sia per convezione, sia in forma di radiazione e, se inserito all'interno di un vetrocamera, può migliorare la prestazione termica del vetro, anche se lo spessore necessario è piuttosto elevato (tra 50 e 500 mm). D'altra parte, la lastra capillare diffonde la luce solare diretta all'interno degli ambienti evitando fenomeni di abbagliamento.<sup>42</sup>

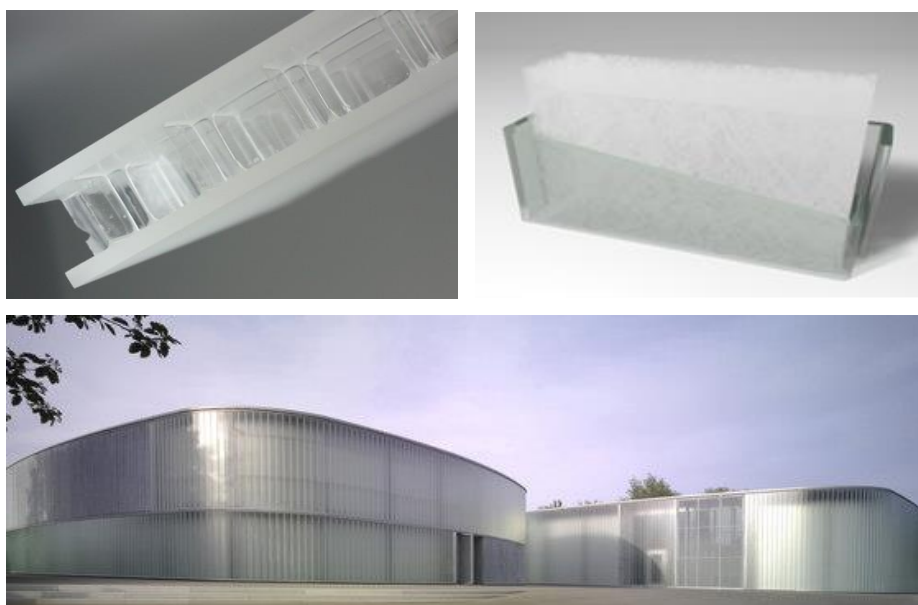


Fig.I.12. Isolante trasparente a struttura *honeycomb* (a sinistra); isolante trasparente in fibra di vetro (a destra). Edificio scolastico, Waiblingen, Germania Hartwig Schneider Architekten, 2007. Fonte: Wacotech

<sup>41</sup> Rossi Monica, *Prodotti e sistemi di involucro innovativi per il progetto di edifici energeticamente efficienti. Procedure, simulazioni termodinamiche e criteri progettuali per un'applicazione nel Sud Europa*, Tesi di dottorato in Tecnologia dell'Architettura, XXI ciclo, Università di Napoli, p.90.

<sup>42</sup> Cinzia Buratti, Elisa Moretti, *Lighting and Energetic Characteristics of Transparent Insulating Materials: Experimental Data and Calculation Department of Industrial Engineering*, Indoor and Built Environment, 2011, p. 400-411.

Tra i prodotti isolanti trasparenti più diffusi sul mercato per applicazioni in sistemi di facciata trasparente TiMax GL, è un materiale isolante in fibra di vetro traslucido e leggero che permette una buona diffusione della luce e un'illuminazione uniforme degli ambienti interni, garantendo buone capacità di isolamento termico nei mesi invernali e protezione dalla radiazione solare durante il periodo estivo.

Le fibre di vetro contenute in Timax GL hanno una struttura aperta simile a quella di un tessuto all'interno della quale l'aria rimane intrappolata garantendo un ottimo isolamento termico. TiMax GL assorbe una gran parte della radiazione calore infrarossi e garantisce una buona trasmissione luminosa tra il 30% e il 50%. Una tecnologia ormai matura nel settore dei materiali isolanti trasparenti che sta continuando a evolversi grazie soprattutto alle ricerche scientifiche condotte nel campo dei materiali superisolanti e alle innovazioni introdotte nel campo delle nanotecnologie è quella dell'aerogel, un materiale scoperto intorno agli anni trenta, da tempo utilizzato come isolante termico in ambito aerospaziale, navale, automobilistico, e che solo di recente ha trovato applicazione nel settore edilizio tra gli isolanti termici.

Si tratta di un gel dalla struttura nano porosa in cui i solidi di silice, che sono buoni conduttori, costituiscono solo il 3% del volume, e per il rimanente 97% la componente liquida è stata sostituita con aria inglobata in nano-pori estremamente piccoli. Questa struttura fisica dell'aerogel ne determina una bassissima densità volumetrica pari ad appena  $3 \text{ Kg/m}^3$ , rendendolo la sostanza solida meno densa fino ad oggi conosciuta.

Le nanostrutture interconnesse creano un materiale leggero e altamente poroso (superiore al 90% e dimensioni dei pori tra i 4 e i 20 micron) impedendo la circolazione dell'aria e, di conseguenza, la dispersione del calore per convezione, mentre la bassa conducibilità termica della silice abbatte le perdite per conduzione. La conducibilità termica bassissima dell'aerogel in silice è minore rispetto a qualunque altro solido noto, con valori tra 0,004 a 0,03 W/mK, anche se i prodotti in commercio presentano una conducibilità intorno ai 0,012 W/mK.

È impiegato in edilizia come isolante termico per pareti, coperture e solai, e viene commercializzato in forma di materassini o in pannelli: i pannelli possono essere prodotti in spessori da 5 ad un massimo di 50 mm e possono essere applicati in soluzione a cappotto e poi rifiniti con uno strato di intonaco, oppure in soluzioni di rivestimento interno, già integrati a strati di finitura in gesso.

L'aerogel è utilizzato anche come riempimento dell'intercapedine di vetrocamera in forma monolitica, come materassino compatto semitrasparente, oppure sotto forma granulare. In applicazioni di questo tipo, che interessano grandi superfici trasparenti, il materiale consente di migliorare sensibilmente le proprietà termiche di un sistema costruttivo le cui prestazioni, anche nelle soluzioni più performanti, non si avvicinano minimamente a quelle di una parete opaca.

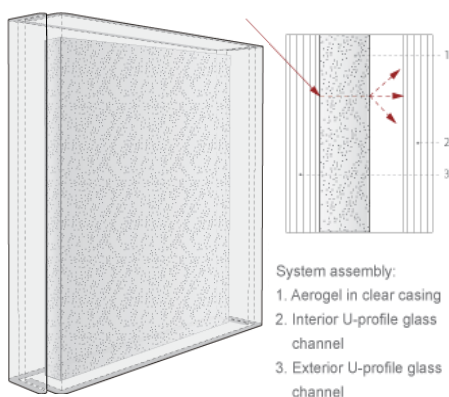
Vetrate isolanti con un'intercapedine di 60 mm di spessore riempita in aerogel naturale, sono in grado di raggiungere una trasmittanza fino a  $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$  e un isolamento acustico superiore a 52dB.

Sempre più diffuso è l'impiego di aerogel ad alto potere isolante in sistemi di facciate in pannelli traslucidi realizzati con profili in vetro estruso *U glass* (Profilit, Linit, Reglit) montati con una doppia orditura a formare un'intercapedine tra 30mm a 60mm, all'interno della quale viene inserito del nanogel granulato contenuto in una custodia in policarbonato.



Fig.I.13. Applicazione del sistema Lumira aerogel in sistemi di involucro trasparente avanzati. École Nationale de Cirque, Montréal, Canada, Lapointe Magne e Associati (a sinistra). Building 115, Seattle WA, Graham Baba Architects (a destra). (Fonte: Techncal Glass Products)

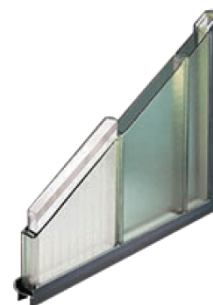
Applicazioni di questo tipo permettono di coniugare le eccezionali proprietà di isolamento termico dell'aerogel ad un efficace controllo della luce solare e, rispetto a vetrate isolanti di tipo standard, consentono di ottenere un risparmio tra il 30% e il 70% per il riscaldamento e il raffreddamento e fino al 30% sull'illuminazione elettrica. Ciononostante, tali soluzioni stentano a trovare un'ampia diffusione sul mercato, non solamente a causa dell'elevato costo di queste facciate ma anche perché l'inserimento dell'aerogel, rendendo le pareti traslucide, consente il passaggio della radiazione luminosa ma elimina completamente l'effetto di trasparenza.<sup>43</sup>



#### PERFORMANCE ANALYSIS: PRELIMINARY TEST RESULTS

K 25/60 SERIES PROFILIT	UNINSULATED	LUMIRA AEROGEL PANEL* 16MM (CLEAR)	LUMIRA AEROGEL PANEL* 25MM (CLEAR)
U VALUE (GLASS ONLY)	0.49	0.21	0.19
LIGHT TRANSMISSION	70%	50%	38%
SOLAR HEAT GAIN COEFF. (SHGC) COEFF. (SHGC) (NFRC 200)	0.63	0.42	0.31
SOUND TRANSMISSION COEFF. (STC) - (E 90)	42	44	44
CONDENSATION RESISTANCE FACTOR (CRF) (AAMA 1503)	G 70 F 60	G 79 F 60	G 79 F 60

\* Additional Lumira aerogel options, including polycarbonate colors and 25 mm panels for increased performance, are available. Please contact TGP.



<sup>43</sup> Da Modulo n.387

### *Vacuum Insulation System (VIS)*

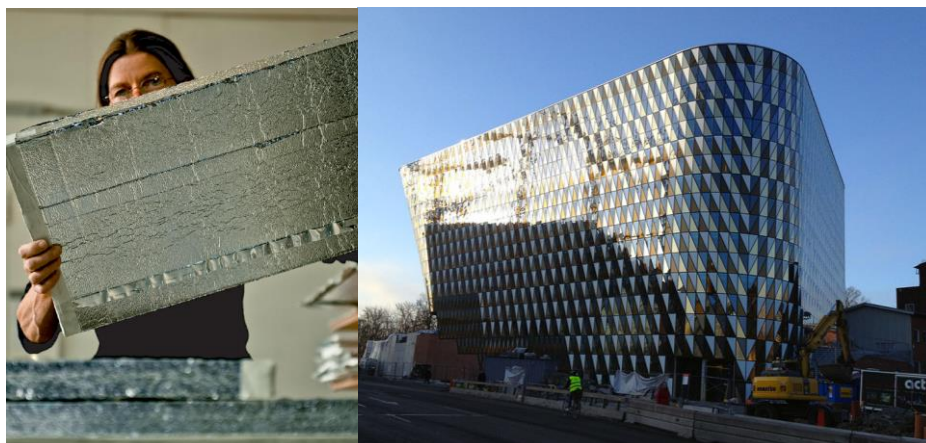
Disponibili sul mercato già da qualche tempo, sono impiegati per l'isolamento sottile dell'involucro edilizio. La conducibilità termica dei pacchetti VIP in commercio può raggiungere fino a 0,003 W/mK, ovvero 5-10 volte inferiore rispetto ai materiali convenzionali, anche se attualmente in rapporto alle alte prestazioni ne consegue un maggior costo una vita utile più corta.

Grazie al spessore ridotto sono materiali ideali per applicazioni in interventi di riqualificazione, qualora si renda necessario aumentare l'isolamento termico con bassi spessori.

Uno dei limiti principali dei pannelli sottovuoto è ancora una volta la bassa resistenza del pacchetto: qualora il pannello si danneggi (basti pensare ai problemi che possono incorrere in un cantiere), cessa l'effetto sottovuoto al suo interno e di conseguenza viene meno gran parte della sua capacità isolante creando dei punti di discontinuità nello strato di isolamento, aprendo così dei ponti termici nell'involucro edilizio.

Tra i prodotti già disponibili sul mercato, la ditta tedesca Porextherm propone Vacupor S, prodotti a bassissima conducibilità termica ( $\lambda=0,005-0,007$  W/mK), confezionati in un film multistrato ad alta barriera, con diverse finiture superficiali, dalla classica riflettente in alluminio a prodotti più complessi, prefiniti con un rivestimento gommoso granulare, uno strato protettivo in polistirene espanso estruso (XPS), o una lastra per l'isolamento acustico. I pannelli sono disponibili sul mercato in diversi formati con spessori di 10 o 50 mm, ed è altresì proposta una versione ad alta densità, rinforzata con filamenti di silicato in grado di resistere alle alte temperature.

Un'altra azienda tedesca Variotec propone la tecnologia QASA, pannelli sottovuoto integrati all'interno di strutture sandwich pronte all'uso in formati fino 1,25x3 metri con spessori variabili da 10 a 40 mm, che trovano applicazione sia per installazioni all'interno degli edifici (QASAFlex), sia per applicazione in facciate (QASAMax). Un'interessante esempio di come possa essere applicata questa tecnologia in facciata riguarda un'ala del Karolinska Institutet di Stoccolma, che al suo interno ospita un auditorium da oltre mille posti.



*Fig.I.14. Tecnologia QASA di Variotec, applicazione al Karolinska Institutet di Stoccolma, Architetto Gert Winghards.*

Uno studio condotto nei laboratori svizzeri dell'EMPA<sup>44</sup> (Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology), un pannello sottovuoto ha una vita utile molto alta che si attesta tra i 30 e i 50 anni. Il decadimento prestazionale che si manifesta con gli anni è imputabile in larga parte al deterioramento fisico del rivestimento metallizzato e, in casi più rari, all'aggressione chimica in ambienti alcalini.

Al fine di aumentare la durata e il mantenimento nel tempo del potere isolante di questi prodotti, la ricerca si sta orientando sulla messa a punto di rivestimenti sempre più performanti, caratterizzati da una maggiore resistenza meccanica, una più bassa permeabilità e miglior comportamento all'invecchiamento (umidità, calore, contatto con prodotti chimici e adesivi).

Da un punto di vista economico è possibile riconoscere un beneficio netto nell'uso di prodotti a bassi spessori che, considerando il risparmio energetico e il valore della superficie calpestabile che si guadagna rispetto ad isolanti convenzionali con spessori più elevati, andrebbe ad compensare il prezzo di mercato che risulta nettamente più alto rispetto ad un prodotto tradizionale.

#### *Schiume con nanopori*

Importanti sviluppi dal punto di vista tecnologico sono attesi anche nel settore delle nanoschiume superisolanti, il cui mercato è in crescita grazie alla facilità di applicazione del materiale e alla sostenibilità sotto il profilo ambientale, trattandosi di prodotti che impiegano agenti espandenti non dannosi per l'ozono.

Ad oggi sono stati condotti numerosi studi sullo sviluppo di schiume poliuretaniche con l'obiettivo di ottenere una struttura microcellulare in grado di incrementare le proprietà isolanti e allo stesso tempo ridurre gli spessori: il gruppo tedesco Bayer sta lavorando all'interno dei propri laboratori sullo sviluppo di nuovi prodotti caratterizzati da una struttura con dimensioni dei pori ridotte, nanocelle, all'interno dei quali sono imprigionati aria o gas.

Le schiume a nanopori utilizzano speciali micro emulsioni, costituite da nanoparticelle riempite di CO<sub>2</sub> e incapsulate nella sostanza tensioattiva: riducendo la pressione, la CO<sub>2</sub> si espande formando micro bolle di dimensione nanometrica.

Le ricerche stanno conducendo verso la formulazione di schiume poliuretaniche con una dimensione delle celle di 150 nanometri (contro i 150 micron di diametro dei prodotti diffusi in commercio), che a parità di spessore, sarebbero in grado di assicurare un isolamento termico doppio.

#### *Phase Change Materials (PCM)*

I materiali a cambiamento di fase PCM (*Phase changing materials*) si collocano tra i cosiddetti *smart materials* perché hanno la capacità di modificare il proprio comportamento in base alle condizioni climatiche esterne sfruttando il naturale fenomeno fisico della transizione di fase. Sono materiali che ben si prestano ad applicazioni tecnologiche di facciata nell'ambito del risparmio energetico perché funzionano come accumulatori di calore intelligenti essendo in grado di assorbire i flussi termici energetici in ingresso (flussi entranti), immagazzinando un'elevata quantità di energia mantenendo al contempo costante la propria temperatura, e

---

<sup>44</sup> <https://www.empa.ch/web/empa>

restituendo il calore all'esterno durante una successiva diminuzione della temperatura.

Sono materiali termoregolanti che per effetto del peak shifting riducono il picco di calore interno ottimizzando le fluttuazioni giornaliere della temperatura e riducendo di conseguenza il fabbisogno di energia per il raffrescamento meccanico dell'ambiente.

L'integrazione di PCM in tecnologie di parete consente di ottimizzare gli scambi di calore tra ambiente interno ed esterno, impiegando una massa e un peso sensibilmente inferiori rispetto ai materiali tradizionali : in questi casi è possibile che una parete leggera rivestita su entrambi i lati con materiali PCM che abbia un potere di accumulo paragonabile a quello di una parete di tipo tradizionale. Pertanto l'applicazione di questi prodotti nel settore delle costruzioni è indicato quando si intende incrementare l'inerzia termica di una parete entro sovrassessori ridotti, all'interno delle stratigrafie dell'involucro opaco soprattutto in tecnologie edilizie leggere ed a secco.

I PCM trovano larga applicazione anche in tecnologie per lo sfruttamento dell'energia solare: il loro impiego come sistemi di accumulo a cambiamento di fase nel solar cooling in contesti climatici caldi del Centro e del Sud Italia, ha mostrato una riduzione del consumo energetico e delle emissioni di anidride carbonica di circa il 20% e un miglioramento del comfort indoor sia nella stagione estiva sia in quella invernale.

Allo stato attuale i PCM più diffusi nel campo dell'edilizia sono i composti organici paraffinici e idrocarburi che si ottengono come sottoprodotti della raffinazione del petrolio o per polimerizzazione, mentre i PCM di natura inorganica per poter essere utilizzati vengono microincapsulati e poi forniti sotto forma di polveri o dispersioni. In riferimento a questi ultimi, l'impegno di PCM microincapsulati (mPCM) nel settore dell'edilizia e delle costruzioni sta aumentando in seguito all'applicazione delle nuove normative sull'efficienza energetica e all'introduzione di obiettivi di risparmio sempre più stringenti a livello globale.

I mPCM (anche detti nanoPCM) , rispetto ai comuni PCM prevedono l'aggiunta di nanoparticelle al fine di incrementarne la capacità di accumulo e la diffusività termica.

Un interessante utilizzo dei PCM nell'edilizia è rappresentato dalla possibilità di inserire questi materiali all'interno di elementi trasparenti come lastre di polimetilmetacrilato o di vetro, limitandone l'aumento della temperatura ed evitandone il surriscaldamento specie durante il periodo estivo, senza adoperare corpi schermanti. Nel primo caso, microcapsule del diametro di 2-20  $\mu\text{m}$  vengono inserite all'interno di pannelli trasparenti in polimetilmetacrilato, molto resistenti anche con spessori ridottissimi.

Nel caso di facciate in vetro, un sistema interessante è quello sviluppato dall'azienda GLASSX che ha realizzato la tecnologia GLASSX®store per l'applicazione in facciate continue in vetro costituita da uno strato traluce di materiale a cambiamento di fase (PCM), protetto su entrambi i lati da vetro di sicurezza.

Si tratta di una facciata pluristrato costituita da quattro lastre di vetro con tre intercapedini contenenti rispettivamente pannelli frangisole, gas nobili, e un isolante trasparente a cambiamento di fase che funziona da elemento di accumulo di calore e di protezione dall'eccessivo irraggiamento materiali. Il PCM trasmette circa il 25% della luce visibile quando si trova allo stato solido e più del 40% quando è allo stato liquido, in modo che la funzione di illuminazione non sia compromessa.

Questo sistema, oltre a garantire un'illuminazione naturale interna diffusa, è dotato di un'elevata inerzia termica (capacità termica equivalente a 32 cm di cemento) e una bassa trasmittanza termica  $U_g = 0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$  con spessori di 78 cm.



Fig.I.15. Istituto di formazione professionale, Fribourg, Svizzera (2010). Architettura: Butikofer De Oliveira Vernay. Applicazione della tecnologia GLASSX store (PCM).



Oggi sono in corso studi e ricerche di settore finalizzate a mettere appunto nuove tecniche di applicazione e di produzione di questi prodotti che ne migliorino le prestazioni meccaniche riducendone i costi.

Allo stato attuale, infatti, l'estrema fragilità e gli elevati costi di produzione costituiscono i due principali limiti alla diffusione di questo materiale, relegandolo ad un prodotto di nicchia. Le tecniche tradizionalmente impiegate per aumentare la resistenza meccanica dell'aerogel consistono nel rinforzo con fibre in polietilene tereftalato (PET) oppure con fibre di vetro a filamento continuo.

Nel 2008, la Commissione europea ha lanciato un programma ambizioso, nell'ambito del Piano europeo di ripresa economica che ha portato alla creazione di un Partenariato pubblico-privato nel settore dell'efficienza energetica degli edifici "Energy-Efficiency Public-Private Partnership, E2B-PPP" allo scopo accelerare la ricerca sulle tecnologie chiave dell'industria e sviluppare un'economia competitiva nel settore delle costruzioni.<sup>45</sup>

Al fine di trarre vantaggio dalla sinergia tra i vari progetti europei in tema di efficienza energetica negli edifici, sono state avviate attività di clustering in base alle diverse aree di indagine.

È in questo contesto che è stato costituito il Nano-E2B-cluster europeo che riunisce i progetti del 7PQ<sup>46</sup> che si occupano di ricerca nel campo dell'efficienza energetica e della qualità dell'aria indoor negli edifici, interessando le seguenti aree tematiche:

- Nano-isolanti
- Impianti HVAC
- Componenti d'involucro leggeri
- Energia incorporata
- Finestre intelligenti
- Qualità dell'aria indoor

Il Nano-E2B-Cluster comprende 6 tra i programmi internazionali di ricerca finanziati dall'UE nel triennio 2007 al 2013 nell'ambito del *Settimo Programma Quadro 7PQ* per i settori delle "Nanoscienze, nanotecnologie, tecnologie dei materiali e processi di produzione", che si occupano di nanotecnologie come strumenti chiave per lo sviluppo di materiali/prodotti isolanti ad alte prestazioni per migliorare in modo significativo l'efficienza energetica degli edifici e che hanno prodotto risultati concreti per lo sviluppo di tecnologie che fossero affidabili e sostenibili anche sotto il profilo economico.

Il più noto è il progetto HIPIN, *High Performance Insulation based on Nanostructure encapsulation of air*<sup>47</sup>, che fa parte dell'area tematica Nano-isolanti del Nano-E2B-Cluster, e ha come obiettivo specifico lo sviluppo di un prodotto



<sup>45</sup> Il E2B-PPP ha finanziato 11 progetti in tre anni, per un totale di 80 milioni di € (51 milioni di € di contributo UE). Come PPP, in tutti questi progetti è significativo il ruolo delle industrie del comparto dei prodotti da costruzione nel proporre attività di ricerca, specie in termini di innovazione di prodotto per lo sviluppo di componenti che dimostrano potenzialità di produzione a scala industriale.

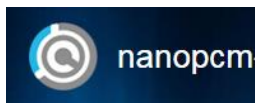
<sup>46</sup> Al momento si contano 26 progetti transnazionali finanziati dalla Commissione Europea nell'ambito del 7PQ e inclusi all'interno del cluster nell'ambito delle diverse aree tematiche. Con un budget totale di 24.2 milioni di € (16.9 milioni di € contributi UE), il Nano-E2B-cluster riunisce 11 Grandi Imprese, 16 SME, 17 organizzazioni di ricerca e sviluppo tecnologico e 5 università.

<sup>47</sup> <http://www.hipin.eu/>

termoisolante a base di aerogel nanostrutturato da incorporare in malte, pitture, intonaci e pannelli sandwich con un potere isolante 10 volte superiore ai prodotti tradizionali che possa essere prodotto a su scala industriale a costi concorrenziali. Le prove di laboratorio hanno condotto alla realizzazione di un prodotto con un contenuto di silice più alto (58%) rispetto ai materiali tradizionali (solitamente del 28%) a garanzia di una maggiore resistenza meccanica. La formula della vernice è quasi ottimizzata e gli intonaci e i pannelli seguono a breve distanza.



Con le stesse finalità è stato sviluppato il progetto AEROCOINS, *Aerogel-based composite/hybrid nanomaterials for cost-effective building super-insulation systems*,<sup>48</sup> le cui ricerche si sono concentrate sullo sviluppo di aerogel ibridi nanostrutturati di silice e polimeri cellulosici e a rinforzare l'aerogel con nanofibre cellulosiche in modo da aumentarne la resistenza meccanica. La ricerca combina il processo chimico sol-gel, generalmente usato per la fabbricazione di materiali ceramici, con le potenzialità e le più recenti scoperte nel campo delle nanotecnologie per la preparazione di materiali aerogel a base di silice rafforzati. Per quanto riguarda la sostenibilità economica del processo di fabbricazione di questi aerogel rinforzati, è stato sviluppato un efficace modello di asciugatura a pressione a temperatura ambiente e modificato il processo di asciugatura a base di CO<sub>2</sub> supercritico, determinando una sensibile riduzione dei costi di produzione.



Nell'ambito di un altro team di ricerca finanziato dall'UE sul progetto NANOPCM<sup>49</sup> (*New advanced insulation phase-change materials*), anch'esso appartenente al Nano-E2B-Cluster, gli studiosi si sono concentrati sullo sviluppo di nanotecnologie per immagazzinare l'energia termica da utilizzare compatibilmente con i materiali edili tradizionali nel contesto del progetto. I materiali a cambiamento di fase (PCM) sono dei materiali che immagazzinano e rilasciano il calore latente durante il processo di trasformazione del proprio stato fisico da solido a liquido e, conseguentemente, permette loro di fornire calore o freddo su richiesta sfruttando l'energia termica fornita dalla radiazione solare.

All'interno del progetto sono state sviluppate due categorie di prodotti: PCM incapsulati, additivati con nanomateriali, che sono stati prodotti presso uno stabilimento pilota usando una tecnica già registrata in due brevetti; schiuma poliuretana a base di PCM e nanomateriali, che è stata prodotta a partire dal processo di produzione standard della schiuma poliuretana con l'aggiunta di additivi senza comprometterne le proprietà meccaniche, la solidificazione e l'accrescimento. Seguire procedure e processi esistenti ha permesso di ridurre significativamente i costi.

Il gruppo di ricerca ha inoltre sviluppato uno strumento software che simula il comportamento termico di prodotti che contengono la tecnologia NANOPCM al fine di valutare con più facilità i potenziali risparmi di energia e la temperatura ottenibile in un edificio incorporando i materiali isolanti NANOPCM.

---

<sup>48</sup> <http://aerocoins.eu/>

<sup>49</sup> <http://www.nanopcm-eu.net/>

NANOINSULATE<sup>50</sup> è un progetto che coinvolge sei aziende e quattro centri di ricerca per lo sviluppo di pannelli isolanti (VIP), opachi e trasparenti, che incorporano materiali innovativi basati sulle nanotecnologie (nanospugne, aerogel e compositi aerogel) da produrre su scala industriale, che garantiscono un risparmio energetico fino a sei volte più elevato rispetto alle soluzioni tradizionali. Questi nuovi sistemi garantiranno una maggiore resistenza agli agenti atmosferici e un tempo di vita utile al di sopra di 50 anni, adatto sia in interventi di nuova costruzione, sia per applicazioni in interventi di retrofit energetico.



Gli studi condotti sull'impiego di questa tecnologia NanoInsulate in interventi di ristrutturazione edilizia, ha evidenziato una riduzione fino a 70% della domanda di riscaldamento e fino al 55% delle emissioni di CO<sub>2</sub>, e una diminuzione del valore U da 2,0 W/m<sup>2</sup>K a 0,2 W/m<sup>2</sup>K (per l'involucro opaco) fino a spessore 25 mm, e da 3 W/m<sup>2</sup>K a 0,5 W/m<sup>2</sup>K (per l'involucro trasparente)

Sei industriali e quattro di ricerca partner sulla base di sette paesi dell'Unione Europea si riuniranno per progettare nuove soluzioni in grado di essere prodotto in serie.

Lo sviluppo di una schiuma polimerica nanostrutturata ad alte prestazioni, con un elevato potere isolante, bassa conduttività termica, migliori proprietà di resistenza (meccanica, al fuoco e all'umidità) e prodotta con biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>) supercritico, un agente a basso potenziale di riscaldamento mondiale, è l'obiettivo del progetto NANOFOAM<sup>51</sup> (*New nano-technology based high performance insulation foam system for energy efficiency in buildings*).



Le attività di ricerca sviluppate all'interno del progetto hanno riguardato:

- Attività di test del prodotto a scala reale (camere di laboratorio o abitazioni reali) per valutare la conformità di questa tecnologia rispetto agli standard attuali e ambientali, e rispetto alle normative sanitarie e di sicurezza;
- La valutazione degli aspetti di natura tecnica, economica e ambientale nell'ipotesi di una diffusione del prodotto sul mercato per la sua applicazione nel settore delle costruzioni in interventi di nuova costruzione e nel recupero edilizio.

Obiettivo principale del progetto era la formulazione di un processo chimico di laboratorio per la produzione di nanoschiuma con dimensione dei pori circa 100 nm, porosità distribuita uniformemente superiore all'85%, e valori di conducibilità termica  $\lambda$  notevolmente inferiori rispetto agli isolanti di tipo tradizionale.

Il team di ricerca ha progettato e realizzato un dispositivo per la formazione di schiuma in grado di mescolare polimeri fusi con alte concentrazioni di CO<sub>2</sub> supercritico. Inoltre, sono stati sviluppati due metodi per prevedere la conduttività radiativa delle schiume opacizzate che promettono bene grazie alla loro capacità di ridurre il trasferimento di calore radiativo. I modelli sono stati testati e validati rispetto a dati sperimentali su schiume in micro scala e senza l'uso di opacizzanti.

---

<sup>50</sup> <http://www.nanoinsulate.eu/>

<sup>51</sup> <http://www.nanofoam.eu/>

I modelli e le tecniche sperimentali e di misurazione sviluppati all'interno di NANOFOAM hanno dato un importante contributo per capire e caratterizzare materiali e processi per produrre schiume isolanti nano-strutturate che costituiranno le basi per la ricerca futura e lo sviluppo continuo.

## **PARTE II - FASE DI ANALISI**

---



## **Cap.II.1 Metodi di prova e strumenti di misura delle prestazioni energetiche dei prodotti edilizi**

Ad oggi la valutazione delle prestazioni energetiche delle tecnologie di parete utilizzate come soluzione di involucro in edifici a scala reale avviene in larga parte mediante prove sperimentali condotte in laboratorio per la caratterizzazione termica in regime stazionario dei componenti edilizi.

A tale scopo gli organismi di normazione internazionali ed europei hanno sviluppato una serie di procedure di prova normalizzate da eseguire in laboratorio.

Tali prove, eseguite nel rispetto delle disposizioni normative tecniche valide a livello nazionale ed europeo, pur garantendo un buon livello di accuratezza dei risultati e la ripetibilità dei test, non tengono conto della variabilità delle condizioni al contorno nell'applicazione reale della soluzione esaminata su un edificio a scala reale. Per queste ragioni, risulterebbe più ragionevole ricorrere a prove in situ per testare il comportamento dinamico del componente in condizioni operative reali.

Le difficoltà connesse allo svolgimento dell'attività di monitoraggio per l'analisi delle prestazioni energetiche di edifici a scala reale sono molteplici e di difficile soluzione, tanto più nel caso di organismi edilizi complessi caratterizzati da dimensioni elevate in termini di Volume lordo riscaldato e Superficie esterna dell'involucro, e da numerose altre variabili difficilmente prevedibili, prima fra tutte il comportamento degli utenti che interagiscono/agiscono con/sul sistema.

In tali casi, un'indagine estesa a tutto il complesso risulta estremamente dispendiosa, sia in termini di risorse, sia in termini di costi legati all'uso e alla gestione delle strumentazioni necessarie al monitoraggio.

La valutazione delle performance energetiche degli edifici basata su outdoor test può contribuire in maniera significativa alla riduzione dell'incertezza dei risultati determinata da queste variabili aleatorie, specie se usata in maniera congiunta a strumenti di simulazione dinamica.

Ai fini del presente lavoro di tesi, che si pone come obiettivo quello di stabilire una procedura di prova per la determinazione delle prestazioni termofisiche di sistemi di involucro testati mediante Test Cell UNIFI, il campo di indagine è stato circoscritto alla valutazione del comportamento termico dei componenti di parete in regime invernale.

Le ragioni per cui si è intrapresa questa direzione sono esplicitate di seguito:

1. La Test Cell UNIFI è uno strumento di misura capace di valutare le prestazioni termiche ed energetiche, in regime dinamico, di componenti edilizi tradizionali - come pareti, finestre e porte - e sistemi tecnologici innovativi, come ad esempio pareti che integrano impianti e/o sistemi solari attivi per la produzione energetica. Tuttavia trattandosi di uno strumento ancora in fase di sviluppo, il campo di indagine si focalizzerà sulla determinazione delle prestazioni termiche dell'involucro in ragione delle soluzioni di isolamento termico impiegate, gettando le basi per eventuali ricerche

e sviluppi futuri su questioni più complesse per le quali è richiesta una consolidata esperienza nell'uso del laboratorio di prova.

2. Il laboratorio di prova attualmente è dotato solo dell'impianto di riscaldamento per la conduzione di prove in periodo invernale. In futuro si prevede di dotare il sistema anche di un impianto di refrigerazione per prove in regime estivo, ma dalle esperienze riportate in altri contesti europei, sussistono non poche difficoltà nella gestione delle prove spesso dovute a malfunzionamenti dell'impianto stesso.

In questo capitolo definiremo i metodi di prova e i principali strumenti di misura utilizzati per la caratterizzazione termofisica di materiali e componenti per edilizia, suddividendo la trattazione in due parti:

- *Metodi di prova a regime stazionario*, si riferiscono a prove condotte all'interno di laboratori di misura o mediante strumenti di calcolo regolamentati dalle normative tecniche UNI EN ISO. Garantiscono un buon livello di accuratezza dei risultati e la ripetibilità dei test alle medesime condizioni, e la durata della prova avviene in tempi brevi. Tuttavia consentono di indagare solo parzialmente le reali prestazioni del componente testato poiché trascurano gli effetti dovuti alla variabilità delle condizioni climatiche esterne e reali, non tenendo conto delle variazioni periodiche delle temperature, dell'umidità e del contributo della radiazione solare nell'arco delle 24h.
- *Metodi di prova a regime dinamico*, si riferiscono a prove condotte all'aperto che indagano il comportamento prestazionale in transitorio del singolo componente edilizio, dal quale dipendono le condizioni ambientali interne agli edifici (comfort indoor). Il provino viene sottoposto alle sollecitazioni termiche e climatiche esterne e reali variabili periodicamente nell'arco delle 24h. Le prove sono caratterizzate da tempi più lunghi (variabili da 3 settimane a 1 anno) e non sono in grado di garantire la ripetibilità del test alle medesime condizioni al contorno, tuttavia sono in grado di descrivere e di prevedere il comportamento dinamico che la soluzione esaminata avrà in condizioni operative reali una volta applicata su un edificio a scala reale.



### **II.1.1 Metodi di prova a regime stazionario: la normativa tecnica di riferimento**

L'involucro edilizio gioca un ruolo fondamentale per il bilancio energetico di un edificio, pertanto la valutazione delle caratteristiche termiche di ogni componente richiede un alto livello di precisione.

In generale, per tutti i prodotti per edilizia costituiti da materiali omogenei o elementi multistrato la cui geometria e le proprietà termofisiche possono portarci a ritenere che il flusso di calore che le attraversa sia unidimensionale, la trasmittanza termica può essere determinata a partire dalla conducibilità termica di ogni singolo strato che compone il pacchetto, valori che sono forniti dai produttori o possono essere misurati attraverso semplici banchi prova, come la piastra calda con anello di guardia.

Nell'ipotesi in cui i componenti non possono essere trattati come strutture omogenee, o quando il trasferimento di calore è bi o tridimensionale, è necessario ricorrere a prove più articolate per valutare con precisione la resistenza termica degli elementi.

In molti casi la valutazione attraverso l'uso di metodi di analisi numerica può rappresentare una soluzione, ma in ogni caso tali metodi devono essere validati attraverso prove sperimentali.

Di seguito vengono illustrati i principali metodi di prova eseguiti in laboratorio per la determinazione delle caratteristiche termiche di materiali e componenti per l'edilizia secondo gli standards dettati dalle normative tecniche.

**Metodi di prova per la determinazione delle proprietà di trasmissione termica di componenti edilizi in regime stazionario**

**DOPPIA CAMERA CON ANELLO DI GUARDIA (GUARDED HOT-BOX)**

**Normativa tecnica di riferimento**

**UNI EN ISO 8990:1999**

**Titolo : Isolamento termico - Determinazione delle proprietà di trasmissione termica in regime stazionario - Metodo della doppia camera calibrata e della doppia camera con anello di guardia**

La presente norma è la versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN ISO 8990 (edizione agosto 1996). La norma specifica i principi per la progettazione dell'apparecchiatura ed i requisiti minimi che devono essere soddisfatti per la determinazione in laboratorio della proprietà di trasmissione termica in regime stazionario di componenti per edilizia e di componenti simili per uso industriale. Essa descrive inoltre le apparecchiature, le tecniche di misurazione ed i dati da indicare nel resoconto di prova.

**UNI EN ISO 12567-1:2010**

**Parte 1: Finestre e porte complete**

**Titolo : Isolamento termico di finestre e porte - Determinazione della trasmittanza termica con il metodo della camera calda - Parte 1: Finestre e porte complete**

La presente norma è la versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN ISO 12567-1 (edizione luglio 2010) e tiene conto dell'errata corrige di novembre 2010 (AC:2010). La norma specifica un metodo per misurare la trasmittanza termica di una porta o finestra. Essa tiene conto degli effetti dei telai, dei telai scorrevoli, delle imposte, delle ante delle porte e dei montaggi.

**UNI EN 12412-2:2004 Telai**

**Titolo : Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - Determinazione della trasmittanza termica con il metodo della camera calda – Telai**

La presente norma è la versione ufficiale in lingua inglese della norma europea EN 12412-2 (edizione luglio 2003). La norma specifica un metodo, basato sulle EN ISO 8990 e EN ISO 12567- 1, per misurare la trasmittanza termica dei telai fissi e mobili di porte e finestre, inclusi montanti e traversi.

La norma UNI EN ISO 8990:1999 specifica le linee guida e i criteri per la progettazione dell'apparecchiatura (*guarded hot-box e calibrated hot box*) ed i requisiti minimi che devono essere soddisfatti per la determinazione in laboratorio della proprietà di trasmissione termica in regime stazionario di componenti per edilizia e di componenti simili per uso industriale. Essa descrive inoltre le apparecchiature, le tecniche di misurazione ed i dati da indicare nel resoconto di prova.

Il provino viene collocato come elemento divisorio tra due camere che sono sottoposte a due temperature diverse costanti in condizioni stazionarie. La resistenza termica del campione è determinata mediante la misura della potenza termica necessaria per mantenere la camera calda ad una temperatura costante e si misura il flusso di calore che attraversa la parete sottoposta ad una differenza di temperatura tra la superficie fredda e quella calda.

La norma fa riferimento a due tipologie diverse di apparato per la prova: la doppia camera calda con anello di guardia (*guarded hot box*) e la doppia camera calibrata (*calibrated hot box*).

Si tratta di apparecchiature di laboratorio ampiamente utilizzate per i vari tipi di misurazioni, e i primi dispositivi di questo tipo furono introdotti nei primi anni '70 per testare sezioni di parete di grandi dimensioni di tipo massivo. Solo successivamente, venne riconosciuto il grande potenziale di questi apparati per la verifica e il test delle caratteristiche termiche di materiali disomogenei e di sistemi finestrati.

Il primo sistema consiste in una doppia camera guardiata costituita da due camere delle stesse dimensioni all'interno delle quali sono ospitati tutti i sensori e le strumentazioni di monitoraggio. Le pareti di entrambe le camere sono realizzate con gli stessi materiali.

Durante le prove, le singole temperature interne delle due camere sono mantenute costanti grazie ad un sistema di riscaldamento per la camera calda e un sistema di raffreddamento per la camera fredda.



Fig.II.1. Doppia camera con anello di guardia- Laboratorio INTENT. Fonte EURAC.

Nella versione con anello di guardia, la camera di misura è circondata dalla camera di guardia che è mantenuta alla stessa temperatura di quella di misura. Poiché i due volumi si trovano alla stessa temperatura, è possibile trascurare gli effetti dovuti alla perdita di calore verso l'esterno attraverso l'involucro della camera calda<sup>52</sup>. In queste condizioni tutto il calore generato dalla potenza elettrica per riscaldare la camera di misura attraversa il campione e la trasmittanza termica U viene valutata attraverso la relazione:

$$U=P/A*(T_c - T_f)$$

P = potenza termica dissipata nella camera di misura (W);

A = area della camera di misura (m<sup>2</sup>);

(T<sub>c</sub> - T<sub>f</sub>) = salto di temperatura tra le due camere (K).

Normalmente la trasmittanza termica U viene corretta per ricondursi alle resistenze superficiali di norma. Se la parete è mediamente omogenea (ovvero le differenze di temperatura superficiale sono inferiori al 20% del salto di temperatura) è possibile misurare la resistenza termica mediante la relazione:

$$R=A(T_{sc} - T_{sf})/P$$

(T<sub>sc</sub> - T<sub>sf</sub>) = salto di temperatura tra le superfici del campione in prova (K).

Il secondo metodo si basa sull'uso della doppia camera calibrata, ovvero un apparato sprovvisto della camera di guardia in cui la parete di prova è posta come elemento di separazione tra la camera calda e la camera fredda, all'interno delle quali la temperatura è nota ma, essendo la camera di misura circondata direttamente dall'ambiente del laboratorio, nella misurazione dei parametri durante il test, non è possibile trascurare il flusso termico disperso attraverso le pareti della camera e il laboratorio esterno, pertanto tale flusso di calore viene valutato attraverso il salto termico esistente sulle sue pareti, dopo opportune calibrazioni.

Questo apparato, così come è configurato consente di eseguire un'analisi termica anche di campioni più grandi rispetto al metodo precedente.

---

<sup>52</sup> J.H. Klems, A calibrated hot box for testing window systems – Construction calibration and measurements on prototype high-performance windows, in: Proceedings of ASHRAE/DOE-ORNL Conference on Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings, Kissimmee (Florida), 1979, pp. 338–346. Nel documento vengono definite le linee guida generali per la costruzione hot box e viene introdotto un protocollo di calibrazione per misurare le dispersioni di calore attraverso le pareti della camera calda verso l'esterno che possono determinare errori e imprecisioni nella misura.

In riferimento alla norma EN ISO 8990 , durante la prova, condotta in condizione stazionarie, bisogna verificare la seguente equazione di bilancio termico:

$$Q_S = Q_{in} + Q_f - Q_{h_{cw}} - Q_{SP} - Q_{SP, fl, freddo} - Q_{SP, fl, fuori} - Q_{S, fl}$$

$Q_S$  è il flusso di calore attraverso il campione;

$Q_{in}$  è il calore fornito alla camera di misura per mantenere le condizioni di regime stazionario;

$Q_f$  è il calore rilasciato dalla ventola;

$Q_{h_{cw}}$ , è il flusso di calore trasferito dalla camera calda verso l'ambiente esterno attraverso le pareti della scatola;

$Q_{SP}$  è il flusso di calore che attraversa il pannello di supporto;

$Q_{SP, fl, freddo}$  è il flusso di calore dalla camera di misura alla camera fredda dovuto alle perdite di bordo del pannello di supporto;

$Q_{SP, fl, fuori}$ , è il flusso di calore dalla camera di misura verso l'ambiente esterno dovuto alle perdite di bordo del pannello di supporto;

$Q_{S, fl}$ , è il flusso di calore a causa delle perdite di bordo del campione.

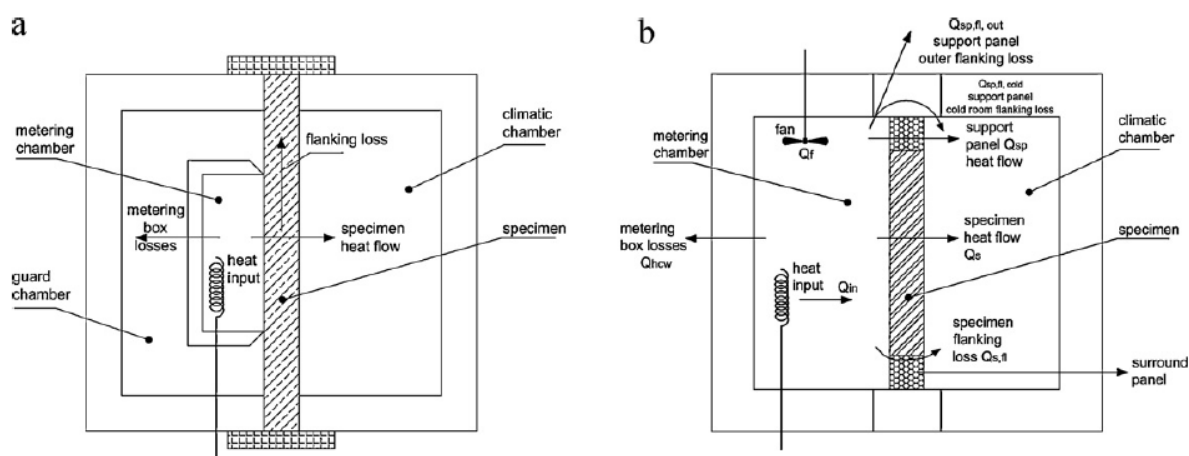


Fig.II.2. Schema di funzionamento della doppia camera con anello di guardia (a) e una doppia camera calibrata(b). Fonte: Energy and Buildings.

Determinato il valore di  $Q_S$ , la trasmittanza termica  $U$  del provino viene valutata attraverso la relazione:

$$U = Q_S / A_s * (T_c - T_f)$$

Relativamente alla determinazione del valore di  $Q_{h_{cw}}$ , la norma UNI EN ISO 8990:1999 non contiene alcuna indicazione, contrariamente a quanto riportato invece nella norma ASTM C1363-05 che riporta un metodo analitico per il calcolo delle perdite di calore attraverso le pareti della camera calda verso l'esterno (Allegato 3) e una procedura di calibrazione più precisa (allegato A2 e allegato A6).

A seguito di tale procedura, quando le temperature della camera calda e di quella fredda sono costanti, è possibile ottenere diversi valori di  $Q_{hcw}$ ,  $Q_{S, fl}$  e  $Q_{SP, fl}$ , in corrispondenza di un intervallo di temperature ambientali.

Per quanto riguarda il  $Q_{S, fl}$ , la norma EN ISO, nel caso di misure in camera calda su sistemi finestrati, fornisce i valori tabulati nell'allegato B in funzione delle proprietà geometriche della finestra e della conducibilità termica del pannello di supporto.

## **Metodi di prova per la determinazione della conducibilità termica e resistenza termica di materiali edilizi in regime stazionario**

### **METODO DEI TERMOFLUSSIMETRI (HEAT FLOW METER APPARATUS)**

#### **Normativa tecnica di riferimento**

**ISO 8301:1991**

**Titolo: Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus**

La norma definisce l'uso del metodo termoflussimetro per misurare il trasferimento di calore in regime stazionario attraverso campioni lastra piana e il calcolo delle sue proprietà di trasferimento del calore.

### **PIASTRA CALDA CON ANELLO DI GUARDIA (GUARDED HOT PLATE APPARATUS)**

#### **Normativa tecnica di riferimento**

**ISO 8302:1991**

**Titolo: Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties- Guarded hot plate apparatus**

La norma definisce l'uso del metodo piastra calda con anello di guardia per misurare il trasferimento di calore in regime stazionario attraverso campioni lastra piana e la procedura di calcolo delle sue proprietà di trasferimento del calore.

**UNI EN 1946-2:2001**

**Titolo: Prestazioni termiche di prodotti e componenti per l'edilizia - Criteri specifici per la valutazione di laboratori di misura delle proprietà di scambio termico - Misurazioni mediante l'apparecchiatura a piastra calda con anello di guardia.**

La norma fornisce criteri tecnici specifici per la valutazione dei laboratori che effettuano le misure delle caratteristiche di trasmissione di calore in regime stazionario mediante il metodo della piastra calda con anello di guardia. Essa completa i criteri comuni della parte 1. Vengono date indicazioni sull'organizzazione e i contenuti del manuale dell'attrezzatura, degli archivi di taratura e manutenzione e del documento del procedimento di misurazione. Fornisce informazioni sulle specifiche obbligatorie delle prestazioni dell'apparecchiatura, la descrizione dell'apparecchiatura e sui calcoli per la progettazione dell'apparecchiatura e l'analisi degli errori; sui procedimenti sperimentali adatti per la valutazione dell'accuratezza dell'apparecchiatura.

Sono entrambi due strumenti di misurazione largamente utilizzati nei laboratori di prova industriali per la verifica della qualità dei materiali isolanti a bassa a media conducibilità termica (schiume, solidi e tessuti) e misurare la conducibilità termica e della resistenza termica di campioni solidi piani.

Sono impiegati per determinare la conduttività termica di materiali omogenei o per determinare la resistenza termica di prodotti costituiti dalla sovrapposizione di più strati superficialmente omogenei (cioè privi di ponti termici).

Il *metodo dei termoflussimetri* prevede l'inserimento di un campione quadrato con uno spessore ben definito (solitamente 30 - 60 cm di lunghezza e larghezza e fino a 10 cm di spessore) tra due piastre, e si stabilisce un gradiente di temperatura fissa. Il flusso di calore attraverso il campione viene misurato con sensori di flusso termico tarati, posti a contatto con il campione all'interfaccia con le piastre. La conducibilità termica è determinata misurando lo spessore, il gradiente di temperatura e il flusso di calore attraverso il campione.

Il flusso termico viene determinato misurando il salto di temperatura che si genera su uno strato di materiale calibrato ( un resistore termico in condizioni stazionarie) posto in serie al campione in prova. In base ai valori di resistenza termica dei prodotti, vengono applicate due diverse norme, la UNI EN 12667 e la UNI EN 12664.<sup>53</sup>

A seconda del tipo di apparecchiatura utilizzata, è possibile effettuare i test in un range di temperatura tra -20 e 100 °C. I vantaggi di questo metodo includono maneggevolezza, i risultati dei test accurati e misure veloci, mentre gli svantaggi sono la temperatura limitata e il campo di misura.

Il metodo dei termoflussimetri è usato soprattutto per testare materiali isolanti con una bassa conducibilità termica (0,005 e 0,5 W/mK) e di piccolo spessore.

Queste limitazioni sussistono in ragione del fatto che, nel metodo dei termoflussimetri convenzionale, si assume che la conduzione del calore sia monodimensionale, e che gli altri meccanismi di trasferimento di calore (per convezione o irraggiamento) attraverso il campione testato siano trascurabili. Questa assunzione è ragionevole se il provino ha una sezione trasversale molto sottile nella direzione del flusso in rapporto alla superficie del provino della sezione trasversale.



Fig.II.3. Immagine di un conduttivimetro (heat flux meter apparatus) per la conduzione di test su campioni di prodotti isolanti. Laboratorio ENEDI Therm di Vitoria Gasteiz, Pais Vasco.

<sup>53</sup> La differenza fondamentale tra le due norme riguarda le modalità di misura del salto di temperatura attraverso il campione.



Il metodo della piastra calda con anello di guardia è comunemente utilizzato per determinare la conducibilità termica di materiali come vetro, ceramiche, polimeri e isolanti. Si utilizza per campioni più grandi, con valori di conducibilità termica più elevati, che richiedono un intervallo di misurazione più ampio. Il principio di misura è simile a quello di un convenzionale conduttivimetro ma con alcune differenze. L'elemento scaldante è posizionato nel centro tra due campioni dello stesso materiale: questa configurazione simmetrica garantisce un flusso di calore simmetrico verso l'alto e verso il basso, nonché un completo assorbimento da parte dei campioni di prova dell'energia termica prodotta dal riscaldatore.

Entrambi i provini sono disposti tra una piastra calda e una fredda.

La sezione di misura è circondata da un anello di guardia posto tutto intorno alla piastra riscaldante centrale, ed è mantenuto alla sua stessa temperatura in modo da assicurare che il calore generato dalla piastra calda passi solo attraverso il provino generando un flusso termico monodimensionale attraverso il campione in prova. Questa configurazione consente di eseguire le prove in un range di temperatura più ampio rispetto al metodo precedente. La potenza elettrica della piastra calda durante la prova è nota: misurando la potenza dissipata dalla piastra centrale, il gradiente di temperatura e lo spessore dei due campioni, la conducibilità termica può essere determinata secondo l'equazione di Fourier.

La conducibilità termica è data dalla relazione seguente:

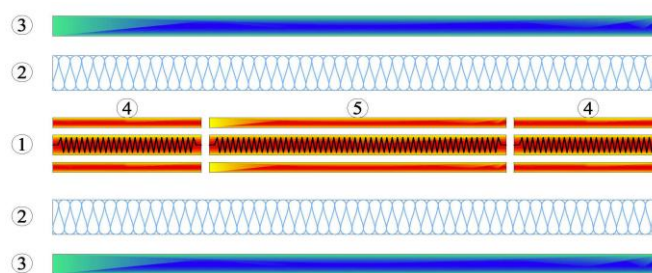
$$\lambda = P \cdot s / A (T_c - T_f)$$

P = potenza elettrica dissipata dall'elemento centrale (W);

A = area dell'elemento centrale (m<sup>2</sup>);

s = spessore del campione in prova (m);

(T<sub>c</sub>-T<sub>f</sub>) = differenza di temperatura (K) tra la superficie calda e la superficie fredda del campione in prova.



**LEGENDA**

1- Elemento riscaldante

2- Campione in prova

3- Elemento raffreddante

4- Anello di guardia

5- Elemento centrale

Fig. II.4. Schema di funzionamento della piastra calda con anello di guardi. Fonte Istituto Giordano.

I vantaggi di questo secondo metodo rispetto al metodo dei termoflussimetri riguarda la possibilità di ampliare il range di temperatura durante la prova e di aumentare il campo di misura (fino a 2 W/ mK). Inoltre, la piastra calda con anello di guardia è una tecnica che non richiede alcuna calibrazione dell'apparecchiatura.

In relazione alle prove di laboratorio per la caratterizzazione delle prestazioni termiche di materiali per l'edilizia, l'ANIT (Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e acustico) ha di recente condotto un'indagine sulle modalità di valutazione delle prestazioni di materiali e sistemi per l'isolamento termico in accordo con la normativa tecnica in rapporto all'esigenza di sensibilizzare i professionisti di settore verso scelte consapevoli dei prodotti presenti sul mercato da un punto di vista tecnico senza fare affidamento a sponsor e politiche di marketing che offrono materiali e prodotti dalle proprietà "miracolose".

Obiettivo primario per una trasparenza della qualità dei prodotti disponibili sul mercato è l'uniformità dell'informazione e di conseguenza il confronto tra i prodotti mediante l'adozione dei metodi di prova normalizzati da eseguirsi in laboratorio.

La seguente tabella riporta una sintesi comparativa tra i diversi metodi di prova illustrati specificando per ciascuno i valori di incertezza dei risultati restituiti al termine della prova.<sup>54</sup>

Metodo di misura		Riferimento normativo	Incertezza tipica	Fonte
Piastra calda con anello di guardia	$\lambda$	UNI EN 12664 UNI EN 12667 ISO 8302	$\pm 2\%$	UNI EN 12664 - par. 5.2.8 UNI EN 12667 - par. 5.2.8
Termoflussimetri	$\lambda$	UNI EN 12664 UNI EN 12667 ISO 8301	$\pm 3\%$	UNI EN 12664 - par. 5.3.5 UNI EN 12667 - par. 5.3.5
Camera calda guardiata o calibrata	U	UNI EN ISO 8990	$\pm 5\%$	UNI EN ISO 8990 - par. 1.1
Camera calda con termoflussimetri	U	UNI EN 1934	$\pm 7\%$	Dati di laboratorio
Misura in campo mediante termoflussimetri	$R_t$	ISO 9869-1	$\pm 14\%$ e $\pm 28\%$	ISO 9869-1 – par. 9
Misura della resistenza termica di un componente edilizio attraverso misure di consumi energetici in campo		metodi non normalizzati	In genere superiore al 50% ma può essere molto superiore.	Valore desunto sulla base di misure effettuate in campo da laboratori differenti.

Tab.III. 1. Tabella comparativa dei valori di incertezza tipica delle misure termiche secondo diversi metodi di prova. (Fonte: ANIT).

<sup>54</sup> La corretta valutazione dell'isolamento termico per il risparmio energetico in edilizia, ANIT, Maggio 2015

## II.1.2 Metodi di prova a regime dinamico: Outdoor Test

Gli outdoor test sono prove di monitoraggio che vengono eseguite all'aperto in condizioni climatiche reali.

Gli impianti di prova impiegati per eseguire questo tipo di prova possono essere definiti come strutture ad uso sperimentale destinate allo studio e all'analisi del comportamento energetico di componenti edilizi, sistemi tecnologici, e interi edifici a scala reale in risposta alle condizioni al contorno esterne e reali.

Si tratta di strutture caratterizzate da un elevato grado di controllo delle condizioni ambientali interne, da un sistema costruttivo che risponde a specifiche esigenze per garantire un buon risultato della prova e dotate di un complesso sistema di monitoraggio in grado di registrare le variazioni delle condizioni climatiche ed ambientali esterne ed interne alla camera di prova.

Le prime test facilities realizzate in ambito europeo, furono costruite con lo scopo principale di utilizzare i risultati dei test per la valutazione delle prestazioni termiche di componenti edilizi per la validazione dei codici di calcolo di programmi di simulazione utilizzati in ambito scientifico per simulare il comportamento energetico di interi edifici.<sup>55</sup>

I test possono essere effettuati su componenti opachi e trasparenti, su sistemi tecnologici di parete avanzati a scala reale; in alcuni casi i laboratori consentono anche di eseguire prove su sistemi di copertura piani, inclinati, ecc.

Inoltre, alcune test facilities sono installate su dispositivi rotanti per testare componenti edilizi secondo diversi orientamenti o inclinazioni, a volte in modo automatizzato rispetto al movimento del sole mediante dispositivi ad inseguimento solare.

I risultati dei test sono utilizzati per valutare la validità di modelli matematici di previsione del comportamento fisico del componente o per la caratterizzazione delle performance energetiche e/o termoigrometriche del componente di prova in condizioni climatiche reali.

Alla luce dell'interesse espresso dalla comunità scientifica internazionale sul tema della valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici sulla base di prove outdoor eseguite in regime dinamico su componenti a scala reale, all'interno del programma internazionale di ricerca dell'AIE EBC Annex 58 (2011-2015) è stato istituito un network di collaborazione tra numerosi e importanti istituti e centri di ricerca con l'obiettivo di sviluppare le conoscenze necessarie, gli strumenti e le reti per definire metodologie comuni di prove dinamiche outdoor e di analisi dei dati affidabili che potessero risultare utili alla valutazione delle prestazioni energetiche effettive di componenti di involucro e interi edifici.

Nei paragrafi che seguono si riportano le esperienze di ricerca più significative condotte a livello europeo e nazionale.

---

<sup>55</sup> P.A. Strachan, P.H. Baker, *Outdoor testing, analysis and modelling of building components*. Building and Environment, 43, 2008. pp. 127-128. ISSN 0360-1323

### II.1.2.1 Sviluppi delle ricerche in ambito europeo

Le esperienze riportate nel presente paragrafo riguardano le attività di sperimentazione mediante outdoor test facilities condotte dai partners del network Annex 58 nel corso degli ultimi anni.

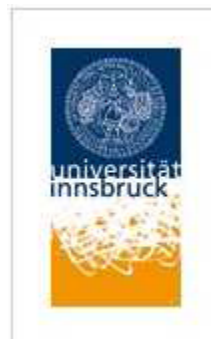
Questa raccolta di casi studio è stata realizzata in continuità con l'indagine già avviata nella tesi di dottorato dell'Ing. Alcamo, in cui sono stati presi in esame alcuni esempi di test facilities secondo un approccio esigenziale-prestazionale, definendo i criteri di valutazione sulla base dei quali sono stati identificati i punti di forza e le criticità di ciascun caso sotto il profilo tecnologico-costruttivo per definire i criteri progettuali ed energetici della Test Cell UNIFI.

Nel presente lavoro di analisi, si focalizza l'attenzione sulla metodologia adottata per l'esecuzione delle prove outdoor: per ciascun caso si riporta una descrizione del laboratorio di prova, delle attrezzature di monitoraggio, del sistema di acquisizione e analisi dei dati, e le esperienze di studi e campagne di monitoraggio su componenti di prova sviluppate negli ultimi anni o tuttora in corso.<sup>56</sup>

---

<sup>56</sup> IEA EBC Annex 58 Subtask 1, *Inventory of full scale test facilities for evaluation of building energy performances*, 2015.

## TEST SILTE UIBK INNSBRUCK



Università di Innsbruck  
Unità: Energy Efficient Buildings

### DESCRIZIONE GENERALE

La test site UIBK è costituito da due test cells (una PAS e una PASSYS) che consentono di eseguire outdoor test per la caratterizzazione delle performance termiche e illuminotecniche di componenti edilizi passivi e attivi, prodotti per l'illuminazione artificiale e dispositivi di controllo attivo.

Entrambe le test cells sono dotate di un sistema a scorrimento su binario per il posizionamento di una "Cold-Box" davanti al componente di prova per eseguire prove in regime stazionario qualora richiesto.

La temperatura interna può essere controllata in un range di 5 a 45 °C attraverso un impianto di riscaldamento elettrico e un impianto di raffreddamento idronico che utilizza il ricircolo di un'unità di trattamento dell'aria.

Le prove possono essere condotte a regime dinamico, considerando la variabilità delle condizioni climatiche outdoor durante la prova, oppure possono essere condotte a regime stazionario, mantenendo la temperatura esterna costante mediante l'applicazione della Cold Box in un range compreso tra -15 °C a 45 °C. Le due test cell sono dotate inoltre di un sistema di deumidificazione e ventilazione dell'aria interna, consentendo di eseguire le prove in differenti condizioni termoigrometriche.

Risulta interessante la collaborazione con i dipartimenti di medicina per eseguire prove sul comfort termico e visivo indoor.

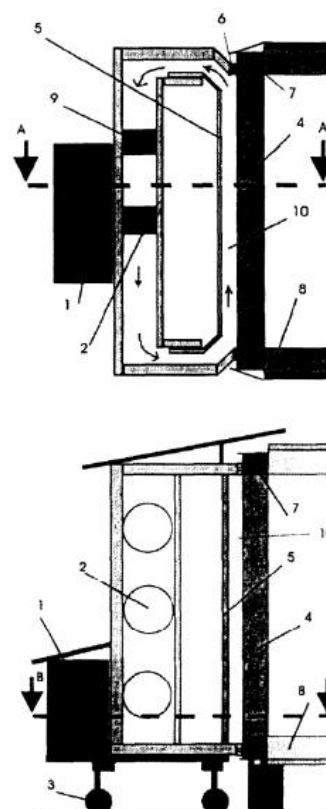


Fig.II.5. Schema di installazione della Cold Box (sezione orizzontale e verticale).

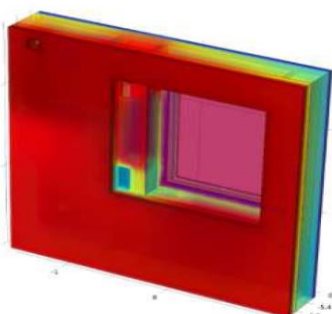


Fig.II.6. Vista del componente di prova con micro pompa di calore integrate e vista 3D del modello di calcolo del flusso di calore (Project iNSPiRe)

## II SISTEMA DI MONITORAGGIO E ACQUISIZIONE DATI

Il sistema è dotato di sensori di temperatura superficiale (Termocoppie Ni-CrNi), sensori di temperatura ambientale (Pt100), sensori di umidità, termoflussimetri e sensori di velocità dell'aria.

L'intervallo di registrazione dei dati è 10 minuti per misure standard (si usa una risoluzione più elevata per misure particolari).

L'analisi dei dati di output avviene viene analizzato con gli script MATLAB basati sul Optimization Toolbox oppure con il Software LORD per la determinazione dei valori di trasmittanza U e del fattore solare g dei componenti.

## PROJECT INSPIRE (EU, FP7)

Nell'ambito del progetto EU-FP7 Inspire è stata sviluppata una tecnologia di parete che integra una micro-pompa di calore in combinazione con una ventilazione meccanica con una unità di recupero del calore (MVHR). La pompa di calore utilizza l'aria di scarico dell'unità MVHR come sorgente e fornisce calore per l'aria di alimentazione del sistema di ventilazione. Il sistema può essere utilizzato per ottenere, in modo combinato, ventilazione e riscaldamento. L'aria fresca esterna viene prelevata dall'unità MVHR, dove viene riscaldata con una efficienza di recupero di calore fino al 90%, e viene poi ulteriormente riscaldata dalla micro-pompa di calore fino al massimo 52 ° C, al fine di fornire riscaldamento di spazio. Sono previsti sviluppi futuri della tecnologia per realizzare un sistema di raffrescamento.

È stato realizzato un modello fisico dettagliato della micro pompa di calore all'interno dell'ambiente di simulazione Matlab che è stato successivamente validato utilizzando le misure ottenute su due provini funzionali montati nelle Test Cell. Il sistema sarà monitorato anche su un edificio demo Ludwigsburg, in Germania.

## THE CUBE



### DESCRIZIONE GENERALE

The Cube è un Test Cell a scala reale per prove outdoor costruita nell'autunno del 2005 nell'ambito del programma AIE ECBCS Annex 43 / SHC Task 34, Subtask E- Double Skin Facade, con la finalità di approfondire gli studi sulle prestazioni energetiche di sistemi di facciata a doppia pelle mediante lo sviluppo di test empirici per la validazione di vari software di simulazione.

Durante la prova, le condizioni al contorno nella camera di prova sono normalmente mantenute costanti: la temperatura nella camera durante l'esperienza è controllata mediante il sistema di ventilazione con l'unità di riscaldamento e raffreddamento.

La Potenza massima delle unità di raffreddamento e riscaldamento è rispettivamente 10 kW e 2 kW. Non è presente alcun controllo dell'umidità.

La facciata di prova è spostata a sud.

Le condizioni outdoor vengono monitorate misurando la radiazione solare (globale e diffusa) sul tetto dell'edificio e sulla facciata sud (totale). La velocità del vento e la direzione del vento sono valutate a 6 differenti altezze dal suolo su un palo installato di fronte all'edificio.

Di fronte alla facciata è stato posto sul terreno un grande tappeto (riflettanza 0,1) per rendere uniforme la componente della radiazione solare riflessa dal suolo. Il tappeto è realizzato di un tessuto che mantiene costante la riflettanza anche in caso di umidità e pioggia.



Università di Aalborg, Danimarca

Dipartimento di Architettura  
Dipartimento di Ingegneria Civile



Fig.II.7. Vista della Plant Room destinata agli impianti



Fig.II.8. Anemometro ad ultrasuoni per la misura della velocità del vento.

## II SISTEMA DI MONITORAGGIO E ACQUISIZIONE DATI

L'apparecchiatura standard è utilizzata per la misurazione di: condizioni climatiche outdoor (anemometri ad ultrasuoni 2D e 3D, piranometri sul tetto e al centro della facciata sud), carichi di raffreddamento e di riscaldamento, umidità e temperatura dell'aria e temperature superficiali in test room (termocoppie tipo K).

La temperatura minima dell'acqua dell'unità di raffreddamento è fissata a 12°C per evitare la formazione di condensa all'interno dell'unità.

Il flusso di massa dell'acqua fornita all'unità di raffreddamento è misurata con un flussometro (range da 0 per 1 kg/s).

L'unità di riscaldamento del sistema di ventilazione è attiva raramente nella maggior parte degli esperimenti.

Si utilizza un fan come unità termica supplementare posto in test room. Per il monitoraggio di tutti i carichi energetici legati all'uso degli impianti, tutte le unità sono collegate ad un wattmetro Norma D5255S.

## INDAGINI SPERIMENTALI E PROGETTI DI RICERCA



Fig.II.9. Primo test sperimentale condotto nel Cube. Due sistemi di facciata a confronto: facciata intelligente (sinistra), facciata tradizionale (destra).

Il primo test sperimentale è stato condotto nel 2006 per indagare le performance termiche di un sistema di facciata a doppia pelle.

Il test è stato eseguito in parallelo su due provini posti a confronto: una facciata ventilata naturalmente e una facciata a doppia pelle ventilata meccanicamente.

I dati monitorati includevano misurazioni del flusso d'aria naturale nell'intercapedine d'aria ventilata e i relativi profili di velocità.

Nel 2008 questi risultati sperimentali sono stati ampliati con l'applicazione di un dispositivo di ombreggiatura posto all'interno della cavità della facciata a doppia pelle.

Al momento sono in atto uno studio sperimentale su facciate vetrate intelligenti. Si tratta di un progetto per lo sviluppo tecnologico di una facciata adattativa per applicazioni in NZEB e per valutazioni del confort indoor degli occupanti.

Tra gli obiettivi futuri del progetto rientra lo sviluppo di algoritmi di calcolo per l'implementazione di modelli matematici del componente da introdurre all'interno di software di simulazione energetici per valutarne il comportamento a scala di edificio.



## IBP HOLZKIRCHEN TEST FACILITY



Fraunhofer Institute for Building  
Physics  
Branch Holzkirchen  
Department Energy Systems,  
Germany

### DESCRIZIONE GENERALE

IBP HOLZKIRCHEN è un impianto di prova per facciate e coperture sito a Holzkirchen, in Germania. Il principio di funzionamento è assimilabile ad un calorimetro in situ e può ruotare di 360° e può inclinarsi di 90°, quindi il provino può essere testato in diverse condizioni di orientamento e inclinazione.

L'impianto di prova viene utilizzato principalmente per determinare il coefficiente di guadagno solare (valore g) e la trasmittanza termica (valore U) del provino in condizioni climatiche reali.

Il test sul provino può essere condotto in condizioni eliostatiche, con radiazione normale alla superficie del campione per tutto il tempo della prova consentendo, ad esempio, di determinare valori specifici di guadagno solare (*Solar Heat Gain Coefficient-SHGC*) per differenti angoli di incidenza della radiazione solare (altezza solare e azimuth).

La radiazione solare sulla superficie esterna del campione viene registrata da un piranometro: nota l'energia che fluisce all'interno della camera di prova e la radiazione solare all'esterno, è possibile calcolare il coefficiente di guadagno di calore (g-value).



Fig.II.10. IBP HOLZKIRCHEN, Impianto di prova per facciate e tetti ad inseguimento solare.



## II SISTEMA DI MONITORAGGIO E ACQUISIZIONE DATI

I dati climatici esterni vengono registrati dalla stazione meteorologica centrale alla IBP Holzkirchen: radiazione globale diretta e diffusa, temperatura dell'aria esterna, umidità relativa, velocità e direzione del vento e la pressione dell'aria.

L'analisi dei dati viene effettuata mediante un software sviluppato presso IBP e ottimizzato per le esigenze della ricerca di fisica strutturale, chiamato ImedasTM.

Si tratta di un sistema supportato da un server che raggruppa tutte le informazioni del progetto e le rende disponibili ai diversi partners del progetto con l'invio in rete di moduli funzionali.

Le funzionalità assolute ImedasTM sono:

- Registrazione centralizzata dei dati e memorizzazione
- Visualizzazione in tempo reale dei dati monitorati mediante un'interfaccia grafica per l'utente
- Accesso protetto per visualizzazioni dei dati in rete.
- Collegamento tra la registrazione dei dati e sistemi di controllo
- Tutte le informazioni di sistema rilevanti vengono salvate in una banca dati di misura condivisa.

## EGUZKI and ILARGI PASLINK TEST CELLS LCCE VITORIA-GASTEIZ



### DESCRIZIONE GENERALE

Le due Test Cells PASLINK denominate EGUZKI e ILARGI sono parte dell'attrezzature di laboratorio dell'Area Termica del Laboratorio per il Controllo Qualità degli Edifici (LCCE) del Governo Basco, e sono gestite in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Industriale l'Università dei Paesi Baschi (UPV / EHU).

Le test cells sono impiegate per testare componenti di parete opachi e trasparenti e componenti di tetto e consentono, tramite un'analisi dinamica dei dati monitorati durante la prova di determinare la trasmittanza termica dell'elemento (UA) e il fattore solare (GA-value).

La camera di prova di ciascuna test cell è a tenuta stagna, e prima e dopo il montaggio del provino viene sottoposta ad un test di pressurizzazione per verificare che eventuali infiltrazioni d'aria dall'esterno possano essere trascurate durante la prova di monitoraggio. All'interno è presente un ventilatore assiale che mantiene l'aria sempre in movimento. L'impianto di riscaldamento consiste in un riscaldatore elettrico che può essere attivato e disattivato dal programma di acquisizione dati. Il consumo di potenza di entrambi i dispositivi è misurato da un trasduttore di potenza ( $\pm 0,5$  W).

Le pareti interne sono completamente rivestite da 230 sensori di flusso termico (HFS tiles).

Mediante un bilancio energetico tra l'energia fornita dal riscaldatore e il flusso di calore disperso attraverso l'involucro è possibile caratterizzare il comportamento del campione.



**EUSKO JAURLARITZA  
GOBIERNO VASCO**

Laboratory for the Quality Control  
in Buildings  
Basque Government  
Vitoria-Gasteiz,  
Basque Country, Spain



Fig.II.11. Test su un componente di facciata (parete opaca) e su un sistema di copertura (tetto verde).



Fig.II.12. Stazione meteorologica in sito per il monitoraggio dei parametri climatici outdoor.



Fig.II.13. Sistema di acquisizione e stanza di controllo dati del Laboratorio LCCE.

## II SISTEMA DI MONITORAGGIO E ACQUISIZIONE DATI

I parametri climatici esterni sono costantemente monitorati da una stazione meteorologica posta nel sito a 10 m di altezza al suolo: temperatura dell'aria, direzione e velocità del vento, pressione barometrica, umidità relativa e precipitazioni di pioggia. Ciascuna test cell è dotata di : piranometri che misurano la radiazione solare orizzontale, globale e diffusa, nel sito di prova; piranometri per la misura della radiazione solare globale nel piano del campione, sia sul piano verticale (facciate) sia sul piano orizzontale (coperture). La temperatura dell'aria viene misurata mediante termoresistenze Pt100 schermate contro la radiazione solare.

In riferimento alle misure ambientali interne, la temperatura dell'aria interna alla test room viene, misurata mediante termoresistenze Pt100 schermate in 7 punti al fine di verificare che le differenze di temperatura interna dovute alla stratificazione dell'aria all'interno della stanza siano al di sotto 0.3°C.

La temperatura superficiale interna di ciascuna parete è misurata mediante 5 termocoppie Pt100 per verificare che la distribuzione della temperatura sia uniforme su tutta la parete (eventuali differenze devono essere inferiori a 0.9°C).

Oltre a tutti questi sensori fissi, il campione da testare è di solito attrezzato con sensori di temperatura PT100 (aria e di superficie), sensori di flusso di calore, termopile, tubi di pressione, sensore di umidità relativa, termo-anemometri e misuratori di portata d'aria.

L'acquisizione e il controllo dei dati di ogni test cell è realizzata con l'ausilio di un data logger HP Agilent 34980A e di un software di controllo sviluppato dal personale del laboratorio LCCE.

I software utilizzati per l'analisi dinamica sono LORD e CTSM secondo quanto previsto dalla metodologia PASLINK.

## INDAGINI SPERIMENTALI E PROGETTI DI RICERCA

Le due test cell sono state installate al LCCE nel 2007 e le attività sperimentali hanno avuto inizio nel giugno 2009, quando la prima cella di prova (EGUZKI) è stata calibrata.

Le ricerche e le prove sperimentali eseguite nell'arco di questo periodo hanno riguardato:

- Lo sviluppo e l'analisi sperimentale di un sistema attivo di facciata ventilata che è stato testato per studiare il risparmio energetico che potrebbe essere ottenuto con l'applicazione di questa tecnologia in edifici non residenziali. L'obiettivo era quello di valutare il comportamento termico della facciata ventilata e di ottimizzare la larghezza della cavità dell'aria. L'intercapedine ventilata è stata al centro delle analisi dinamiche e i dati del monitoraggio sono stati utilizzati per calibrare un Modello CFD. Questo studio è stato sviluppato nell'ambito di un progetto di R&S coordinata finanziato dal governo spagnolo.
- Indagine sperimentale su un sistema di facciata ventilata con la pelle esterna riempita con materiale PCM, per studiare il comportamento dinamico e le prestazioni del PCM in condizioni reali, sia in estate che in inverno. Questo lavoro è stato sviluppato come un progetto di R&S finanziato dal Consiglio di Biscaglia.
- Un'azienda di prodotti da costruzione ha testato il comportamento dinamico di una malta con proprietà isolanti. Questa malta è stata applicata come rivestimento esterno su un campione di facciata tradizionale. Al termine del test è stato calcolato il valore della trasmittanza termica in condizioni reali e l'inerzia termica della parete in relazione alla sua composizione stratigrafica.
- L'indagine sperimentale su un componente finestrato dotato di un sistema di accumulo di energia solare integrato. Il componente è stato sviluppato dall'Università di Navarra come risultato di un progetto di R&S con finanziamenti pubblici. Il provino è stato testato per diversi cicli stagionali e in diverse condizioni operative fino ad ottenere i valori di UA e di Ga in funzione delle diverse condizioni di prova.



Fig.II.14. Componenti di prova testati nella Test Cell EGUZKI.

## CIEMAT PASLINK TEST CELL



The Building Component Energy Test Laboratory (LECE),  
Energy Efficiency in Buildings Unit  
CIEMAT  
Almeria, Spain

### DESCRIZIONE GENERALE

Il laboratorio LECE (Laboratorio de Ensayos Energéticos para Componentes de la Edificación), è una delle strutture incluse all'interno della "Plataforma Solar de Almeria" (PSA), ed è integrato e gestito dall'Unità di R&S sull'Efficienza Energetica degli Edifici (UIE3), Divisione Energie Rinnovabili del Dipartimento dell'Energia CIEMAT. Il laboratorio si avvale di numerose strutture sperimentali per outdoor test comprese all'interno di un grande parco all'aperto: tre Test Cell tradizionali e una Test Cell PASLINK per lo studio di componenti edilizi a scala reale, una CETeB Test Cell per prove su sistemi di copertura, un camino solare di dimensioni reali, il prototipo di un piccolo edificio di prova per lo studio di tecnologie passive integrate (Monozone Building), il prototipo di un edificio per uffici in condizioni di occupazione per studi sul confort indoor.

La Test Cell PASLINK incorpora il sistema PAS (Pseudo-adiabatico Shell) che rileva il flusso di calore attraverso l'involucro della test room mediante un sistema a termopila.

La superficie interna della test room è interamente rivestita da fogli di alluminio che rende uniforme la superficie evitando il problema dei ponti termici.

Si possono condurre prove su sistemi di facciata e su sistemi di copertura, ed è installata su un sistema a binario che consente alla test cell di ruotare di 360°, offrendo la possibilità di eseguire le prove con diversi orientamenti.



Fig.II.15. Laboratori per prove outdoor incluse nel parco sperimentale del LCCE: (dall'alto) Test Cell PASLINK, Monozone Building, Prototipo edificio per uffici.



Fig.II.16. Sensori di misura esterni ed interni: (dall'alto) piranometro, anemometro, termoflussimetro.



Fig.II.17. Test su un sistema di facciata ventilata in ceramica.

## II SISTEMA DI MONITORAGGIO E ACQUISIZIONE DATI

La maggior parte dei parametri outdoor ed indoor misurati durante i test si basano sulle specifiche definite ai protocolli PASLINK.

I parametri ambientali esterni comprendono misure di: temperatura dell'aria (termoresistenze PT100 schermate e ventilate meccanicamente), radiazione solare globale (piranometro), radiazione infrarossa (pirgeometro), velocità e direzione del vento (anemometro a ultrasuoni), potenza di riscaldamento (vattimetro), flusso di calore (termoflussimetri a parete), umidità relativa e concentrazione di CO<sub>2</sub>.

I punti di misura sul provino sono decisi per ciascun caso particolare, secondo le caratteristiche del componente e gli obiettivi della prova.

Il sistema di acquisizione dati utilizza un Compact Field Point a moduli prodotto da National Instruments. I moduli di acquisizione dati sono connessi in rete con un computer su cui i dati vengono graficizzati, registrati e gestiti mediante il software LabVIEW.

I test vengono condotti secondo i protocolli definiti dai protocolli Paslink prevedendo un pre-riscaldamento per portare la test room a regime, e successivamente variando dinamicamente la potenza del riscaldatore. Prima di ogni prova la test cell viene accuratamente sigillata per evitare eventuali infiltrazioni e si esegue una verifica della tenuta all'aria prove di pressurizzazione prima e dopo ogni test.

Le metodologie adottate per l'analisi dinamica dei dati dipendono fortemente dagli obiettivi della prova e dalle caratteristiche della tecnologia indagata: si va dai metodi di averaging a metodi dinamici. Per componenti molto semplici (pareti opache o sistemi schermanti per la radiazione solare diretta) si usa il metodo delle medie progressive, che richiede solitamente periodi di prova più lunghi.

In alcuni casi, in componenti con una bassa inerzia termica, gli effetti dovuti alle variazioni climatiche esterne non possono essere trascurati, per cui si rende necessario l'impiego di metodi di analisi dinamica parametrica lineare.

## II.1.2.2 Sviluppi delle ricerche in ambito nazionale

### HEIGHT BOX



Dipartimento di Energetica  
Università Politecnica delle Marche, Italy

#### DESCRIZIONE GENERALE

Il Dipartimento di Energetica della Facoltà di Ingegneria Energetica dell'Università Politecnica delle Marche dispone di un'area esterna per svolgere attività di sperimentazione e monitoraggio su componenti edilizi in scala reale.

Nel 2008 sono stati realizzati 8 box per condurre prove outdoor di elementi edilizi in scala reale (sistemi di facciata, di pavimentazione e di copertura) per avviare uno studio scientifico sull'attivazione della massa e l'integrazione di materiali a cambiamento di fase per l'involucro edilizio opaco.

Gli edifici sono disposti sull'area distanziati tra loro (per evitare l'ombreggiamento tra una test room e quella vicina) e con le facciate di prova orientate verso sud.

Le dimensioni di ciascun box sono contenute: si tratta di cubi delle dimensioni di 3x3,24 m in pianta e un'altezza di 3 m.

Nell'area è collocata una centralina meteo per il rilevamento dei parametri climatici esterni: temperatura e umidità dell'aria, radiazione solare globale e diretta, velocità e direzione del vento, pressione atmosferica, precipitazioni e illuminazione.



Fig.II.18. Laboratori per prove outdoor incluse nel parco sperimentale del LCCE: (dall'alto) Test Cell PASLINK, Monozone Building, Prototipo edificio per uffici.





Fig.II.19. Installazione del packaging di PCM al componente di prova.



Fig.II.20. Prove su sistema di parete passivo a guadagno solare indiretto.

## II SISTEMA DI MONITORAGGIO E ACQUISIZIONE DATI

La strumentazione permanente installata all'interno di ciascun box per il monitoraggio dei parametri ambientali interni è costituita da: termoresistenze RTD 100 per la temperatura dell'aria, termocoppie Tipo T per le temperature superficiali sulle pareti interne della camera di prova, termoflussimetri, anemometri a filo caldo per la velocità dell'aria.

Il sistema di acquisizione dati avviene mediante il collegamento dei sensori a moduli Datataker gestiti mediante il software Delogger.

I dati rilevati vengono poi elaborati in Microsoft Excel, mentre il database è gestito con Microsoft Access. Le simulazioni termodinamiche preventive vengono effettuate con Trnsys ed Energy Plus.

## INDAGINI SPERIMENTALI E PROGETTI DI RICERCA

Nel 2008 è stato condotto uno studio comparativo tra tecnologie di parete che incorporavano PCM in packaging di alluminio rispetto (con e senza intercapedine d'aria) rispetto un provino di parete di tipo tradizionale.

I box sono stati monitorati in modo continuativo durante tutto l'arco dell'anno.

Gli obiettivi della ricerca miravano a :

1. Valutare la durabilità del PCM collocato all'interno della stratigrafia del provino sottoponendolo a cicli reali di solidificazione-fusione;
2. Valutare l'efficienza e la natura degli scambi termici delle pareti irraggiate contenenti PCM tra interno ed esterno;
3. Valutare le condizioni termoigrometriche ed il comfort all'interno di edifici utilizzando PCM;
4. Confrontare le prestazioni energetico-ambientali tra edifici normali ed edifici utilizzando PCM.

L'indagine si è estesa anche allo studio del comportamento dinamico di un sistema di parete passivo a guadagno solare indiretto costituito da una superficie captante vetrata esterna, una camera d'aria e un rivestimento superficiale in PCM per l'accumulo di calore durante il giorno e il riscaldamento degli ambienti interni durante la notte.

## TWINS - Testing Windows INnovative Systems



TEBE Research Group  
Dipartimento di Energetica  
Politecnico di Torino, Italy

### DESCRIZIONE GENERALE

TWINS - Testing Windows INnovative Systems , è un impianto di prova sperimentale per outdoor test messo appunto dal Dipartimento di Energetica del Politecnico di Torino nel 2004 per condurre ricerche nel campo delle facciate trasparenti attive.

L'impianto sperimentale è costituito da due camere di prova su cui vengono effettuate prove dinamiche tra due sistemi di parete trasparenti messi a confronto: uno nella sua configurazione tradizionale, l'altro con l'applicazione della tecnologia innovativa oggetto di studio.

Il sistema TWINS, grazie a circa 70 sensori collegati ad un datalogger, permette il monitoraggio in continuo dei flussi termici, della distribuzione delle temperature superficiali e dell'aria e delle portate di ventilazione dei componenti di prova installati. I parametri operativi e le condizioni di monitoraggio possono essere controllati e modificati su un ampio campo di valori.

Tra i progetti di ricerca sviluppati grazie al sistema TWINS il più interessante riguarda lo sviluppo di una nuovo concept di facciata per edifici NZEB: il modulo ACTRESS (ACTIVE RESponsive and Solar)

## Cap.II.2 La Test Cell UNIFI e il Progetto Abitare Mediterraneo

Il Sistema ABITARE Mediterraneo è nato da un progetto di ricerca sviluppato dal Dipartimento di Architettura DIDA dell'Università di Firenze in sinergia con 12 aziende toscane per la realizzazione di un sistema in cui *innovazione tecnologica e qualità architettonica* trovassero reale applicazione nelle diverse fasi del processo edilizio, per progettare e costruire in chiave di *sostenibilità energetico-ambientale ed eco-efficienza*.

Il progetto è stato finanziato dalla Regione Toscana nell'ambito del POR CREO FESR 2007-2013 e le attività sono state coordinate dal Centro Interuniversitario ABITA, organismo di ricerca che da anni promuove, organizza e sviluppa attività di ricerca e di formazione sui temi della sostenibilità e del risparmio energetico in architettura.

I gruppi di lavoro che hanno preso parte al progetto sono stati guidati dal responsabile della ricerca, Prof. Marco Sala, direttore del Centro ABITA.

La necessità di ottimizzazione dei processi produttivi e costruttivi e la promozione dello sviluppo di prodotti innovativi dal punto di vista ambientale e del risparmio energetico degli edifici, sono ormai due obiettivi imprescindibili per le aziende che vogliono inserirsi nel mercato con proposte innovative e realmente efficaci per affrontare la problematica ambientale.

In quest'ottica, obiettivo del gruppo di lavoro è quello di promuovere un'edilizia a basso impatto ambientale ed elevate prestazioni energetiche supportando le aziende nell'*improving tecnologico* di sistemi di involucro di tipo innovativo.

Cardine del Progetto ABITARE Mediterraneo è stata la proposta di una TEST CELL per il clima Mediterraneo con l'intento di soddisfare le esigenze manifestate dalle aziende del territorio toscano aderenti al progetto di testare i propri prodotti in scala 1:1 in condizioni reali.

Nell'ambito del progetto è stato dunque sviluppato il progetto per una camera di prova all'aperto di tipo innovativo attraverso cui eseguire la verifica delle prestazioni energetiche di soluzioni tecnologiche di parete a scala di "prodotto" e l'analisi delle caratteristiche termofisiche dei componenti mediante monitoraggio in *outdoor test a regime dinamico*.



La TEST CELL Unifi è un laboratorio di prova all'aperto per la misura delle prestazioni termiche ed energetiche dei prodotti di parete a regime dinamico, al variare delle condizioni climatiche esterne e reali.

Il laboratorio è dotato di due ambienti distinti:

- una camera di prova (*Test room*) in cui sono collocati tutti i sensori che rilevano costantemente le condizioni energetiche-ambientali interne durante il test su un provino;
- una stanzina annessa più piccola (*Service Room*), in cui è collocato un server per la raccolta dei dati di monitoraggio durante la prova.

I provini da testare vengono di volta in volta installati su un *frame rimovibile* che consiste in un controtelaio fisso in acciaio opportunamente fissato all'involucro in legno della test cell ed un telaio rimovibile in acciaio opportunamente rivestito da una scatola in legno contenente materiale isolante e in grado di sopportare il peso anche di pareti in muratura portante.

La Test Cell Unifi è in grado di ruotare su una piattaforma girevole grazie alla quale è possibile eseguire i test su diversi orientamenti: l'intera struttura ruota attorno ad un perno centrale e scorre su una piattaforma circolare mediante delle ruote opportunamente dimensionate per supportare il carico dell'intera struttura.



Fig. II.21. Spaccato assometrico e immagine del frame rimovibile per l'installazione del componente di prova (in alto). Credits G. Alcamo. Immagine della parete attualmente installata sul fronte sud della Test cell. (in

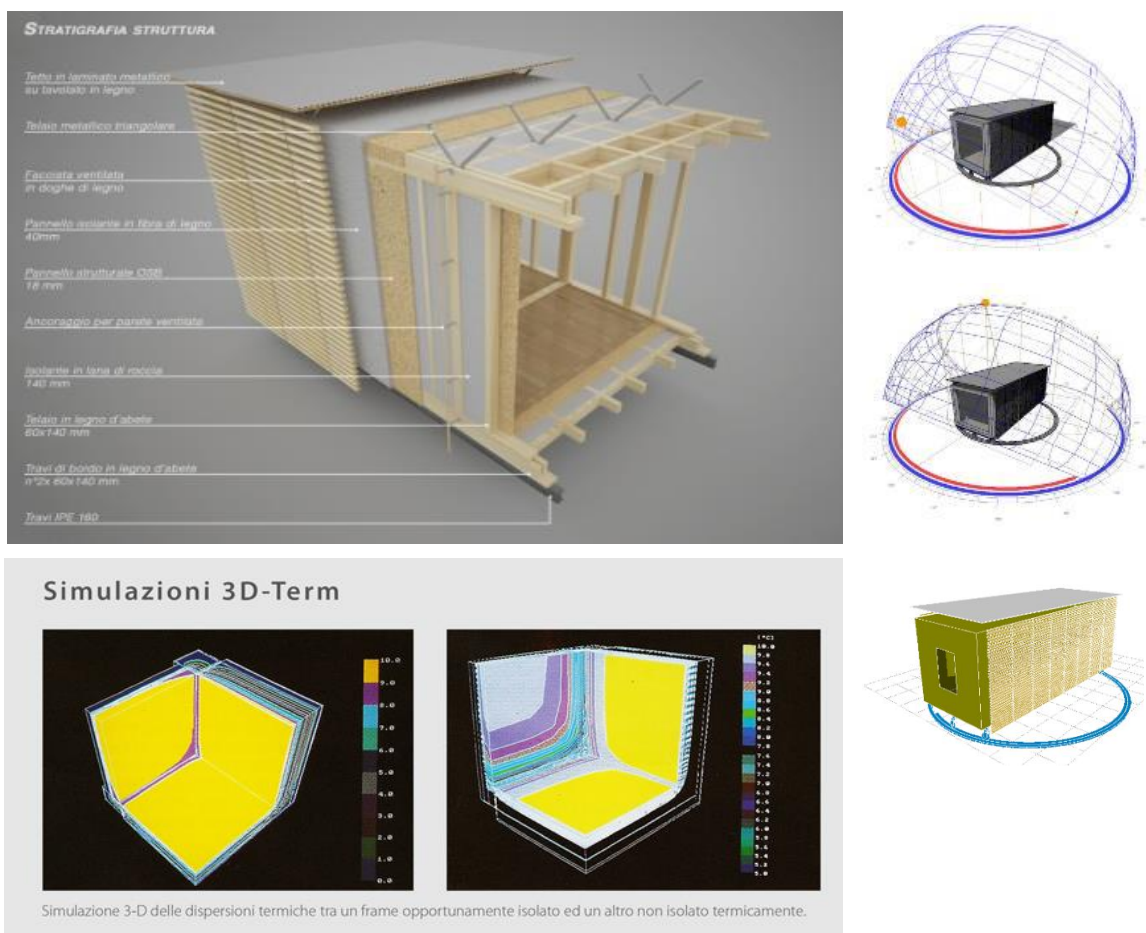


Fig.II.22. Spaccato assometrico del progetto della Test Cell e del frame per l'installazione del componente di prova. Analisi e simulazione energetica di un modello 3D rappresentativo della Test Celle per l'ottimizzazione delle soluzioni tecnologiche di progetto. (Credits G. Alcamo).

Il progetto esecutivo della Test Cell è stato oggetto della tesi di Dottorato “Sistemi per valutare e comparare in opera le prestazioni energetiche di componenti edilizi. Progetto di una Test Cell per il clima mediterraneo” dell’Ing. Giuseppina Alcamo del Dipartimento di Architettura che ha sviluppato la parte tecnologica in risposta a determinati requisiti tecnologici e ambientali, mentre il predimensionamento strutturale è stato eseguito in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria strutturale e con il Dipartimento di Energetica dell’Università di Firenze.

Nella tesi venivano indagati e risolti gli aspetti relativi alle problematiche e alle criticità emerse dall’analisi critica di una serie di casi studio di test facilities outdoor già esistenti in Europa a partire dalle esigenze di progetto per poi definire i requisiti prestazionali da adottare a monte del progetto tecnologico-costruttivo per la realizzazione di una Test Cell in area Mediterranea per soddisfare tali esigenze.

Per operare una scelta sulle strategie progettuali da adottare per l’ottimizzazione del comportamento energetico della cella in relazione alle peculiarità del nostro clima, è stata condotta un’analisi energetica mediante software di simulazione a regime dinamico su un modello 3D.

Dal punto di vista strutturale, la Test Cell è realizzata in pannelli strutturali OSB da 18 mm che contengono all'interno una struttura intelaiata in legno di abete isolata con uno strato di lana di roccia di 140 mm. La trasmittanza termica dell'involucro verticale è pari a 0,285 W/m<sup>2</sup>K .

L'intera struttura è provvista di una sovrastruttura esterna in listelli di legno che ha lo scopo di ridurre ulteriormente gli effetti prodotti dal surriscaldamento estivo assolvendo ad una duplice funzione: schermare la superficie esterna delle pareti della Test Cell dalla radiazione solare diretta e garantire la ventilazione dell'intercapedine d'aria compresa tra la superficie esterna dell'involucro e i listelli del sistema ombreggiante.

REQUISITI	ESIGENZE	STRATEGIE	VANTAGGI
<b>SISTEMA ADIABATICO</b>	Evitare fenomeni di surriscaldamento interno della camera di prova dovuti alla radiazione solare	La cella è stata realizzata con componenti tecnologici aventi tutti la stessa trasmittanza termica e lo stesso sfasamento termico.	Omogeneità del flusso termico attraverso l'involucro della Test Cell.
<b>CONTENIMENTO PONTI TERMICI</b>	Ridurre i ponti termici Corner effect	Realizzazione della struttura portante in legno con elementi verticali ed orizzontali aventi la stessa configurazione tecnologica.	Limitare i vettori di dispersione del flusso termico in prossimità delle discontinuità geometriche o di materiale della struttura.
<b>CONTROLLO DELLE INFILTRAZIONI</b>	Ridurre le dispersioni termiche per infiltrazione	Le pareti interne della cella sono state rivestite con una barriera alle infiltrazioni costituita da una pellicola plastica	Quantificare in modo preciso il flusso di calore attraverso l'involucro della Test Cell.
<b>CONTROLLO DEL FLUSSO TERMICO</b>	Maggiore accuratezza nella misura del flusso termico.	Le pareti interne della camera di prova sono interamente rivestite da termoflussimetri a piastrella (Heat Flux Tiles)	Determinazione del flusso termico esteso a tutta la superficie attraverso l'involucro della Test Cell .
<b>ORIENTAMENTO VARIABILE</b>	Effettuare prove di illuminamento interno secondo vari orientamenti.	Realizzazione di una piattaforma girevole per ruotare la Test Cell secondo diversi orientamenti	Test su componenti finestrati e schermature solari per la determinazione del fattore di luce diurna .

Il progetto esecutivo e i lavori di realizzazione della Test Cell sono stati affidati mediante appalto alla Ditta LEGNO PIU' nell'Ottobre 2011. La realizzazione della struttura è avvenuta in stabilimento presso i locali della ShelBox, a Castelfiorentino. La struttura è stata trasportata tramite mezzo speciale e sorveglianza da Castelfiorentino a Firenze.

A partire da Gennaio 2012, sono state condotte le seguenti attività:

- Preparazione del terreno nel sito di Santa Marta, presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Firenze, e installazione delle viti di fondazione della Test Cell;
- Le prove di collaudo per la verifica dei requisiti richiesti rispetto il valore di trasmittanza dell'involucro della Test Cell e la tenuta all'aria sono state condotte in stabilimento a partire da febbraio 2012 fino al collaudo finale avvenuto a marzo 2012.

Il 10 aprile 2012, la test cell è stata trasportata tramite mezzo speciale e sorveglianza da Castelfiorentino a Firenze ed è stata collocata presso il Parco del Plesso di Santa Marta dell'Università di Firenze, dove è attualmente gestita dal Laboratorio di misure del Dipartimento di Ingegneria Industriale, sotto la responsabilità del Prof. Maurizio De Lucia.



Fig.II.23.. Immagini della costruzione e dell'assemblaggio in stabilimento della struttura della Test Cell realizzata mediante tecnologie a secco in legno del tipo Platform Frame.



*Fig.II.24. Trasporto della Test Cell presso il Parco del Plesso di Santa Marta di Ingegneria. Posa del sistema di fondazione e della base girevole su cui è stata appoggiata la struttura del laboratorio. Dettaglio della schermatura solare lineare applicata ai prospetti laterali (in basso a destra).*



Per il sistema delle imprese italiano, la possibilità di qualificare i propri prodotti all'interno di un orizzonte di riferimento nazionale e attraverso un "linguaggio" condiviso a livello normativo riveste un'importanza strategica.

La qualificazione di prodotto attraverso uno strumento riconosciuto dalla comunità scientifica e la possibilità di ampliare le proprie offerte al mercato del bacino mediterraneo, rappresenta maggiori opportunità di business per le aziende di prodotti edili e una credenziale di autorevolezza agli occhi dell'utente finale, in termini di qualità ed efficienza dei prodotti testati nel segno della sostenibilità ambientale.

La Test Cell Unifi si configura come uno strumento innovativo per il monitoraggio energetico a regime dinamico di componenti di involucro che ben si presta ad un duplice uso:

- nasce come un laboratorio di ricerca destinato all'IMPROVING TECNOLOGICO di componenti di parete per lo sviluppo di prototipi pre-industriali in clima mediterraneo;
- è uno strumento di misura realizzato secondo le specifiche fornite dai protocolli internazionali PASSLINK che si pone a servizio delle aziende che intendono eseguire misure dei parametri termofisici di U, C, g, f dei propri prodotti.

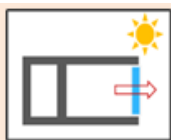
Attraverso le prove in Test Cell è possibile misurare le proprietà termofisiche di elementi di involucro opachi e trasparenti; il comportamento dinamico di sistemi tecnologico di tipo innovativo che integrano materiali a cambiamento di fase e tecnologie attive; le prestazioni energetiche di sistemi di parete che integrano sistemi di ventilazione, riscaldamento, tecnologie fotovoltaiche, sistemi di schermature solari, ecc.

Le grandezze che possono essere misurate al termine della prova sono:

- Trasmittanza Termica  $U$  [ $W/m^2K$ ]
- Capacità Termica  $C$  [ $MJ/K$ ]
- Fattore di Trasmissione Solare g-value [%] (per componenti finestrati);
- Attenuazione e sfasamento termico [h]

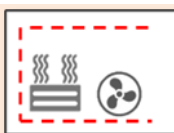
Il laboratorio permette di misurare le prestazioni energetiche di componenti di parete opachi e trasparenti, sia di tipo tradizionale (pareti monostrato e multistrato, sistemi coibentati, sistemi stratificati a secco, facciate ventilate ecc.) sia di tipo innovativi (sistemi di involucro attivi, adattivi e responsivi) che integrano tecnologie rinnovabili, materiali a cambiamento di fase o sistemi per il controllo della radiazione solare.

I vantaggi offerti dall'uso della Test Cell rispetto agli altri metodi dipendono dalle caratteristiche del sistema tecnologico della struttura e dall'installazione di un sistema di monitoraggio complesso.



#### TEST ROOM E SERVICE ROOM

Il laboratorio è suddiviso in due ambienti distinti: TEST ROOM in cui sono installati tutti i sensori che rilevano costantemente le condizioni energetiche-ambientali interne; SERVICE ROOM, in cui è collocata una postazione per l'acquisizione dati durante la prova, e dalla quale un operatore può gestire l'intero sistema di monitoraggio senza interferire sulla test room.



#### TERMOVENTILATORE E SISTEMA HFS

All'interno della Test Room è presente un termoventilatore a potenza controllata per riscaldare il volume d'aria interno durante la prova e garantire la convezione dell'aria evitando stratificazioni di temperatura interna. Il sistema HFS costituito da sensori di flusso termico, Heat Flux Tiles, installati sulle pareti interne della Test Room per misurare il flusso termico disperso attraverso l'involucro durante la prova.



#### SISTEMA DI MONITORAGGIO

Un complesso sistema di monitoraggio e acquisizione dati DAQ (Data Acquisition System), costituito da un Data Logger HP Agilent 34980A posto nella Service Room che acquisisce e registra i segnali di tutti i sensori interni ed esterni ad esso collegati e da cui è possibile controllare l'accensione e lo spegnimento del termoventilatore interno alla Test Room.

#### Componenti di facciata da testare in outdoor



Sistema Shading Screen



Sistema Domino



Facciata trasparente

Di seguito si riporta un quadro sintetico sulla procedura per la conduzione di un test suddivisa in tre fasi, per ciascuna delle quali si riportano le attività sviluppate e le responsabilità.

<b>PROCEDURA PER CONDUZIONE TEST SU PROVINO</b>		
	<b>Attività</b>	<b>Responsabilità</b>
<b>FASE PRELIMINARE</b>	Sviluppo del concept sistema tecnologico di parete	<i>Azienda e UNIFI</i>
	Progettazione del componente di prova	<i>Azienda e UNIFI</i>
	Simulazione del comportamento energetico del sistema a regime dinamico	<i>UNIFI</i>
<b>FASE OPERATIVA</b>	<b>Definizione obiettivi della prova a regime dinamico</b>	<i>Azienda e UNIFI</i>
	Realizzazione del provino secondo le specifiche richieste, posizionamento e installazione sensori	<i>Azienda e UNIFI</i>
	Trasporto provino	<i>Azienda</i>
	Installazione provino su frame Test Cell	<i>Azienda</i>
	Realizzazione del test e raccolta dati monitorati	<i>UNIFI</i>
	Analisi dati monitorati e misura parametri termofisici richiesti	<i>UNIFI</i>
	Elaborazione report risultati prova	<i>UNIFI</i>
<b>FASE PROPOSITIVA</b>	Verifica di qualità del componente testato	<i>UNIFI</i>
	Redesign del sistema tecnologico di parete	<i>Azienda e UNIFI</i>
	Modifiche al prototipo in seguito al redesign	<i>Azienda e UNIFI</i>

La fase propositiva si rende necessaria qualora i risultati del test su un primo provino deludano le aspettative dell'azienda, rendendo necessario un redesign del prototipo al fine di migliorare le prestazioni della soluzione testata.

Supposto che la test cell possa essere utilizzata per la fornitura di un servizio per un'azienda per la verifica e l'improving delle performance energetiche di un prodotto innovativo, l'attività di testing è destinata a:

- Aziende produttrici di materiali con caratteristiche innovative (tim, isolanti nanostrutturati, superfici trasparenti bassoemissive, vernici foto catalitiche, pv terza generazione, ecc.);

- Imprese capaci di mettere in opera i componenti progettati, verificandone l'integrabilità tra le parti e testandone le caratteristiche prestazionali;
- Aziende specializzate nella produzione di sistemi per il monitoraggio degli edifici e di sistemi tecnologici d'involucro e di impianto per l'ottimizzazione dei consumi energetici;

La test cell consente di determinare le prestazioni termofisiche del provino in tempi brevi: una volta collocato il provino sul frame posto a sud, la prova può avere una durata di 2-3 settimane, durante le quali il componente viene sottoposto a variazioni significative della temperatura tra interno ed esterno attraverso il controllo del sistema di riscaldamento interno alla Test Room.

Il comportamento dinamico del provino viene monitorato nell'arco delle 24h per tutta la durata del periodo di prova, registrando istantaneamente le condizioni ambientali interne della camera di prova e le condizioni climatiche esterne reali in termini di radiazione solare, esposizione al vento, pressione ambientale, temperatura ed umidità.

A supporto dei risultati del monitoraggio della prova in Test cell, sarà possibile, su richiesta, ricorrere all'uso di strumenti di simulazione in grado di costruire dei modelli fisici e matematici a partire dai dati sperimentali che permettono di prevedere il comportamento energetico del componente a regime dinamico.

L'uso di modelli di simulazione presenta il duplice vantaggio di:

- procedere alla simulazione di scenari e prestazioni del sistema modificando i parametri del modello (es. caratteristiche geometriche, tecnologiche, termofisiche etc.) per valutarne gli effetti in termini di prestazioni energetiche, evitando la realizzazione di più provini;
- simulare il comportamento termodinamico del componente integrato, secondo diverse configurazioni del sistema, all'interno di un modello più complesso che descrive il comportamento di un sistema edificio-impianto (tenendo conto anche dei profili di utenza) per stimare la prestazione energetica globale a scala di edificio.

## **PARTE III - FASE PROPOSITIVA**

---



## Cap.III.1. Caratterizzazione termofisica di componenti d'involucro in condizioni reali

Le prove sperimentali all'aperto condotte mediante test cells sono in grado di fornire una stima realistica dei parametri che caratterizzano il comportamento termico di materiali e componenti per l'edilizia e possono essere utilizzati come strumento per migliorare la progettazione degli edifici ed incrementarne in modo significativo l'efficienza energetica.

L'uso di modelli di analisi dinamica per la rappresentazione di sistemi fisici è una pratica divenuta sempre più frequente in molte aree di studio della fisica e dell'ingegneria.

La caratterizzazione termofisica di un sistema mediante test cell e l'analisi dinamica dei dati di output ricavati dal monitoraggio della prova a regime dinamico consentono di ottenere modelli accurati e realistici rappresentativi del sistema fisico indagato.

La prestazione termica di sistemi tecnologici dinamici dipende dalla complessa interazione tra i diversi fenomeni fisici che intervengono durante il suo funzionamento in condizioni di esercizio, pertanto prove semplificate condotte in condizioni stazionarie non si prestano ad un'analisi del comportamento in condizioni reali e possono condurre a valutazioni approssimative caratterizzate da una maggiore incertezza nei risultati.

La valutazione delle caratteristiche termiche di un componente dinamico a scala reale mediante prove outdoor può contribuire in maniera significativa al superamento dei limiti riscontrati in caso di analisi di tipo semplificato.

Rispetto alle comuni prove in opera, ai fini della determinazione dei parametri termofisici del componente di prova, i vantaggi offerti dall'uso di una test cell dipendono dal fatto che è dotata di una stanza di prova (test room) di dimensioni reali in cui l'ambiente interno è ben controllato senza risentire degli effetti legati alla presenza di occupanti<sup>57</sup>.

L'accuratezza delle misure ricavate durante le prove di monitoraggio outdoor dipende da un elevato grado di controllo dell'ambiente interno alla camera di prova, dalle caratteristiche costruttive con cui è stata realizzata la struttura del laboratorio secondo le specifiche fornite dai protocolli internazionali PASLINK e dalla precisione ed affidabilità degli strumenti utilizzati per il monitoraggio<sup>58</sup>. L'affidabilità dei risultati è una diretta conseguenza dell'applicazione di una metodologia per l'esecuzione della prova che rispetta gli standards stabiliti dai protocolli internazionali PASSLINK e dall'uso di potenti strumenti per l'analisi dei dati mediante tecniche di identificazione dei parametri

L'opportunità di impiegare i dati provenienti da prove outdoor per condurre un'analisi dinamica basata su tecniche di identificazione parametrica del sistema

---

<sup>57</sup> Strachan P. A., Baker P. H. , *Special issue on Outdoor testing, analysis and modelling of building components*, Building and Environment, 43, 2008, p. 127-128.

<sup>58</sup> Giuseppina Alcamo, Sistemi per valutare e comparare in opera le prestazioni energetiche di componenti edilizi. Progetto di una Test Cell per il clima mediterraneo, Tesi di dottorato in Tecnologia dell'Architettura, XXIII ciclo, Università di Firenze, p.XX.

testato per una sua caratterizzazione termica può contribuire a sviluppare modelli empirici che possono essere applicati ai dati di monitoraggio da campagne di test su interi edifici sotto reali condizioni di utilizzo per quantificare i risparmi energetici di un intero edificio conseguiti grazie all'applicazione del componente tecnologico come soluzione di involucro.

### III.1.1 Outdoor test e protocolli Paslink

I primi studi per lo sviluppo delle prime test cells furono condotti nell'ambito del progetto europeo PASSYS (Passive Solar Systems and Component Testing) che ebbe inizio nel 1985 con l'obiettivo principale era quello di eseguire test in condizioni esterne reali, ma in un ambiente di prova altamente controllato, secondo procedure standardizzate a livello europeo a garanzia del controllo della qualità dei risultati della prova, delle misure effettuate e del corretto funzionamento del laboratorio<sup>59</sup>. Lo scopo di questi test era quello di definire delle tecniche di valutazione standardizzate per ottenere informazioni sul comportamento termofisico di componenti di prova solari passivi in riferimento a tre parametri: la trasmittanza termica U, il fattore solare g-value e il comportamento dinamico del componente legato alla sua inerzia termica.

Divenne subito chiara l'esigenza di migliorare le Test Cells PASSYS e le procedure di prova usando metodi di analisi dinamica per migliorare l'accuratezza della misura dei dati monitorati per caratterizzare il componente testato e descriverne il comportamento a regime dinamico al fine di raggiungere elevate caratteristiche prestazionali in termini di efficienza energetica.

L'evoluzione che ha condotto dalle Test Cell PASSYS alle PASLINK è avvenuta grazie alle attività di ricerca condotte dal network PASLINK Network che da più di 25 anni si occupa dello sviluppo di procedure condivise per la qualità degli outdoor test fornendo indicazioni circa i metodi di calibrazione da adottare per la strumentazione di monitoraggio e per le test cells, la gestione e l'analisi dei dati.

I test a regime dinamico in uso permettono di analizzare i differenti fenomeni termofisici che occorrono durante il funzionamento della test cell al fine di ottenere un disaccoppiamento tra la trasmissione del calore e l'apertura solare del componente testato.

Dal momento in cui i test vengono condotti in condizioni reali outdoor, per la caratterizzazione del comportamento del provino al variare delle condizioni climatiche esterne è necessario eseguire una analisi di tipo dinamico sulla serie di dati derivate dalle prove di monitoraggio al fine di ricavare dei modelli empirici rappresentativi del componente indagato validati dall'uso di dati sperimentali in grado di simularne il funzionamento in opera.

---

<sup>59</sup> Wouters P. , Vandaele L. , *PASSYS, COMPASS, PASLINK: a European approach for the full-scale evaluation of thermal and solar performances of building components*. Conference Proceedings su "Energy Performance and Indoor Climate in Buildings", Lyon, 1994, p. 29-36



I parametri fisici in grado di descrivere il comportamento termofisico di componente edilizio derivano da prove a regime stazionario per la stima del:

- *coefficiente di scambio termico globale o Trasmittanza termica UA-value* [W/K] , che definisce la capacità del componente di scambiare energia termica – dunque le sue proprietà isolanti- e si misura tramite il rapporto tra il flusso di calore [W] che attraversa il sistema in condizioni stazionarie e il gradiente termico [K].
- *fattore di guadagno solare gA-value* [m<sup>2</sup>], che rappresenta il flusso termico [W] globalmente trasmesso dal componente all'ambiente interno in condizioni stazionarie in rapporto all'intensità della radiazione solare incidente [W/m<sup>2</sup>] sulla faccia esterna del componente.<sup>60</sup>

Altro parametro significativo per descrivere il comportamento di un componente rispetto alla capacità di accumulare calore per effetto della sua massa è la *capacità termica (C)*, che definisce l'inerzia termica del sistema in relazione alla radiazione solare incidente.

La determinazione per via empirica di questi fattori è resa difficoltosa dalla complessità dei fenomeni termofisici che occorrono durante la prova poiché ciascuno di questi parametri dipende da differenti fattori quali la superficie, l'orientamento e l'esposizione del componente, l'influenza della massa termica del resto dell'edificio e la presenza eventuale di differenti fonti di calore.

In generale, mediante prove di misura in opera non è possibile misurare per via diretta perdite e guadagni termici attraverso il componente di prova a causa dell'intercorrere simultaneo dei diversi meccanismi di trasmissione del calore – per conduzione, convezione e irraggiamento -. Il metodo di prova condotto mediante Test Cells consente di derivare per via indiretta questi parametri mediante la misura del flusso di calore attraverso l'involucro della cella.

L'equazione di bilancio termico in condizioni stazionarie che descrive il principio di funzionamento di una test cell di tipo PASSYS (Fig.III.1) è la seguente :

$$Q_{psc} = P_{Hc} - (UA)_{tr,e} \cdot \Delta T_{tr,e} - (UA)_{tr,sr} \cdot \Delta T_{tr,sr} \quad (1.1)$$

in cui il termine  $Q_{psc}$  – valore da determinare - rappresenta il flusso di calore [W] che passa attraverso il componente di prova dall'interno della test room verso l'esterno;  $P_{Hc}$  è la misura della potenza elettrica emessa dall'impianto di riscaldamento [W] fornito alla test room;  $(UA)_{tr,e}$  è il valore di trasmittanza termica [W/K] dell'involucro della camera di prova ottenuta dalle prove di

---

<sup>60</sup> In relazione a componenti finestrati, gA tiene conto degli effetti della trasmissione solare diretta attraverso la parte vetrata - inclusa la quantità di energia assorbita e/o riflessa- e quelli dovuti alla radiazione solare sulle parti opache della struttura componente. Esso può essere considerato come l'area equivalente dell'apertura completamente aperta nel piano del componente che fornirebbe lo stesso input solare cella di prova come quello trasmesso attraverso il componente, escludendo tutti gli altri contributi.

calibrazione eseguite in via preliminare sulla test cell;  $\Delta T_{tr,e-s}$  è la differenza di temperatura [K] tra la superficie interna ed esterna dell'involucro della test room, in cui i valori  $T_{tr,s}$  e  $T_{e,s}$  sono misurati istantaneamente durante la prova;  $(UA)_{tr,sr}$  è il valore di trasmittanza termica [W/K] della parete divisoria tra la test room e la service room e  $\Delta T_{tr,sr}$  è la differenza della temperatura dell'aria [K] tra i due ambienti. Nell'ipotesi di condizioni stazionarie, l'ultimo termine nell'eq. (1.1) può essere trascurato poiché la temperatura ambiente interna della service room durante la prova è mantenuta uguale a quella della test room.

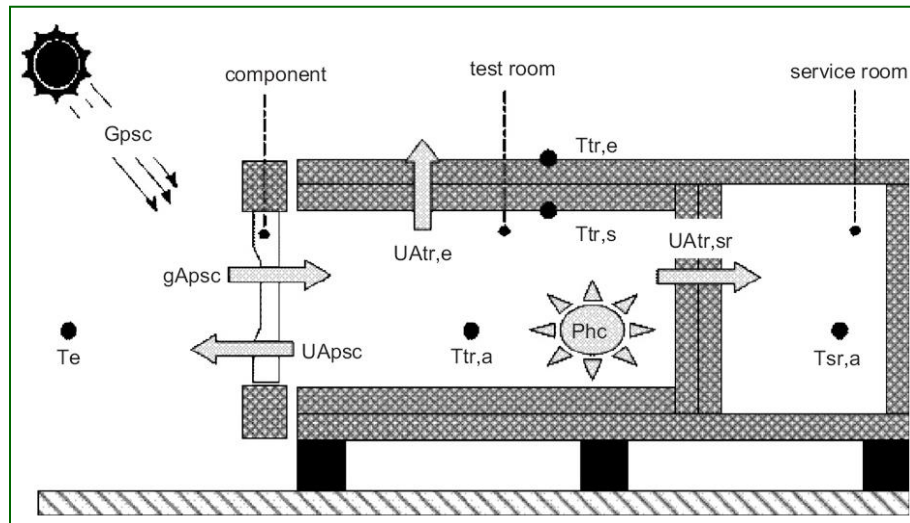


Fig.III. 1. Schema rappresentativo dell'equazione di bilancio termico in una Test Celle PASSYS. (Fonte : Baker PH, van Dijk HAL. PASLINK and dynamic outdoor testing of building components. Build Environ 2008;43:143-51.)

D'altra parte il flusso di calore  $Q_{psc}$  può essere espresso in termini di guadagni e perdite di calore :

$$Q_{psc} = (UA)_{psc} \cdot \Delta T_{psc} - (gA)_{psc} \cdot G_{psc} \quad (1.2)$$

In cui  $(UA)_{psc}$  rappresenta la trasmittanza del componente di prova;  $\Delta T_{psc}$  è la differenza di temperature ambiente [K] tra l'interno e l'esterno del componente ;  $(gA)_{psc}$  è il fattore solare gA-value [m<sup>2</sup>] del componente;  $G_{psc}$  è il valore che rappresenta l'intensità della radiazione solare [W/m<sup>2</sup>] sul piano del componente.

Trascurando le differenti condizioni al contorno dovuti agli scambi radiativi esterni con il cielo, il suolo e le gli effetti dovuti alla convezione sulla superficie esterna del componente di prova, le sue caratteristiche termofisiche possono essere determinate in condizioni stazionarie a seguito di successive misure del valore di  $Q_{psc}$  per condizioni differenti.

Dividendo i membri della (1.1) per la differenza di temperatura  $\Delta T_{psc}$  si ottiene una relazione lineare che lega il flusso termico attraverso il componente al valore della radiazione solare:

$$Y = (UA)_{psc} - (gA)_{psc} \cdot X \quad (1.3)$$

con  $Y = Q_{psc}/\Delta T_{psc}$  e  $X = G_{psc}/\Delta T_{psc}$

L'equazione (1.3) è valida solo in condizioni di regime stazionario e può essere applicato alle prove in test cell solo se la prova viene effettuata per un periodo sufficientemente lungo al fine di mediare l'influenza degli effetti dinamici.

Note tutte le grandezze in gioco, i parametri UA e gA-values del componente testato sono ottenuti utilizzando la regressione lineare nell'analisi dei dati monitorati.

La metodologia PASSYS appena illustrata si basa su tecniche di misurazione molto semplificate: le equazioni 1.1. e 1.3 sono valide e applicabili solo in condizioni di regime stazionario della prova, pertanto nel caso si vogliano condurre delle analisi dinamiche presentano numerosi svantaggi. Uno dei principali limiti è che data la variabilità delle condizioni al contorno esterne al sistema indagato, tali equazioni sono applicabili solo se i parametri considerati sono integrati su un periodo sufficientemente lungo per mediare l'influenza degli effetti dinamici che occorrono durante le prove outdoor.

Altre problematiche determinate dall'applicazione della metodologia PASSYS dipendono dal fatto che:

- prove di questo tipo, in cui per la determinazione dei parametri termofisici occorre portare il sistema in condizioni stazionarie, non sono in grado di fornire informazioni circa il comportamento dinamico del provino in relazione a fattori quali ad esempio la capacità termica e il fattore di sfasamento termico;
- con riferimento a tecnologie di parete di tipo massivo e materiali superisolanti, per ottenere risultati sufficientemente accurati sui parametri indagati, i tempi di prova possono richiedere anche diverse settimane per raggiungere lo stato stazionario a causa dell'inerzia termica dell'intera struttura della test cell;
- relativamente al vengono ignorati tutti i possibili effetti sul componente di prova determinati da variazioni delle condizioni climatiche di breve durata – variazione delle condizioni di cielo coperto, posizione del sole e temperatura ambiente esterna - .

Al fine di ridurre i tempi di prova e l'incertezza dei risultati ottenuti da prove outdoor utilizzando test cells di tipo PASSYS secondo il metodo a regime stazionario, il network PASLINK ha introdotto una serie di misure finalizzate all'implementazione delle test cell sia per quanto riguarda la struttura, sia per lo sviluppo di nuove strategie di sperimentazione e analisi dei dati.

La metodologia PASLINK a regime dinamico permette di misurare direttamente il flusso di calore attraverso l'involucro della camera di prova rappresentata dagli ultimi due termini dell'equazione 1.1. Di conseguenza, finché il valore  $P_{hc}$  viene misurato istante per istante con precisione, il flusso termico attraverso il componente di prova  $Q_{psc}$  può essere ricavato per via indiretta, in modo tale che gli effetti dinamici del campione testato possano essere introdotti all'interno nell'equazione (2.2) in termini di capacità termica.

È con queste finalità che nell'ambito del progetto di ricerca europeo COMPASS sviluppato dal network PASLINK, furono introdotte due strategie per consentire la misurazione diretta del flusso di calore attraverso l'involucro della camera di prova al fine di ottimizzare le prove a regime dinamico, di ridurre la durata della

sequenza di prova e di migliorare l'accuratezza delle misure effettuate durante il test.

La prima strategia adottata fu il sistema *Pseudo Adiabatic Shell* (PAS), che consisteva nell'applicazione di pannelli in alluminio molto sottili riscaldati elettricamente e applicati sulle pareti interne della test room per compensare le perdite di calore attraverso l'involucro della camera di prova affinché il flusso di calore risultante fosse pari a zero. Successivamente, grazie al contributo scientifico del TNO (Building and Construction Research, Delft, Netherlands), venne sviluppato un sistema innovativo *Heat Flux Sensitive Tiles* (HFS Tiles), che in alternativa al PAS, propone l'uso elementi a parete in forma di piastrelle – caratterizzati da spessori di pochi millimetri- ciascuno dotato di un sensore di flusso a termopila e applicate come rivestimento su tutte le superfici interne della test room.

Ciascuna piastrella è costituita da un elemento sensibile - termopila avvolta a spirale in un materiale a bassa conduttività termica per la misura del flusso termico a parete- applicato a sottili lastre di alluminio delle dimensioni di 53 x 53 cm che hanno la funzione di uniformare la temperatura superficiale sull'intera tile. (Fig.III.2). Per un corretto funzionamento delle piastrelle, sulle pareti interne della camera di prova viene applicato uno strato di poliuretano espanso con un duplice scopo: riempire eventuali cavità d'aria dietro HFS che causerebbero errori nella misura del flusso termico e realizzare uno strato in cui alloggiare i cavi e connettori piatti necessari al cablaggio delle tiles in serie per l'acquisizione delle misure.

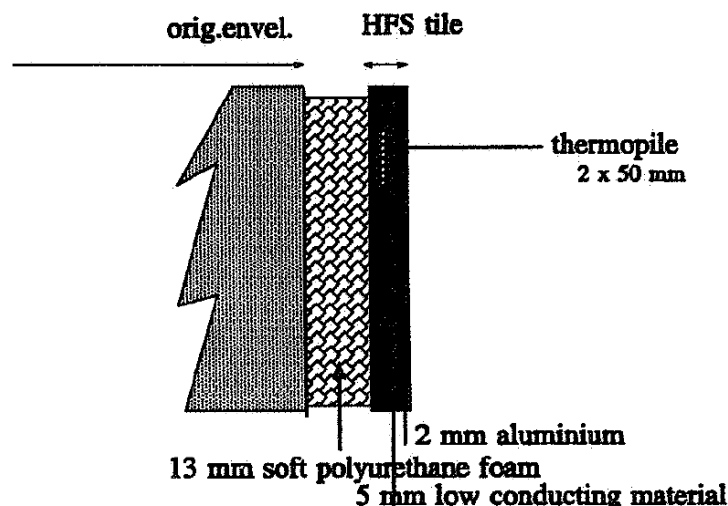


Fig.III. 2. Schema stratigrafico dei differenti layers che includono il sistema HFS applicato sulle pareti interne della test room. (Fonte: COMPASS Installation guide HFS Tiles for the PASSYS Test cells. G.P. van der Linden, H.A.L. van Dijk, A.J. Lock, F. van der Graaf, TNO. JOULE2 Programme, Brussels, 1995.)

Poiché il flusso di calore attraverso l'involucro della test room non è uniformemente distribuito a causa dei ponti termici e agli effetti di bordo, l'installazione del sistema HFS è pensata disponendo le tiles secondo una griglia di sensori di flusso di calore che copre tutte le superfici interne per meglio approssimare il flusso di calore totale che passa attraverso l'involucro della camera di prova. In questo modo gli ultimi due termini dell'equazione (1.1) vengono misurati direttamente ad ogni istante.

L'applicazione del sistema HFS rispetto al sistema PAS offre numerosi vantaggi:

- una minore riduzione delle dimensioni interni della test room;
- le piastrelle sono elementi prefabbricati in un formato standard e possono essere adattate alle dimensioni effettivamente necessarie tagliando la lastra di alluminio;
- lo spessore delle tiles è talmente sottile che il flusso di calore attraverso il spazio vuoto tra due piastrelle adiacenti è uguale al flusso di calore attraverso le tiles stesse;
- le tiles hanno una bassa inerzia termica delle mattonelle che consente di rilevare rapidamente variazioni del flusso termico;
- per ottenere una maggiore precisione nella misura è possibile aumentare la risoluzione della griglia di misura utilizzando tiles di dimensioni più piccole. Tuttavia, quest'ultima possibilità non è facilmente realizzabile poiché determinerebbe un aumento dei costi legati alla produzione delle tiles e all'installazione del sistema HFS.

Parallelamente al progetto della Test Cell Unifi, il Laboratorio di misure meccaniche del Dipartimento di Ingegneria Industriale (DIEF) di Firenze ha condotto una ricerca per lo sviluppo di una nuova tecnologia di Tiles basato sullo studio di una nuova configurazione degli elementi che compongono la singola tile e l'uso di una cella Peltier - elemento sensibile - inserita al centro della piastrella, in una struttura di riempimento composto in due strati realizzati con materiali diversi e aventi la stessa conducibilità termica della cella Peltier.

Con questa configurazione è stato dimostrato<sup>61</sup> che il flusso di calore è unidirezionale attraverso la tiles e si distribuisce uniformemente su tutta la superficie della tile passando da una misura di tipo puntuale a una misura estesa a tutta la superficie della piastrella con una distribuzione superficiale omogenea del flusso di calore attraverso la piastrella.

La calibrazione delle tiles Unifi è stata oggetto del presente lavoro di tesi ed è stata condotta presso il Laboratorio LCCE<sup>62</sup> (Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación) del Governo Vasco a Vitoria-Gasteiz su tre campioni rappresentativi mediante l'applicazione del metodo della piastra calda con anello di guardia<sup>63</sup>.

Un miglioramento opzionale del metodo PASLINK consiste è costituito di un box removibile, anch'essa sviluppata secondo i protocolli PASLINK per poter effettuare prove a regime stazionario sulla parete di prova e ottenere il valore U del prodotto testato secondo lo standard ISO della camera calda guardiata. Il box freddo viene posto davanti al campione testato consentendo di mantenere in condizioni stazionarie la parte esterna del provino durante il periodo di prova<sup>64</sup>.

---

<sup>61</sup> Il principio di funzionamento della tile Unifi è stato confermato dai risultati ottenuti mediante una simulazione FEM.

<sup>62</sup> <http://www.ehu.eus/enedi/>

<sup>63</sup> Guarded hot plate apparatus ( ISO 8302:1991).

<sup>64</sup> L'applicazione del box freddo rende possibile raggiungere i requisiti imposti dalla norma ISO 8990: 0 °C nella parte esterna del campione e 20 °C all'interno. Queste condizioni sono mantenute fino al raggiungimento dello stato stazionario e il valore di trasmittanza U del provino viene determinato a 10 °C .

### III.1.2 Procedure per l'esecuzione di test dinamici

Durante i test dinamici, la Test Room subisce di cicli di riscaldamento tramite l'accensione e lo spegnimento dell'impianto secondo quattro tipi differenti di sequenze:

1. High frequency test sequence (ROLBS)
2. Low frequency (PRBS)
3. Zero frequency (Constant power)
4. Two constant temperature sequences

L'obiettivo è quello di variare l'ampiezza e la frequenza degli impulsi di calore durante la sequenza del test per coprire un'ampia varietà di livelli termici ai quali sottoporre il muro di prova entro un range di 5°C e 30°C.

#### ➤ ROLBS (Randomly Ordered Logarithmically Binary Sequence)

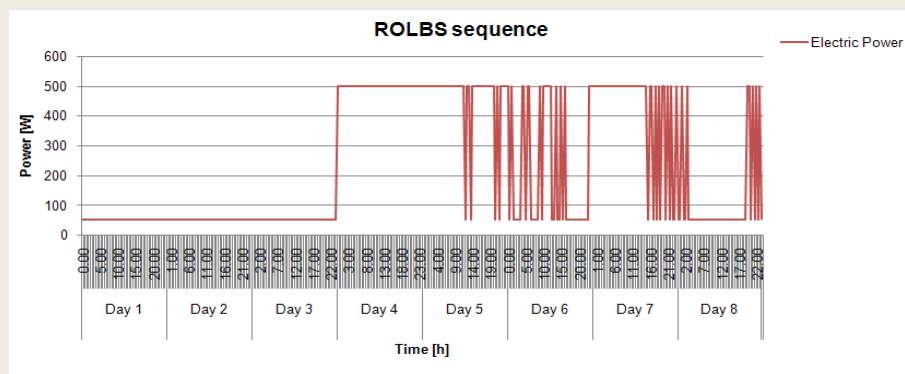


Fig.III.3 Grafico che riporta la frequenza della potenza elettrica fornita al termoventilatore secondo la sequenza di tipo ROLBS.

Obiettivi:

1. Ottenere una serie di dati contenenti le informazioni circa il comportamento del provino sottoposto a sollecitazioni termiche ad alta frequenza;
2. L'input fornito alla potenza elettrica risulta completamente scorrelato dalle condizioni outdoor e in queste condizioni l'identificazione dei parametri termofisici della parete avviene in condizioni ottimali.
3. Il test ha una durata di 8 giorni ad una potenza di 500W.

➤ **PRBS ( Pseudo Random Binary Sequence)**

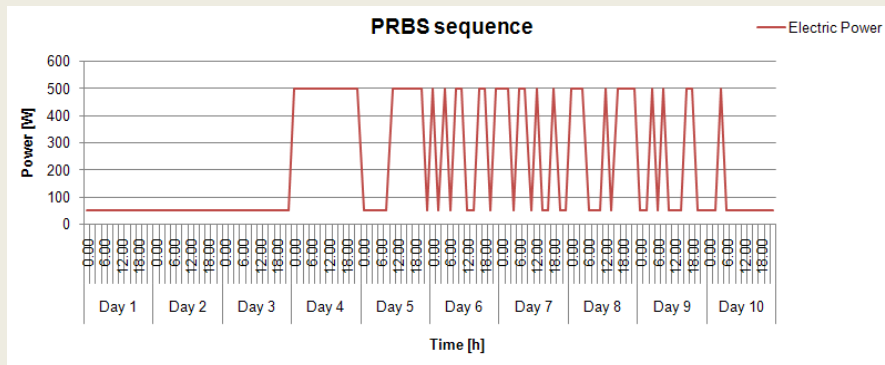


Fig.III. 4. Grafico che riporta la frequenza della potenza elettrica fornita al termoventilatore secondo la sequenza di tipo PRBS.

Obiettivi:

1. Ottenere una serie di dati contenenti le informazioni circa il comportamento del provino sottoposto a sollecitazioni termiche a bassa frequenza;
2. L'input fornito alla potenza elettrica risulta completamente scorrelato dalle condizioni outdoor e in queste condizioni l'identificazione dei parametri termofisici della parete avviene in condizioni ottimali.
3. Il test ha una durata di 9 giorni ad una potenza di 500W.

**Potenza elettrica costante**

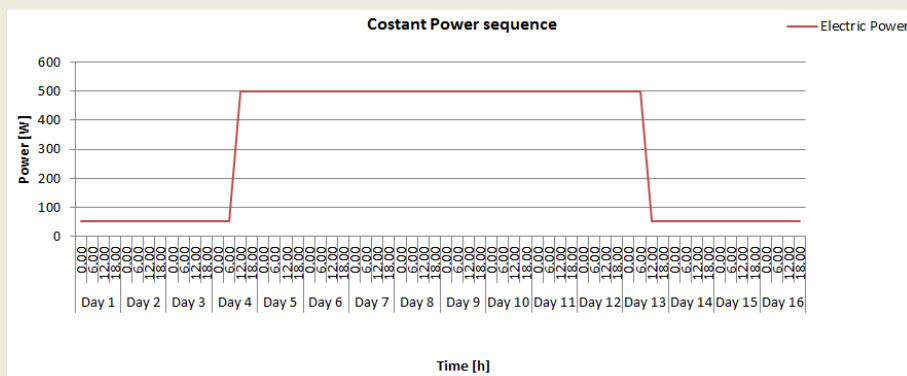


Fig.III. 5. Grafico che riporta la potenza elettrica fornita al termoventilatore durante un test a potenza costante.

Obiettivi:

1. Ottenere una serie di dati contenenti le informazioni circa il comportamento del provino sottoposto a sollecitazioni termiche a frequenza nulla e potenza elettrica costante;
2. L'input fornito alla potenza elettrica risulta completamente scorrelato dalle condizioni outdoor, ma in queste condizioni l'identificazione dei parametri termofisici della parete non avviene in condizioni ottimali.

Il test può essere condotto secondo due modalità:

- ✓ Potenza elettrica elevata e costante di 500W per 20 giorni.
- ✓ Potenza elettrica bassa a 50W per 20 giorni. In questa modalità è messo in funzione solo il fan allo scopo di ottenere una sequenza in free floating per stabilizzare le condizioni ambientali nella test room tra un test e l'altro.<sup>65</sup>

➤ **Temperatura costante- Metodo delle medie progressive**

Obiettivi:

1. Ottenere una serie di dati valida per la determinazione dei parametri mediante il metodo delle medie progressive in condizioni semi-stazionarie;
2. Validare il modello identificato durante le precedenti sequenze di prova a regime dinamico;
3. Validare il sistema di sensori di flusso a parete HFS sul muro di prova.

É possibile utilizzare due diverse sequenze per la conduzione del test secondo due livelli differenti di temperatura:

- La Tsetpoint è 19.80°C , l'impianto di riscaldamento viene continuamente acceso e spento per mantenere una temperature ambiente interna alla Test room compresa nell'intervallo  $19.06^{\circ}\text{C} < T_{int} < 20^{\circ}\text{C}$ . ( Durata del test 4 settimane).
- La Tsetpoint è 24.80°C , l'impianto di riscaldamento viene continuamente acceso e spento per mantenere una temperature ambiente interna alla Test room compresa nell'intervallo  $24.06^{\circ}\text{C} < T_{int} < 25^{\circ}\text{C}$ . ( Durata del test 4 settimane).

In relazione a quest'ultima procedura per l'esecuzione di test a temperatura costante, per ciascuna sequenza sarà opportuno procedere al controllo di tutti i segnali restituiti dai sensori mediante un'analisi dei grafici restituiti nella fase di pre-processing dei dati. Ai fini dell'analisi dei dati, una buona pratica è quella di sottoporre ciascun segnale ad un controllo dei principali indicatori statistici (deviazione varianza, errore, ecc.).

Di seguito di riportano le tabelle di controllo dei principali parametri da esaminare rispetto una prova di monitoraggio condotta su un componente di parete multistrato. Il componente di parete viene scomposto in Layer numerati progressivamente (Layer 1, Layer2, Layer3 ...ecc) e per ciascuno di essi si riportano i parametri ritenuti più significativi (temperature superficiali, flusso termico, temperatura e velocità dell'aria nel caso di pareti ventilate, ecc.) analizzati mediante l'applicazione del metodo delle medie progressive.

<sup>65</sup> Si tratta di una condizione che non è valida ai fini dell'identificazione parametrica, né in fase di validazione dei parametri a causa dell'elevato disturbo dei segnali durante la sequenza.



**Power transducer and HFS Tiles**

Signal	Average [W]	Max [W]	Min [W]	Standard Deviation [W]	Variances [W] <sup>2</sup>	Error [%]
Electric						
HFS Tiles						

**Heat flux sensors at each Layer**

Signal	Average [W/m <sup>2</sup> ]	Max [W/m <sup>2</sup> ]	Min [W/m <sup>2</sup> ]	Standard Deviation [W/m <sup>2</sup> ]	Variances [W/m <sup>2</sup> ] <sup>2</sup>	Error [%]
1HFT01						
1HFT02						
....						

**Surface Temperature at each Layer**

Signal	Average [°C]	Max [°C]	Min [°C]	Standard Deviation [°C]	Variances [°C] <sup>2</sup>	Error [%]
T <sub>air,i</sub>						
Layer1						
Layer2						
...						
OATE01						

**Solar Radiation**

Signal	Average [W/m <sup>2</sup> ]	Max [W/m <sup>2</sup> ]	Min [W/m <sup>2</sup> ]	Standard Deviation [W/m <sup>2</sup> ]	Variances [W/m <sup>2</sup> ] <sup>2</sup>	Error [%]
OGH01						
OGV01						
AVERAGE						

## Cap.III.2 Descrizione e allestimento del banco prova

L'attività di ricerca condotta per lo sviluppo della tesi è caratterizzata da una forte connotazione sperimentale, in cui prevalgono gli aspetti applicativi e pratici rispetto a quelli teorici, pertanto le attività che hanno riguardato l'installazione della strumentazione di monitoraggio e l'allestimento della Test Cell sono state condotte presso la sede del Dipartimento di Ingegneria Industriale DIEF e presso il Laboratorio di misure meccaniche.

Le attività hanno avuto inizio a partire da Novembre 2012 e hanno riguardato:

1. L'installazione dei sensori di monitoraggio ambientale e climatico in Test Cell
2. La realizzazione e l'installazione del sistema HFS Tiles in Test Room
3. L'installazione e la configurazione del sistema di acquisizione e gestione dati DAQ
4. Lo sviluppo di una procedura di gestione, analisi e verifica dei dati monitorati.

A seguire si intende documentare lo svolgimento di ciascuna attività e fornire una descrizione delle dotazioni tecnologiche impiegate per la realizzazione del sistema di monitoraggio del laboratorio in rispondenza dei requisiti prestazionali definiti all'interno del progetto europeo PASSYS tramite il protocollo PASSLINK EEIG (*European Economic Interested Gruping of Outdoor Test Centres*).

Prima di proseguire nella trattazione è necessario chiarire quali siano le condizioni operative alle quali è sottoposta la Test Cell durante le prove outdoor.

Il laboratorio è attualmente dotato di un impianto di riscaldamento a potenza controllata accoppiato ad un ventilatore assiale che ha la funzione di riscaldare il volume interno alla Test Room e garantire la convezione dell'aria interna per evitare stratificazioni di temperatura interna.

La struttura con cui è stata realizzata la Test Cell e l'uso di alcuni materiali adesivi applicati nelle diverse stratigrafie degli elementi che compongono l'involucro per contrastare eventuali infiltrazioni d'aria, oltre che la stabilità della strumentazione in essa contenuta, richiedono di mantenere un intervallo di temperature interne ben definito.

Il protocollo PASSYS stabilisce, sia per la test room che per la service room, che l'intervallo di temperatura all'interno della Test Room e della Service Room sia compreso tra 5°C e 45°C. Temperature eccessivamente alte potrebbero infatti provocare modifiche delle proprietà degli adesivi e nella rete di collegamento dei sensori all'unità di acquisizione dati (*Data Acquisition System-DAS*).

Durante l'esecuzione del test, il volume d'aria all'interno della Test Room viene scaldato con il termoventilatore e tutti i parametri ambientali interni ed esterni sono costantemente registrati con una frequenza di 1 minuto.

Affinché la prova avvenga con successo è necessario stabilire una differenza di  $T$  tra interno ed esterno pari almeno a  $20^{\circ}\text{C}$  : le temperature operative in Test Room durante le prove si aggirano intorno ai  $20\text{-}30^{\circ}\text{C}$  ma non devono superare i  $40^{\circ}\text{C}$ . Monitorando costantemente la Potenza elettrica fornita dal riscaldatore e  $Q$  termico disperso attraverso il sistema HFS è possibile derivare il valore del flusso termico  $Q_{\text{pcs}}$  (mediante l'equazione 2.1 riportata al capitolo 2) e determinare la  $U$  e  $C$  del componente di prova mediante un'analisi dinamica.

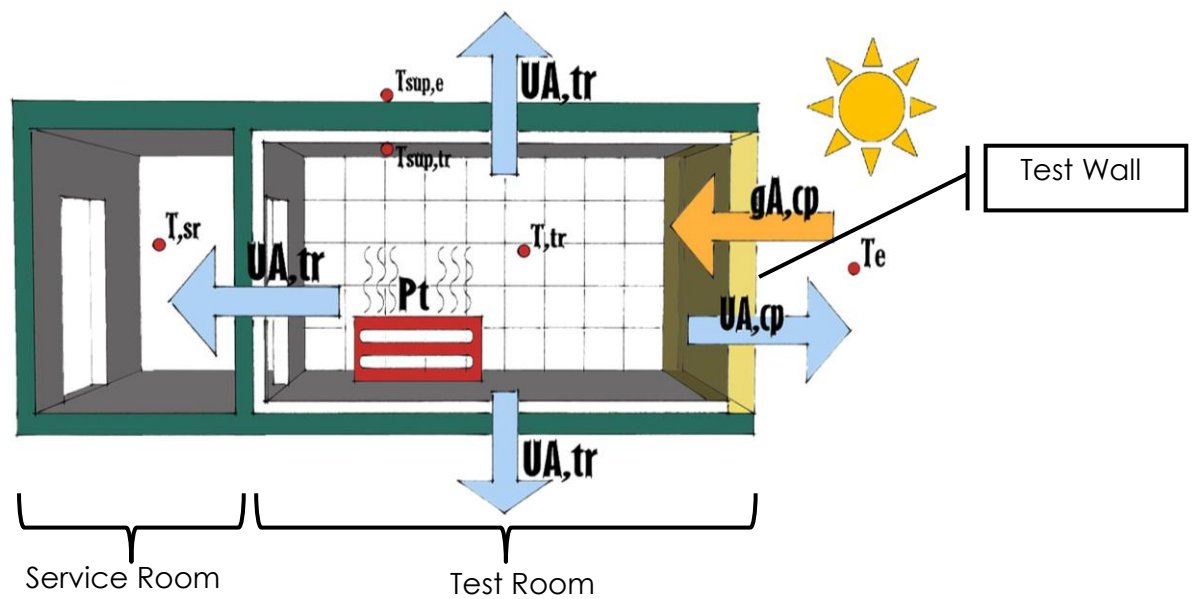


Fig.III. 3. Schema descrittivo del principio di funzionamento della Test Cell durante un outdoor test.

### III.2.1 Sensori e strumenti di monitoraggio

La dotazione minima di sensori applicati alla struttura della Test Cell per il monitoraggio e la registrazione dei diversi parametri fisici è stabilita dal protocollo PASSYS (cfr.[1] §1.6.1).

La Test Cell Unifi conta circa 80 sensori installati all'interno e all'esterno della struttura e una stazione metereologica posta in prossimità del sito in cui si trova il laboratorio.

A ogni sensore è associato in maniera univoca un codice che si riferisce alla sua posizione in Test Cell al tipo di parametro misurato: visto il grande numero di sensori installati sul sistema, lo scopo è quello di individuare in modo rapido e agevole il sensore nel caso di verifiche e controlli che potrebbero rendersi necessari durante le prove future. La standardizzazione della codifica rispetto il protocollo PASSYS è una condizione necessaria affinché si possano eseguire analisi dei dataset su test comparativi effettuati nei diversi test site degli Istituti di ricerca appartenenti al network Paslink.

Lo schema sottostante riporta il prospetto relativo alla nomenclatura adottata nella codifica dei sensori in riferimento al parametro monitorato:

<b>Codifica</b>	<b>Parametro</b>
<b>AV</b>	Velocità del vento
<b>AD</b>	Direzione del vento
<b>AP</b>	Pressione atmosferica
<b>GH</b>	Radiazione solare globale sul piano orizzontale
<b>GV</b>	Radiazione solare globale sul piano verticale
<b>EP</b>	Potenza elettrica
<b>RH</b>	Umidità relativa
<b>AT</b>	Temperatura dell'aria a bulbo asciutto
<b>ST</b>	Temperatura superficiale
<b>CH</b>	Flusso di calore (HeatFluxTiles)

Prima di procedere alla descrizione dettagliata della strumentazione installata nella Test Cell Unifi, nelle pagine che seguono si riporta uno schema sintetico di tutti i sensori installati, suddivisi in rapporto alla tipologia di misura effettuata dallo strumento, che riporta la dotazione minima dei sensori che devono essere impiegati durante un test generico su un componente di parete secondo i protocolli PASSYS<sup>66</sup>, esplicitando per ognuno la collocazione all'interno o all'esterno rispetto alla Test Cell.

---

<sup>66</sup> PASSYS Operations Manual. Ed. E. Maldonado, FEUP. CEC DGXII, Brussels, 1993. EUR 15119 EN, pp.38-41.

### SENSORI CLIMATICI OUTDOOR

<b>Umidità e Temp. ambiente (n°1 trasmettitore umidità miniaturizzato)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>parete SUD a 1,50 cm di distanza, h 2,50 m rispetto al terreno</li> </ul>
<b>Temperatura ambiente (n° 3 termoresistenze Pt100)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>parete SUD a 1,50 cm di distanza, h 2,50 m rispetto al terreno, , schermato e ventilato</li> <li>parete NORD a 50 cm, h 2,00 m, schermato e ventilato</li> <li>sotto la Test Cell in corrispondenza del centro della struttura, a metà altezza tra il solaio e il terreno</li> </ul>
<b>Radiazione solare (n° 3 piranometri)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>a livello della copertura radiazione orizzontale diffusa</li> <li>a livello della copertura radiazione orizzontale globale</li> <li>sul fronte della parete SUD radiazione verticale diffusa</li> </ul>
<b>Vento (n° 3 anemometri)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>parete SUD a 1,50 cm di distanza, h 2,50 m rispetto al terreno, velocità del vento</li> <li>a 10,00 m di altezza<sup>67</sup> velocità del vento</li> <li>a 10,00 m di altezza direzione del vento</li> </ul>

### SENSORI TERMO-IGROMETICI INDOOR

<b>Temperatura ambiente a bulbo asciutto (n° 7 termoresistenze Pt100)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>centro del pavimento , a 15 cm dalla superficie, schermato</li> <li>centro del soffitto , a 15 cm dalla superficie, schermato</li> <li>centro parete EST , a 15 cm dalla superficie, schermato</li> <li>centro parete OVEST , a 15 cm dalla superficie, schermato</li> <li>centro della TCell, schermato</li> <li>centro parete divisoria (<i>Test room/Service room</i>) , a 60 cm dalla superficie, schermato</li> <li>centro componente da testare , a 60 cm dalla superficie, schermato</li> </ul>
<b>Temperatura Risultante (n° 1 termoresistenza Pt100)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>centro della Service room, in una pallina da ping pong</li> </ul>
<b>Umidità e Temp. ambiente (n°1 trasmettitore umidità miniaturizzato)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>centro della Service room</li> </ul>
<b>Temperatura superficiale (<i>interna ed esterna</i> a ciascuna superficie) (n° 19x2 termocoppie tipo T)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>centro del tetto</li> <li>parete OVEST al centro e sulla mezzeria di ciascun lato (5 termocoppie)</li> <li>parete EST al centro e sulla mezzeria di ciascun lato (5 termocoppie)</li> <li>centro parete divisoria (<i>Test room/Service room</i>)</li> <li>centro della porta</li> <li>soffitto, sulla mezzeria del lato nord e del lato sud (3 termocoppie)</li> <li>pavimento, al centro e sulla mezzeria del lato nord e del lato sud (3 termocoppie) livello della copertura</li> </ul>

<sup>67</sup>Gli ultimi due sensori per rilevare velocità e direzione del vento devono essere montati su una torre alta 10,00 m entro un raggio di 50 m dalla Test Cell, libero da ostruzioni.

---

### SENSORI TEST WALL

	<b>Temperatura superficiale (interna ed esterna a ciascuna superficie) (n° 10 termocoppie tipo T)</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• centro della parete SUD</li><li>• sulla mezzeria di ciascun lato della superficie interna della parete SUD (4 termocoppie)</li><li>• sulla mezzeria di ciascun lato della superficie esterna della parete SUD (4 termocoppie)</li></ul>
	<b>Flusso termico a parete (n° 2 termoflussimetri)</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• centro della parete SUD (superficie interna)</li><li>• sulla mezzeria del lato OVEST della parete SUD (superficie interna)</li></ul>






---

### SENSORI PER IMPIANTO RISCALDAMENTO

	<b>Potenza elettrica del termoventilatore per il riscaldamento della Test Room (Wattmetro)</b>
	<ul style="list-style-type: none"><li>• postazione in Service room</li></ul>

### III.2.1.1 Parametri climatici esterni

Come nel caso delle temperature interne anche le temperature ambientali esterne giocano un ruolo fondamentale nella determinazione del flusso termico attraverso il componente di prova per ottenere le proprietà termofisiche di trasmittanza U e capacità termica C del test wall. I sensori per la misura della temperatura ambiente esterna sono termoresistenze del tipo PT100.

Affinché la misura rilevata non risenta degli effetti dovuti alla radiazione solare, tutti i sensori sono stati disposti in zone schermate:

- nell'area compresa tra l'involucro esterno del laboratorio e la struttura schermante in legno posta sui prospetti laterali;
- sotto la test cell;
- al di sotto della struttura metallica in copertura della test cell.

L'uso di quattro sensori per il rilevamento della temperatura ambiente esterna ha lo scopo di verificare il valore di tale parametro in più punti, tuttavia il valore che viene impiegato per il calcolo delle performance termofisiche del provino è quello registrato dal sensore posto di fronte alla parete sud.

Durante il periodo di prova a regime invernale deve essere mantenuta una considerevole differenza di temperatura tra interno ed esterno: maggiore è questa differenza di temperatura maggiore sarà il flusso che attraversa il componente di prova.

I protocolli PASLINK raccomandano di settare la potenza elettrica di set point del termoriscaldatore posto in test room ad un livello tale da ottenere una differenza di temperatura tra interno ed esterno di circa 20°C.

PARAMETRI TERMOIGROMETRICI ESTERNI			
Codice misura	Descrizione e posizione sensore	Unità di misura	Accuratezza
ORHE01	Trasmittitore di umidità e temperatura miniaturizzato ad alta precisione, posto in corrispondenza del centro della parete sud a una distanza di 2m dalla parete, a 5 m di altezza dal suolo.	%	± 0,5
OATE01		°C	± 0,1
OATE02	Termoresistenza in platino Pt100ohm a 0°C in Classe "A" - collegamento a 4 fili schermato-, Temperatura dell'aria esterna, a 20 cm dalla parete Nord, all'interno della schermatura solare.	°C	± 0,1
OATE03	Termoresistenza in platino Pt100ohm a 0°C in Classe "A" - collegamento a 4 fili schermato-, Temperatura dell'aria esterna, a 20 cm dal tetto, al di sotto della copertura schermante.	°C	± 0,1
OATE04	Termoresistenza in platino Pt100ohm a 0°C in Classe "A" - collegamento a 4 fili schermato-, Temperatura dell'aria esterna, sull'asse centrale longitudinale della Test Cell, a metà altezza tra il suolo e il solaio del pavimento.	°C	± 0,1

Tab.III. 2. Tabella descrittiva dei parametri ambientali esterni di umidità relativa e temperatura dell'aria.

Una variabile fondamentale che influisce sul comportamento dinamico dei componenti di parete testati è la radiazione solare incidente sul test wall: questa variabile partecipa al bilancio globale degli scambi di calore che avvengono tra interno ed esterno attraverso l'involucro. Questo dato viene registrato mediante un piranometro posto sul piano della parete di prova per registrare i valori di radiazione solare globale verticale.

In prossimità del fronte sud della Test Cell, è stata collocata un'unità di monitoraggio di tutti quei parametri climatici in grado di influenzare il comportamento dinamico di del componente di prova. Le misure registrate riguardano:

- umidità relativa e temperatura dell'aria misurate mediante un trasmettitore miniaturizzato;
- velocità e direzione del vento (significative nel caso di studio di facciate ventilate) mediante l'uso di due anemometri posti di fronte al test wall ad un'altezza di almeno 5 mt dal suolo. Ai fini dell'analisi dei dati per la descrizione delle condizioni ambientali esterne durante la prova, questi due parametri non vengono presi in considerazione perché logicamente non forniscono un'indicazione significativa della velocità del vento in quanto, essendo posti in prossimità della test cell, il volume stesso del laboratorio costituisce un ostacolo e un elemento di disturbo per il vento.

PARAMETRI CLIMATICI ESTERNI			
Codice misura	Descrizione e posizione sensore	Unità di misura	Accuratezza
0AVE02	Anemometro, Velocità del vento, presso la stazione meteorologica DIEF, a 6 m di altezza dal suolo.	m/s	± 0,1
0ADE02	Gonioanemometro, Direzione del vento, presso la stazione meteorologica DIEF, a 6 m di altezza dal suolo.	deg	± 1
0APE01	Barometro, Pressione atmosferica esterna, presso la stazione meteorologica DIEF, a 6 m di altezza dal suolo.	mbar	± 0,5
0GHE02	Piranometro, Radiazione solare globale orizzontale, presso la stazione meteorologica DIEF, a 6 m di altezza dal suolo.	W/m <sup>2</sup>	± 1
0EP01	Wattmetro, Potenza elettrica collegata al ventilatore e a riscaldatore posgti dentro il box al centro della test Room	W	
0AVE01	Anemometro, Velocità del vento, posto al centro della parete sud, a una distanza di 2 m, all'altezza del test wall.	m/s	± 0,1
0ADE01	Gonioanemometro, Direzione del vento, posto al centro della parete est, a una distanza di 2 m, all'altezza del test wall.	deg	± 1
0GVE01	Piranometro, Radiazione solare globale verticale, posta sula parete sud, all'altezza del test wall.	W/m <sup>2</sup>	± 1
0RHE01	Trasmettitore di RH, Umidità relativa esterna, posto al centro della parete est, a una distanza di 2 m, all'altezza del test wall.	%	± 0,5
0ATE01	Trasmettitore di Temperatura dell'aria esterna, a 50 cm dal centro della parete sud, a 2 m di altezza dal suolo.	°C	± 0,1

Tab.III. 3. Tabella descrittiva dei sensori usati per il monitoraggio dei parametri climatici esterni.





*Fig.III.4. Sensori per il monitoraggio dei parametri climatici e ambientali esterni (piranometro, tacuanometri e termoresistenze); stazione metereologica del DIF collocata in prossimità della Test Cell, nel parco del Plesso di Santa Marta.*

In prossimità dell'area in cui è collocata la test cell, è stata allestita una stazione metereologica di rilevamento posta a 10 mt dal suolo e dotata di:

- una sonda barometrica per la misura della pressione atmosferica;
- un tachoanemometro e un gonioanemometro per le misure di direzione e velocità del vento;
- un piranometro con anello schermante per la misura della radiazione solare diffusa.



*Fig.III. 8. Stazione metereologica di rilevamento del DIFP collocata presso il campo solare del Plesso di Santa Marta (in alto); Piranometro con sfera ombreggiante per la misura della radiazione diffusa (in basso a sinistra). Gonioanemometro e tachoanemometro a coppette per la misura di direzione e velocità del vento ( in basso a destra).*

### III.2.1.2 Temperature ambientali

L'accuratezza nella determinazione del valore di trasmittanza termica di un componente di parete dipende strettamente dall'accuratezza della misura del flusso termico.

Una delle principali cause della possibile variabilità del flusso termico misurato mediante prove in opera dipende dall'eventuale stratificazione dell'aria interna che, a causa dell'incremento della temperatura dell'aria dovuto al riscaldamento nella stagione invernale, può incrementare il valore del flusso termico dal basso verso l'alto.

Rispetto al problema esplicitato, il ventilatore assiale posto all'interno della Test room garantisce la convezione dell'aria interna durante le prove evitando la stratificazione della temperatura interna dell'aria.

Per il rilevamento dei parametri ambientali interni in diversi punti della stanza, sono state collocate:

- 6 termoresistenze in platino (del tipo PT100) per il rilevamento della temperatura dell'aria secondo lo schema illustrato (*Fig.III.6.*);
- 1 trasmettitore miniaturizzato ad alta precisione per il rilevamento di umidità e temperatura dell'aria al centro della test room;
- 1 sonda globotermometrica (sensore PT100) per la misura del calore radiante dell'aria al centro della stanza.

Durante la prova, il volume d'aria interno della camera di prova viene riscaldato e i dati registrati dai sensori di temperatura interna vengono confrontati per controllare l'andamento dei profili di temperatura dell'aria alle diverse altezze.

Ai fini della determinazione della U e della C del provino occorre verificare le condizioni di uniformità dell'aria interna secondo le indicazioni fornite dai protocolli PASLINK secondo cui, affinché la prova possa essere ritenuta valida la differenza massima tra i valori di temperatura dell'aria registrati in test room deve essere inferiore a 0,5 °C.

Per praticità, come valore di riferimento della temperatura interna della test room durante la prova si utilizza la media dei valori registrati dalle termoresistenze; identificando tra tutti i profili di temperatura, il sensore che registra la temperatura massima e quello che registra la temperatura minima, si procede al confronto tra  $T_{max}-T_{avg}$  e  $T_{avg}-T_{min}$  verificando che il risultato sia sempre inferiore a 0,5°C.

Il valore registrato dalla sonda globotermometro posto al centro della stanza non viene incluso all'interno delle valutazioni appena descritte, ma viene adoperato come valore di controllo, e dà un'indicazione circa le condizioni di comfort indoor della camera di prova.

Il sensore fornisce una misura della temperatura radiante interna attraverso gli scambi di calore radiativi che avvengono attraverso la superficie del globo e la superficie interna delle pareti della camera di prova: qualora i valori delle temperature superficiali delle pareti siano inferiori alla temperatura dell'aria interna, anche il valore della temperatura radiante si manterrà inferiore alla temperatura dell'aria e viceversa.

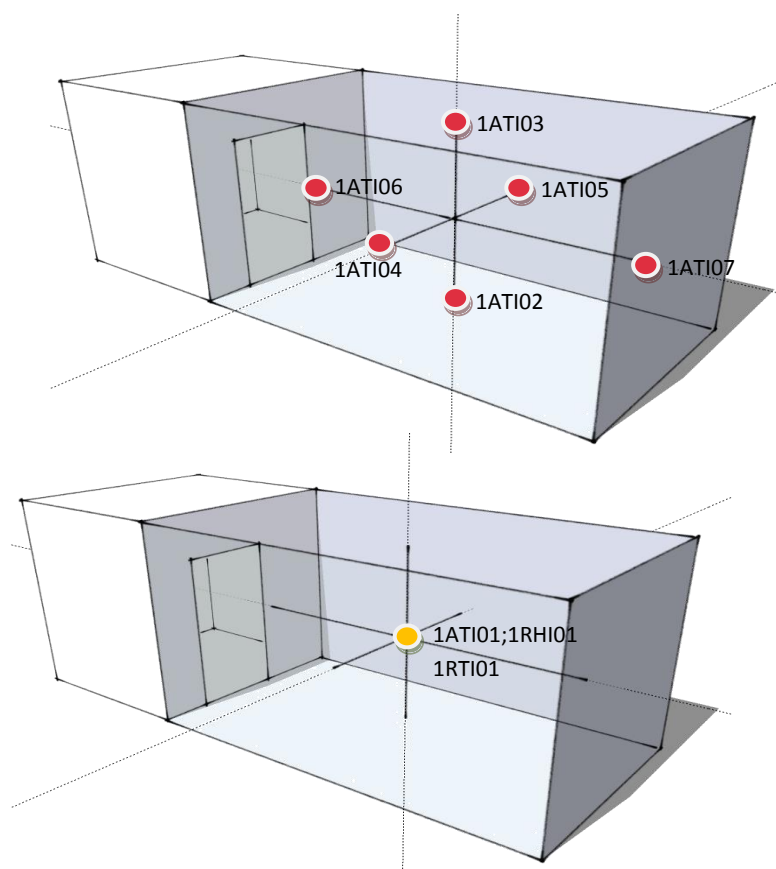


Fig.III.6. Schema illustrativo della distribuzione interna delle termoresistenze Pt100 per la misura dei valori di temperatura dell'aria a diverse altezze nella test room (sopra); indicazione del posizionamento dei trasmettitore miniaturizzato di umidità e temperatura ambiente e sonda globotermometro, entrambi posti al centro della test room.

PARAMETRI AMBIENTALI INTERNI IN TEST ROOM			
Codice misura	Descrizione e posizione sensore	Unità di misura	Accuratezza
1ATI01	Trasmettitore di umidità e temperatura miniaturizzato ad alta precisione, uscite: 2 x 0...1V, alimentazione: 4.5 – 15V DC, versione con cavo, lunghezza 2 metri, filtro in griglia metallica, al centro della Test Room.	°C	± 0,1
1RH101		%	± 0,5
1ATI02	Termoresistenza in platino Pt100ohm a 0°C in Classe "A" - collegamento a 4 fili schermato-, al centro del pavimento,15 cm sopra.	°C	± 0,1
1ATI03	Termoresistenza in platino Pt100ohm a 0°C in Classe "A" - collegamento a 4 fili schermato-, al centro del soffitto,15 cm sotto.	°C	± 0,1
1ATI04	Termoresistenza in platino Pt100ohm a 0°C in Classe "A" - collegamento a 4 fili schermato-, al centro del parete Est,distante 15 cm.	°C	± 0,1
1ATI05	Termoresistenza in platino Pt100ohm a 0°C in Classe "A" - collegamento a 4 fili schermato-, al centro del parete Ovest,distante 15 cm.	°C	± 0,1
1ATI06	Termoresistenza in platino Pt100ohm a 0°C in Classe "A" - collegamento a 4 fili schermato-, al centro del tramezzo Nord,distante 15 cm.	°C	± 0,1
1ATI07	Termoresistenza in platino Pt100ohm a 0°C in Classe "A" - collegamento a 4 fili schermato-, al centro della parete Sud,distante 15 cm.	°C	± 0,1
1RT101	Sonda Globotermometro per la misura del calore radiante, diametro 150 mm (ISO7243, ISO7726) con sensore PT100, al centro della Test Room.	°C	± 0,1

Tab.III. 4. Tabella descrittiva dei parametri ambientali interni monitorati in test room.

### III.2.1.3 Temperature superficiali

Lo spesso strato di isolamento termico dell'involucro della Test Room permette di raggiungere, durante la prova, condizioni di omogeneità e uniformità dei parametri relativi alle temperature superficiali interne. Gli unici parametri che si discostano da tutti gli altri, riguardano i sensori posti sulla parete sud di prova poiché l'aria riscaldata durante il test dall'impianto è diretta sul muro sud a causa del ventilatore assiale. Pertanto la superficie interna della parete sud risulta sempre più calda rispetto a tutte le altre quando il termoventilatore è in funzione. Su ciascuna parete dell'involucro della test room sono state collocate 5 termocoppie di tipo T secondo la distribuzione illustrata in Fig.III.79.

A titolo d'esempio, la tabella riporta la lista delle termocoppie installate sulla parete Ovest.

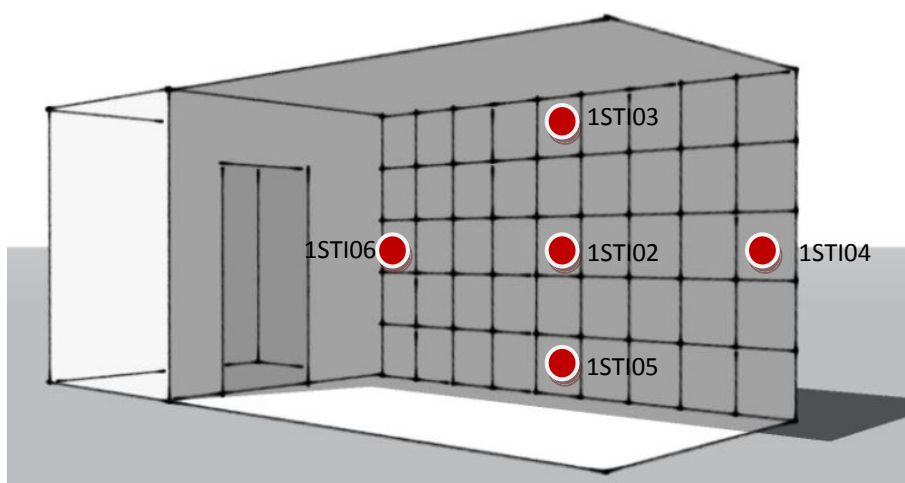


Fig.III.7. Schema illustrativo della distribuzione interna delle termocoppie a parete di tipo T per la misura dei valori di temperatura superficiale interna delle pareti della test room.

TEMPERATURE SUPERFICIALI INTERNE IN TEST ROOM			
Codice misura	Descrizione e posizione sensore	Unità di misura	Accuratezza
1STI02	Termocoppie(T) Rame/Costantana schermate con terminali liberi e giunto caldo saldato su capocorda con foro di diametro 4 mm, Temperatura superficiale interna,parete Ovest, al centro	°C	± 0.1
1STI03	Termocoppie(T) Rame/Costantana schermate con terminali liberi e giunto caldo saldato su capocorda con foro di diametro 4 mm, , Temperatura superficiale interna,parete Ovest, a metà del lato superiore, a 30 cm dal soffitto.	°C	± 0.1
1STI04	Termocoppie(T) Rame/Costantana schermate con terminali liberi e giunto caldo saldato su capocorda con foro di diametro 4 mm, , Temperatura superficiale interna,parete Ovest, a metà del lato sud, a 30 cm dallo spigolo.	°C	± 0.1
1STI05	Termocoppie(T) Rame/Costantana schermate con terminali liberi e giunto caldo saldato su capocorda con foro di diametro 4 mm, , Temperatura superficiale interna,parete Ovest, a metà del lato inferiore, a 30 cm dal pavimento.	°C	± 0.1
1STI06	Termocoppie(T) Rame/Costantana schermate con terminali liberi e giunto caldo saldato su capocorda con foro di diametro 4 mm, , Temperatura superficiale interna,parete Ovest, a metà del lato nord, a 30 cm dallo spigolo.	°C	± 0.1

Tab.III. 5. Tabella descrittiva dei sensori per la misura delle temperature superficiali interne sulla parete Ovest della Test Room.

Durante l'analisi dei dati monitorati, è possibile per semplicità lavorare con un solo valore della temperatura superficiale interna, dato (istante per istante) dal valore medio di tutti i valori misurati.

Qualora uno dei sensori non dovesse funzionare è possibile trascurarlo ai fini della determinazione di questo valore medio. In ogni caso è necessario verificare l'omogeneità e l'uniformità delle condizioni interne dell'ambiente di prova nella test room confrontando i valori delle temperature superficiali e verificando che la differenza tra il valore massimo e il valore medio sia inferiore a 1°C.

La condizione di uniformità deve essere verificata anche nei periodi in cui l'ambiente non è riscaldato, verificando che tale differenze sia inferiore a 0,3°C.

Al termine di tutte queste verifiche, affinché la prova possa ritenersi valida, occorre verificare che il valore massimo della differenza tra la temperatura media dell'aria e la temperatura superficiale media sia inferiore al valore di all'accuratezza del sensore di misura: ciò significa che la superficie interna dei termoflussimetri posti sul componente di prova non risultano affetti dalla diversa emissività tra la parete sud e le altre pareti della test room.

Per l'esecuzione dei test sui componenti di prova, è previsto l'uso di un set addizionale di sensori (termocoppie, termoflussimetri, sensori di umidità, sensori di velocità dell'aria) che devono essere posizionati in stabilimento durante l'assemblaggio del provino.

La tipologia, il numero e la posizione dei sensori aggiuntivi su ciascuna superficie degli strati che compongono il provino sono determinati di volta in volta per ciascun test in funzione degli obiettivi della prova definiti a monte della fase operativa della procedura di testing di prodotto.

### III.2.1.4 Flusso termico a parete

Per la misura del flusso termico attraverso le pareti della camera di prova, per la Test Cell Unifi è stato previsto l'installazione di un Sistema HFS Tiles.

Nonostante esistano in commercio alcuni tipi di misuratori di flusso termico adatti per questo tipo di applicazioni, il Dipartimento di Ingegneria Industriale ha scelto di sviluppare e costruire un nuovo prototipo per i sensori di flusso basati sul principio di funzionamento delle celle Peltier.

Il sensore sviluppato è stato concepito in forma di piastrella delle dimensioni di 53x53 cm ed usa come elemento sensibile una cella Peltier delle dimensioni di 40x40 mm di superficie e 4 mm di spessore.

La volontà di aumentare le dimensioni del misuratore, in modo da ottenere una misura mediata su una superficie di scambio termico maggiore, ha spinto ad usare un materiale riempitivo al cui centro sta l'elemento sensibile.

La realizzazione – di tipo artigianale - dei 233 sensori ha richiesto un impegno di circa un anno e mezzo (Fig. III.8): ogni tile è realizzata tramite l'assemblaggio di più strati di materiale diverso per uno spessore complessivo del misuratore pari a 8,55 mm.

Lo scopo di tali strati è quello di uniformare la temperatura delle superfici e ottenere dunque un flusso termico monodimensionale. La differenza di potenziale misurata ai capi della cella Peltier sarà rappresentativa del flusso termico che attraversa la parete secondo una legge lineare.



Fig.III. 8. Produzione artigianale dei sensori di flusso HFS Unifi sviluppati dal gruppo di ricerca del Laboratorio di misure meccaniche del Dipartimento DIF.

Trattandosi di strumenti realizzati senza processi industriali, parte dell'attività di ricerca si è concentrata sull'esecuzione di prove sperimentali per la taratura di un campione rappresentativo di provini mediante un banco prova installato presso il Laboratorio di misure meccaniche del DIEF (Fig.III.9) per verificare il sussistere di una relazione di linearità diretta tra il segnale elettrico restituito dal sensore (mV) e il flusso termico che attraversa il provino sottoposto a differenti salti di temperatura  $\Delta T$ .



Fig.III.10. Banco prova installato presso il Laboratorio di misure meccaniche del DIEF per la calibrazione dei primi prototipi di tiles UNIFI.

Nell'ambito del presente lavoro di tesi, in occasione dell'esperienza di stage all'estero svolta presso il Laboratorio LCCE<sup>68</sup> (*Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación*) del Governo Vasco a Vitoria-Gasteiz, si è avviata un'attività di sperimentazione collaterale alla ricerca sulla Test Cell che ha riguardato la calibrazione delle tiles Unifi per determinarne la conduttività termica mediante con il metodo della piastra calda con anello di guardia in accordo alle norme UNI 7745, UNI EN 12664, UNI EN 12667 e UNI EN 12939.

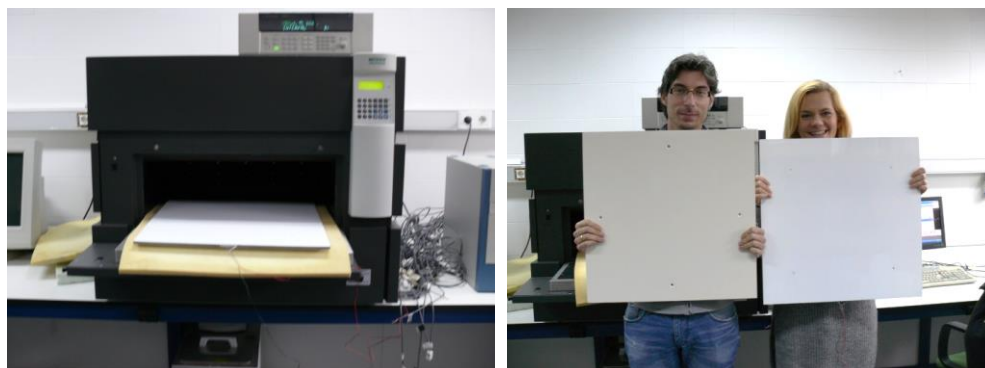


Fig.III. 11. Conduttivimetro a piastra calda con anello di presso il Laboratorio LCCE di Vitoria-Gasteiz (a sinistra); confronto tra una piastra termoflussimetrica sviluppata all'interno del Laboratorio LCCE e la tile Unifi (a destra).

<sup>68</sup> <http://www.ehu.eus/enedi/>



Le prove sono state condotte nel Novembre del 2015 su tre campioni rappresentativi con la finalità di determinare un fattore di calibrazione<sup>69</sup> comune a tutte le tiles impiegate per la misura del flusso termico attraverso le pareti della Test Room. Una volta ottenuto tale fattore è possibile determinare il flusso termico globale attraverso l'involucro della Test Room, moltiplicando il segnale in serie delle file di tiles per tale fattore di calibrazione e successivamente moltiplicando per la superficie totale delle pareti.

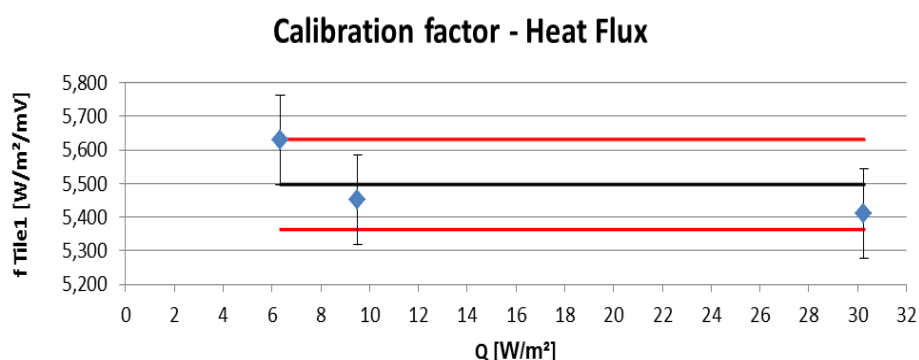
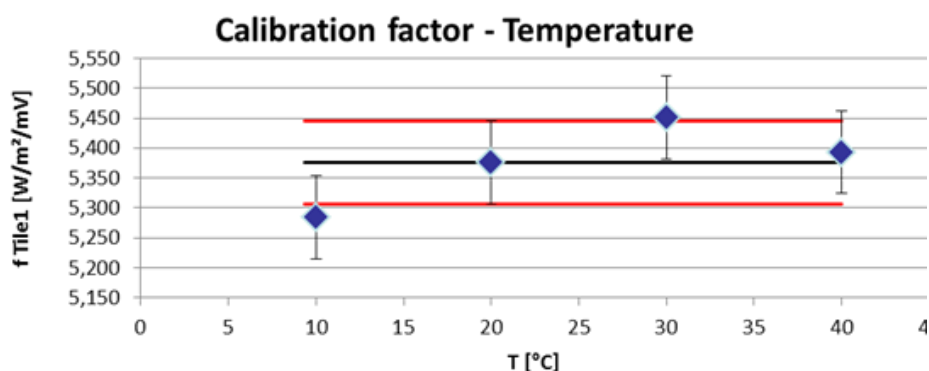
Per un report dettagliato dell'attività si rimanda agli apparati conclusivi allegati alla tesi.

Le prove sono state effettuate combinando diverse condizioni di temperatura media del provino e di salto termico tra le piastre del conduttivimetro.

In sintesi le sequenze di prove possono distinguersi in due tipologie:

1. Ciclo di prove a T variabile e  $\Delta T$  costante
2. Ciclo di prove a T costante e  $\Delta T$  variabile

Al termine di entrambi i cicli di prove eseguiti sui tre campioni, si è verificato il corretto funzionamento del sensore e la stabilità del segnale di output ( mV ) al variare delle condizioni di Temperatura e di flusso termico.



<sup>69</sup> Il fattore di calibrazione  $f$  è un valore espresso in  $W/m^2/mV$  riferito alla tile (elemento sensibile+pacchetto 53x53cm) ed è dato dal rapporto tra il flusso termico  $[W/m^2]$  che attraversa la tile e il segnale elettrico restituito dalla parte sensibile della tile  $[mV]$ . Tale fattore pone in relazione il segnale di output generato dalla cella Peltier e il flusso termico  $Q$  che attraversa la tile.

In riferimento ai risultati ottenuti dalle prove sul primo provino (Tile 1) ,dopo aver determinato il fattore di calibrazione del sensore a diversi livelli di temperatura, si è proceduto alla determinazione di un *fattore medio globale di calibrazione*  $f_{Tile1}$  per la tile valido per l'intervallo di temperatura 10-40°C. Contestualmente è stata verificata l'indipendenza di tale valore dal livello di Temperatura a cui è sottoposta la tile durante la prova in conduttivimetro: osservando il grafico che rappresenta il valore del fattore di calibrazione in funzione della Temperatura, tutte e quattro le misure ricadono con le proprie barre di errore all'interno del range di incertezza e l'errore che si commette nell'utilizzare il valore medio del fattore di calibrazione ottenuto dalle precedenti prove è dell'ordine di  $\pm 0,069$  W/m<sup>2</sup>/mV. Entrambe queste due condizioni ci permettono di assumere un fattore di calibrazione medio per la Tile1 pari a :

$$f_{Tile1}=5,376\pm 0,069 \text{ [W/m}^2\text{/mV]}$$

Tale valore può essere reputato il più rappresentativo del comportamento del sensore in ragione del fatto che :

- non dipende dal variare delle condizioni di temperatura media a cui il sensore è sottoposto, e per tale motivo è possibile ritenere tale valore costante essendo compreso all'interno del campo di errore ammissibile per ciascun punto di misura.
- è stato calcolato in riferimento a una popolazione di misure eseguite entro un range di temperatura di tra 10 e 40 °C, analogo alle condizioni di esercizio a cui sarà sottoposta la Test Room durante le prove.
- non risulta condizionato dagli effetti dovuti all'inerzia del sensore poiché i tempi di prova sono stati prolungati oltre i tempi normalmente necessari, in modo tale che il segnale di output fornito dal sensore si stabilizzasse in condizioni stazionarie.

I risultati ottenuti dalle prove sugli altri due provini (Tile 2, Tile 3) hanno riportato valori simili a quelli ottenuti dalle prove sulla Tile 1, pertanto è stato possibile comprovare la ripetibilità e l'accuratezza del segnale restituito dalle tiles prodotte dal Laboratorio di misure meccaniche del DIEF per procedere con la loro installazione in Test Cell.

La disposizione delle tiles all'interno della Test Cell è avvenuta mediante la costruzione di una griglia regolare che ricopre interamente le pareti interne della camera di prova, misurando istantaneamente il flusso di calore che attraversa l'involucro con precisione.

La procedura di montaggio del sistema HFS è riportata in dettaglio nei protocolli COMPASS<sup>70</sup> , sulla base della quale si è proceduto all'allestimento preliminare della test room, al reperimento di tutto il materiale necessario per il montaggio e alla configurazione della griglia su ciascuna parete della camera di prova necessaria per un corretto cablaggio del sistema.

Il sistema realizzato nella Test Cell Unifi è costituito da 230 tiles in alluminio delle dimensioni di 53x53 cm applicate alla parete mediante viti di metallo.

---

<sup>70</sup> G.P. van der Linden, H.A.L. van Dijk, A.J. Lock, F. van der Graaf. *Installation Guide HFS Tiles for the PASSYS Test Cell* , TNO. JOULE2 Programme, Brussels, 1995.

Per garantire un corretto funzionamento delle tiles, prima di procedere alla realizzazione della griglia, sulle tutte le pareti è stato applicato uno strato di poliuretano espanso in rotoli dello spessore di 2 cm con la funzione di riempire eventuali cavità d'aria nello spazio compreso tra le piastrelle e la superficie interna dell'involucro di prova. Questo accorgimento evita che l'aria circolando possa determinare un flusso di calore che non sia unidirezionale e che, non potendo essere rilevato dal sensore, indurrebbe a commettere un errore nella misura del flusso termico attraverso l'involucro. Al di sotto dello strato di poliuretano trovano alloggio i *flat cables* e i *connettori* destinati al trasporto dei segnali direttamente al data logger posizionato nella Service Room.

Infine, si è proceduto al collegamento in serie delle tiles ai connettori dei flat cables. L'immagine mostra la configurazione della griglia di tiles disposte sulla parete Ovest: lo schema contiene informazioni circa la codifica di ciascun sensore, la sua posizione e i raggruppamenti in serie. Anche il componente di prova è stato interamente coperto con le tiles per la conduzione della prova di calibrazione della Test Cell.

Con riferimento al documento COMPASS che riporta la guida per l'installazione del sistema HFS tiles in Test Cell PASSYS ed il loro successivo collegamento in serie, anche per la Test Cell Unifi si è proceduto alla redazione della documentazione contenente tutte le informazioni specifiche sulla configurazione della griglia di tiles per ciascuna parete e i relativi cablaggi in serie



Fig.III. 12. Installazione e cablaggio del sistema Heat Flux Tiles all'interno della Test Room. Collegamento in serie mediante l'uso di flat cables e moduli di interfaccia per l'ottenimento dei segnali finali.

III.2.1.4a Pavimento

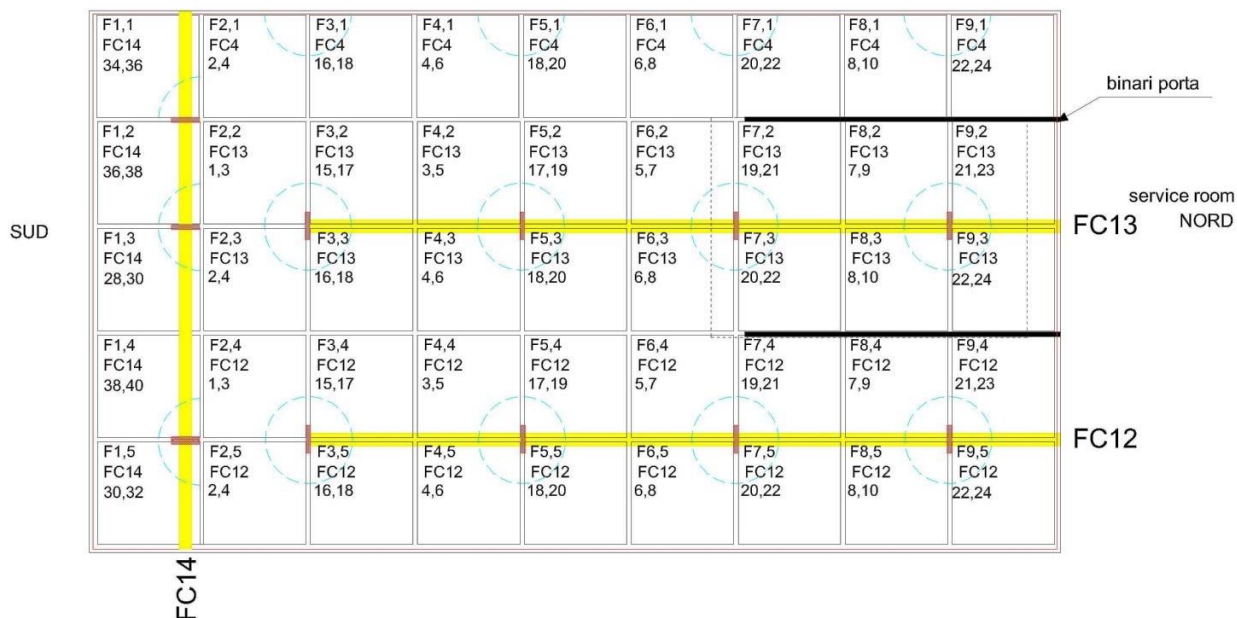


Fig.III.12a. Schema della configurazione della griglia di tiles a pavimento; rappresentazione grafica dei gruppi di tiles collegati in serie e codifica dei segnali acquisiti mediante i flat cables.

Cable	Tile	Position	Cable	Tile	Position	Cable	Tile	Position
FC14	1.1	34,36	FC13	5.2	17,19	FC12	5.4	17,19
FC14	1.2	36,38	FC13	6.2	5,7	FC12	6.4	5,7
FC14	1.3	28,30	FC13	7.2	19,21	FC12	7.4	19,21
FC14	1.4	38,40	FC13	8.2	7,9	FC12	8.4	7,9
FC14	1.5	30,32	FC13	9.2	21,23	FC12	9.4	21,23
FC4	2.1	2,4	FC13	2.3	2,4	FC12	2.5	2,4
FC4	3.1	16,18	FC13	3.3	16,18	FC12	3.5	16,18
FC4	4.1	4,6	FC13	4.3	4,6	FC12	4.5	4,6
FC4	5.1	18,20	FC13	5.3	18,20	FC12	5.5	18,20
FC4	6.1	6,8	FC13	6.3	8,10	FC12	6.5	6,8
FC4	7.1	20,22	FC13	7.3	20,22	FC12	7.5	20,22
FC4	8.1	8,10	FC13	8.3	6,8	FC12	8.5	8,10
FC4	9.1	22,24	FC13	9.3	22,24	FC12	9.5	22,24
FC13	2.2	1,3	FC12	2.4	1,3			
FC13	3.2	15,17	FC12	3.4	15,17			
FC13	4.2	3,5	FC12	4.4	3,5			

Tab.III. 6a. Tabella delle connessioni a pavimento; indicazione dei gruppi di tiles collegati in serie e della posizione relativa al connettore.

III.2.1.4b Parete Ovest

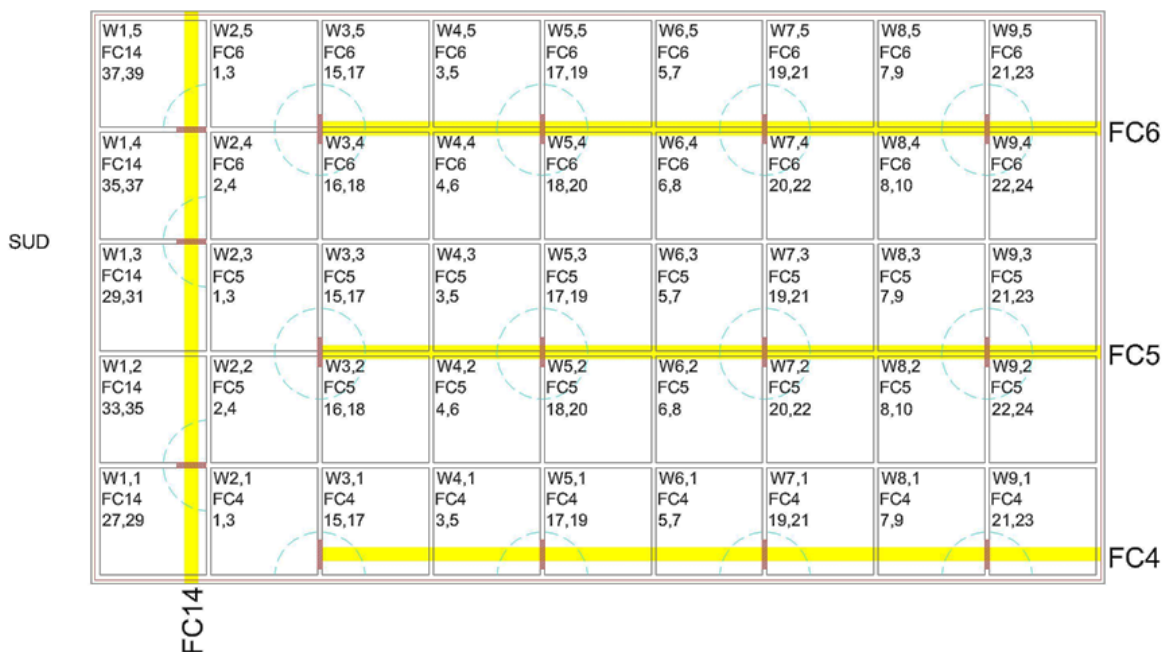


Fig.III.12b. Schema della configurazione della griglia di tiles sulla parete Ovest; rappresentazione grafica dei gruppi di tiles collegati in serie e codifica dei segnali acquisiti mediante i flat cables.

Cable	Tile	Position	Cable	Tile	Position	Cable	Tile	Position
FC14	1.1	27,29	FC5	5.2	18,20	FC6	5.4	18,20
FC14	1.2	33,35	FC5	6.2	6,8	FC6	6.4	6,8
FC14	1.3	29,31	FC5	7.2	20,22	FC6	7.4	20,22
FC14	1.4	35,37	FC5	8.2	8,10	FC6	8.4	8,10
FC14	1.5	37,39	FC5	9.2	22,24	FC6	9.4	22,24
FC4	2.1	1,3	FC5	2.3	1,3	FC6	2.5	1,3
FC4	3.1	15,17	FC5	3.3	15,17	FC6	3.5	15,17
FC4	4.1	3,5	FC5	4.3	3,5	FC6	4.5	3,5
FC4	5.1	17,19	FC5	5.3	17,19	FC6	5.5	17,19
FC4	6.1	5,7	FC5	6.3	5,7	FC6	6.5	5,7
FC4	7.1	19,21	FC5	7.3	19,21	FC6	7.5	19,21
FC4	8.1	7,9	FC5	8.3	7,9	FC6	8.5	7,9
FC4	9.1	21,23	FC5	9.3	21,23	FC6	9.5	21,23
FC5	2.2	2,4	FC6	2.4	2,4			
FC5	3.2	16,18	FC6	3.4	16,18			
FC5	4.2	4,6	FC6	4.4	4,6			

Tab.III. 7b. Tabella delle connessioni sulla parete Ovest; indicazione dei gruppi di tiles collegati in serie e della posizione relativa al connettore.

III.2.1.4c Parete Est



Fig.III.12c. Schema della configurazione della griglia di tiles sulla parete Est; rappresentazione grafica dei gruppi di tiles collegati in serie e codifica dei segnali acquisiti mediante i flat cables.

Cable	Tile	Position	Cable	Tile	Position	Cable	Tile	Position
FC14	1.1	2,4	FC11	5.2	17,19	FC10	5.4	17,19
FC14	1.2	22,24	FC11	6.2	5,7	FC10	6.4	5,7
FC14	1.3	4,6	FC11	7.2	19,21	FC10	7.4	19,21
FC14	1.4	24,26	FC11	8.2	7,9	FC10	8.4	7,9
FC14	1.5	6,8	FC11	9.2	21,23	FC10	9.4	21,23
FC11	2.1	2,4	FC10	2.3	2,4	FC9	2.5	2,4
FC11	3.1	16,18	FC10	3.3	16,18	FC9	3.5	16,18
FC11	4.1	4,6	FC10	4.3	4,6	FC9	4.5	4,6
FC11	5.1	18,20	FC10	5.3	18,20	FC9	5.5	18,20
FC11	6.1	6,8	FC10	6.3	6,8	FC9	6.5	6,8
FC11	7.1	20,22	FC10	7.3	20,22	FC9	7.5	20,22
FC11	8.1	8,10	FC10	8.3	8,10	FC9	8.5	8,10
FC11	9.1	22,24	FC10	9.3	22,24	FC9	9.5	22,24
FC11	2.2	1,3	FC10	2.4	1,3			
FC11	3.2	15,17	FC10	3.4	15,17			
FC11	4.2	3,5	FC10	4.4	3,5			

Tab.III. 8c. Tabella delle connessioni sulla parete Est; indicazione dei gruppi di tiles collegati in serie e della posizione relativa al connettore.

III.2.1.4d Soffitto

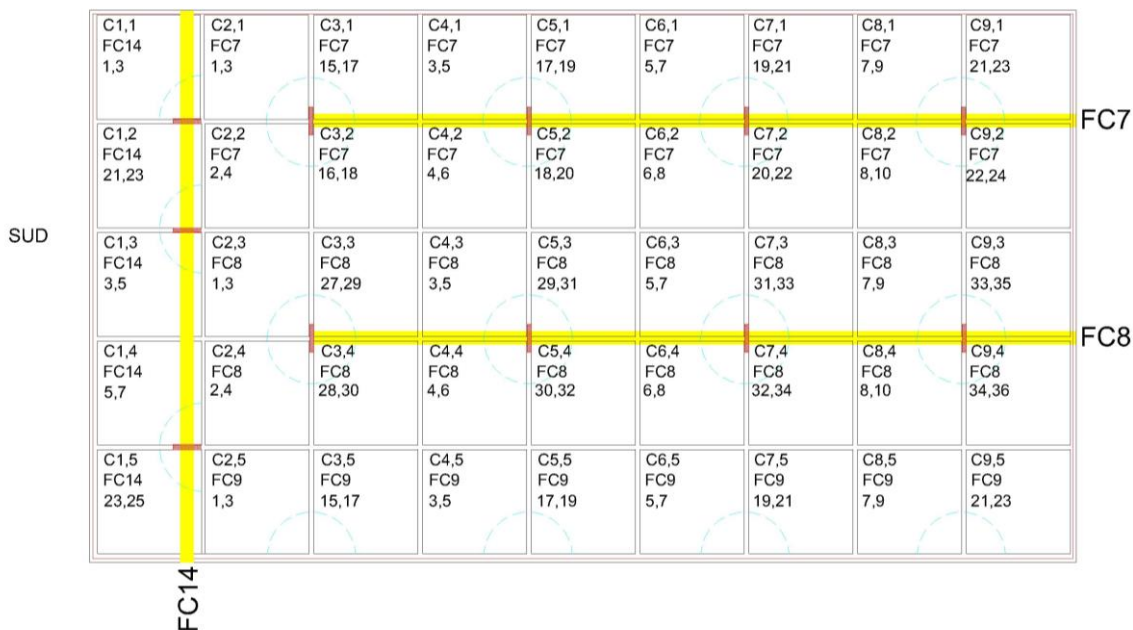


Fig.III.12d. Schema della configurazione della griglia di tiles a soffitto; rappresentazione grafica dei gruppi di tiles collegati in serie e codifica dei segnali acquisiti mediante i flat cables.

Cable	Tile	Position	Cable	Tile	Position	Cable	Tile	Position
FC14	1.1	1,3	FC7	5.2	18,20	FC8	5.4	30,32
FC14	1.2	21,23	FC7	6.2	6,8	FC8	6.4	6,8
FC14	1.3	3,5	FC7	7.2	20,22	FC8	7.4	32,34
FC14	1.4	5,7	FC7	8.2	8,10	FC8	8.4	8,10
FC14	1.5	23,25	FC7	9.2	22,24	FC8	9.4	34,36
FC7	2.1	1,3	FC8	2.3	1,3	FC9	2.5	1,3
FC7	3.1	15,17	FC8	3.3	27,29	FC9	3.5	15,17
FC7	4.1	3,5	FC8	4.3	3,5	FC9	4.5	3,5
FC7	5.1	17,19	FC8	5.3	29,31	FC9	5.5	17,19
FC7	6.1	5,7	FC8	6.3	5,7	FC9	6.5	5,7
FC7	7.1	19,21	FC8	7.3	31,33	FC9	7.5	19,21
FC7	8.1	7,9	FC8	8.3	7,9	FC9	8.5	7,9
FC7	9.1	21,23	FC8	9.3	33,35	FC9	9.5	21,23
FC7	2.2	2,4	FC8	2.4	2,4			
FC7	3.2	16,18	FC8	3.4	28,30			
FC7	4.2	4,6	FC8	4.4	4,6			

Tab.III. 9d. Tabella delle connessioni a soffitto; indicazione dei gruppi di tiles collegati in serie e della posizione relativa al connettore.



III.2.1.4e Parete Nord

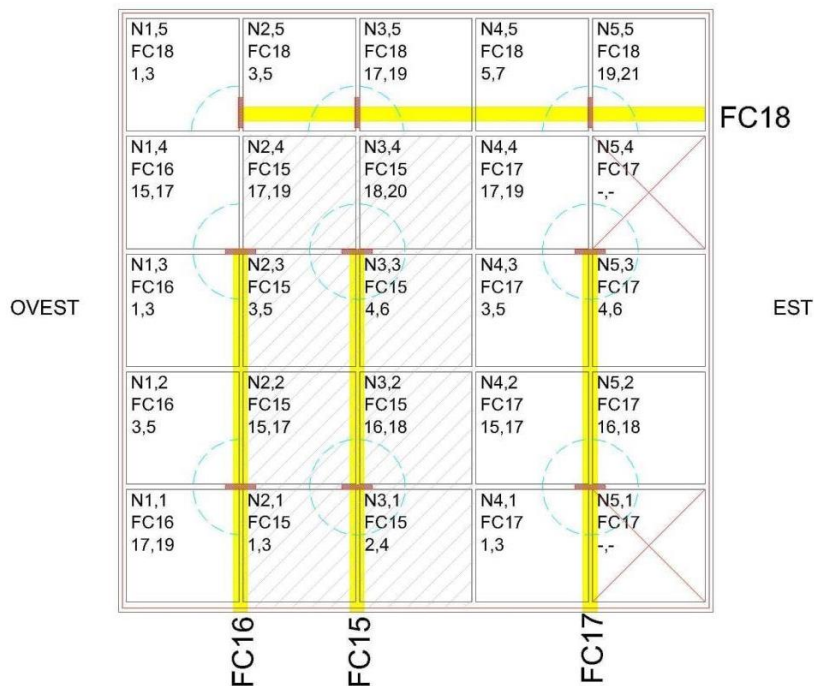


Fig.III.12e. Schema della configurazione della griglia di tiles sulla parete Nord; rappresentazione grafica dei gruppi di tiles collegati in serie e codifica dei segnali acquisiti mediante i flat cables.

Cable	Tile	Position	Cable	Tile	Position	Cable	Tile	Position
FC16	1.1	17,19	FC15	2.1	1,3	FC17	4.1	1,3
FC16	1.2	3,5	FC15	3.1	2,4	FC17	5.1*	-
FC16	1.3	1,3	FC15	2.2	15,17	FC17	4.2	15,17
FC16	1.4	15,17	FC15	3.2	16,18	FC17	5.2	16,18
			FC15	2.3	3,5	FC17	4.3	3,5
			FC15	3.3	4,6	FC17	5.3	4,6
			FC15	2.4	17,19	FC17	4.4	17,19
			FC15	3,4	18,20	FC17	5.4*	-
						FC18	1.5	1,3
						FC18	2.5	3,5
						FC18	3.5	17,19
						FC18	4.5	5,7
						FC18	5.5	19,21

\* La tile non è presente

Tab.III. 10e. Tabella delle connessioni sulla parete Nord; indicazione dei gruppi di tiles collegati in serie e della posizione relativa al connettore.

Una volta realizzati i collegamenti delle tiles in serie, ciascun flat cable è collegato ad un modulo di interfaccia per cavi piatti del tipo Weidmuller mediante il quale i segnali finali vengono riportati al sistema di data-acquisizione (DAS).

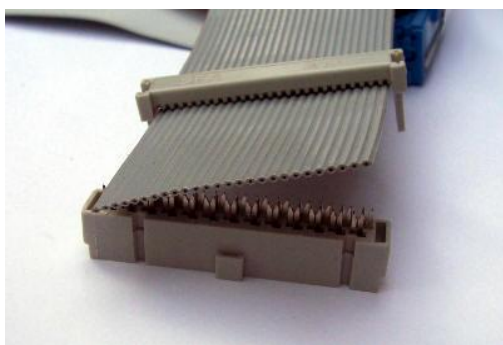
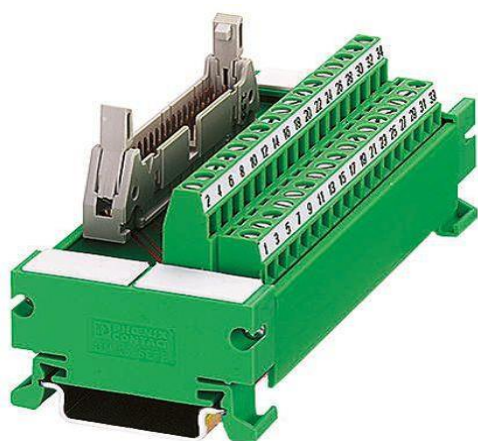
I moduli utilizzati nella Test Cell Unifi sono Phoenix Contact del tipo standard con morsetto a due piani e connessione a vite sul morsetto, per cavi piatti da a 40 poli. Le serie si ottengono collegando le tiles sulle posizioni specificate nelle tabelle delle connessioni riportate alle pagine precedenti, tuttavia è necessario eseguire di bridges su ciascuno dei moduli per completare i collegamenti e ottenere i segnali finali.

All'interno della Test Room sono presenti 18 moduli di interfaccia, a ciascuno dei quali è collegato uno dei 18 flat cable a parete.

La codifica numerica dei moduli corrisponde per semplicità al numero del cavo piatto ad esso collegato: il modulo 1 è collegato al flat cable FC1, il modulo 12 è collegato al flat cable FC2 e così via.

La tabella riportata di seguito riportano le informazioni relative a ciascun modulo di interfaccia in relazione a:

- l'elenco delle posizioni già impegnate sui connettori del flat cable connesso al modulo che realizzano un primo raggruppamento delle tiles in serie;
- le posizioni adoperate per la realizzazione dei bridges;
- le posizioni sulla morsettiera del modulo che forniscono i segnali di output finali relativi alle serie di tiles intercettate dal connettore.



#### Specifiche tecniche del prodotto

Cavo CSA	0.2 → 2.5mm <sup>2</sup>
Corrente nominale	1A
Dimensione cavo	24 → 14 AWG
Dimensioni	126 x 50 x 45mm
Massima temperatura operativa	+50°C
Minima temperatura operativa	-20°C
Modello connettore	Cavo Ribbon piatto
Numero di contatti	40
Profondità	45mm
Tensione di prova	500V ca
Tensione nominale	50 V ca, 60 V cc
Tipo di montaggio	Montaggio guida DIN
Tipologia	Maschio

Flat Cable	Series	Bridges	Signal	Code	Ntiles	Wall
FC 4	1,3,5,7,9 15,17,19,21,23 2,4,6,8 16,18,20,22,24	9-15 8-16 2-23	1-24	CH1	16	Floor/West (Corner)
FC 5	2,4,6,8 16,18,20,22,24 3,5 15,17,19,21,23	5-15 8-16 2-23	3-24	CH2	16	West
FC 6	3,5,7,9 17,19,21,23	9-17	3-23	CH3	8	West
			-	CH4	8	West
FC 7	1,3,5,7,9 15,17,19,21,23 2,4,6,8,10 16,18,20,22,24	9-15 10-16	1-23	CH5	8	Ceiling
			2-24	CH6	8	Ceiling
FC 8	1,3,5,7,9 27,29,31,33,35 2,4,6,8,10 28,30,32,34,36	9-27 10-28 2-35	1-36	CH7	16	Ceiling
FC 9	1,3,5,7,9 15,17,19,21,23 2,4,6,8,10 16,18,20,22,24	9-15 10-16 2-23	2-24	CH8	16	Ceiling/East (Corner)
FC 10	1,3,5,7,9 15,17,19,21,23 2,4,6,8,10 16,18,20,22,24	9-15 10-16 2-23	1-24	CH9	16	East
FC 11	1,3,5,7,9 15,17,19,21,23 2,4,6,8,10 16,18,20,22,24	9-15 10-16	1-23	CH10	8	East
			2-24	CH11	8	East

FC 12	1,3,5,7,9 15,17,19,21 2,4,6,8,10 16,18,20,22,24	9-15 10-16	1-21	CH12	8	Floor
			4-24	CH13	8	Floor
FC 13	1,3,5,7,9 15,17,19,21,23 2,4,6,8 16,18,20,22,24	9-15 8-16 2-23	1-24	CH14	16	Floor
FC 14	1,3,5,7 21,23,25 27,29,31 33,35,37,39 22,24,26 28,30,32 34,36,38,40	7, 21 32,34 31,33 8,22	2-26	CH15	5	East
			27-39	CH16	5	West
			1-25	CH17	5	Ceiling
			28-40	CH18	5	Floor
FC 15	1,3,5 15,17,19 2,4,6 16,18,20	5,15 6,16 19,2	1-20	CH19	8	North (door)
FC 16	1,3,5 15,17,19	5,15	1-19	CH20	4	North
FC 17	1,3,5 15,17,19 4,6 16,18	5,15 6,16 19,4	1-18	CH21	6	North
FC 18	1,3,5,7 17,19,21	7,17	1-21	CH22	5	North

Tab.III. 11. La tabella riporta le informazioni relative al collegamento in serie delle Heat Flux Tiles specificando: l'elenco delle posizioni già impegnate sui connettori del flat cable connesso al modulo che realizzano un primo raggruppamento delle tiles in serie; le posizioni adoperate per la realizzazione dei bridges; le posizioni sulla morsettiera del modulo che forniscono i segnali di output finali relativi alle serie di tiles intercettate dal connettore; il numero di tiles collegate alla serie e l'indicazione della parete su cui sono installate.

Flat Cable	Series	Bridges	Signal	Code	Ntiles	Wall
FC 1		2-5	1-8	CH23	5	South
FC 2	1,3 38,40 4,6,8 7,9	3-38 8-7	1-40	CH 26	2	South
			4-9	CH 27	3	South
FC 3	1,3,5,7 2,4	2-7	1-4	CH25	4	South

Tab.III. 12. La tabella riporta le informazioni relative al collegamento in serie delle Heat Flux Tiles della sola parete Sud rivestita col sistema HFS necessaria a caratterizzare l'intero sistema in occasione della prova di calibrazione della Test Cell.



*Fig.III. 13.Strumentazione e sistema HFS installato all'interno della Test Room. Globotermometro per la misura della temperatura radiante interna e trasmettitore miniaturizzato di temperatura e umidità relativa (in basso a sinistra); termoresistenza PT100 per la misura della temperatura dell'aria (in basso a destra)*

### III.2.2 Termoventilatore in Test Room

Il laboratorio è attualmente dotato di un impianto termoventilazione a potenza controllata, posto all'interno della test room, che ha la funzione di riscaldare il volume interno della camera di prova durante i test e di mantenere in continuo movimento l'aria interna per evitare stratificazioni di temperatura interna.

Il sistema di riscaldamento è stato progettato per rispondere a diverse esigenze relative al mantenimento delle condizioni operative ottimali nella camera di prova durante l'esecuzione dei test:

- un'elevata potenza di riscaldamento,
- condizione di prova in test room a temperatura costante o a potenza termica costante;
- una movimentazione costante dell'aria in test room per impedire eventuali stratificazioni della temperatura;
- una elevata accuratezza nella misura dei carichi termici legati all'impianto durante i test;
- la possibilità di controllare i dispositivi di impianto mediante il sistema DAQ per realizzare test secondo diverse procedure.

Il termoventilatore è collocato all'interno di un box in legno posto a ridosso della struttura intelaiata di supporto della porta tra test room e service room e si compone di due unità distinte:

- un riscaldatore elettrico costituito da n° 3 resistenze elettriche ciascuna da 200W affinché si possa raggiungere una potenza di riscaldamento complessiva di 600W.
- un ventilatore assiale longitudinale posto davanti alle resistenze elettriche al quale è sufficiente fornire una potenza 50 W per mantenerlo in funzione.

Le due unità sono collegate in parallelo in modo che possano funzionare in maniera indipendente l'una dall'altra; inoltre, a monte delle resistenze è stato posto un relè (comandato mediante il sistema DAQ) che, similmente ad un interruttore, ha la funzione di aprire e chiudere il circuito elettrico collegato alle resistenze spegnendo e accendendo il riscaldatore in funzione del tipo di test che deve essere condotto.

Il sistema di riscaldamento può funzionare secondo due diverse modalità operative:

1. Temperatura dell'aria costante
2. Potenza termica costante

Nel primo caso il controllo viene effettuato sulla temperatura ambiente in test room misurata da un sensore Pt100 rispetto ad un valore di setpoint impostato dall'operatore. Quanto la T ambiente in Test room supera la T setpoint, viene fornito un segnale dal sistema DAQ che aziona l'interruttore del relè e spegne il riscaldatore.

Nel secondo caso, per realizzare test a potenza termica costante, il sistema di monitoraggio è stato dotato di un wattmetro programmabile (modello SINEAX M562 prodotto da Camille Bauer), posto nella service room, che ha la duplice funzione di generare e misurare la potenza elettrica emessa dalle resistenze nella Test Room durante le prove.

Il dispositivo è dotato di due controlli separati, rispettivamente uno per il riscaldatore e uno per il ventilatore assiale, perché durante i test bisogna avere la possibilità di controllare, accendere e spegnere il riscaldatore e il ventilatore assiale indipendentemente l'uno dall'altro.

Nel paragrafo che segue si riportano le tipologie di prova che possono essere realizzate (da protocollo PASLINK) a regime invernale secondo diverse configurazioni, variando la frequenza degli impulsi di calore generati dall'accensione/spegnimento del riscaldatore elettrico durante i test sui provini.



Fig.III.14. Le immagini illustrano l'impianto di riscaldamento posto in Test Room: le diverse unità che lo compongono sono collocate all'interno di un box in legno posto dietro la porta della test room.

Il sistema è alimentato e monitorato mediante un wattmetro multifunzione programmabile installato in service room (in basso a destra).



### III.2.3 Sistema di Acquisizione Dati (DAQ)

Durante le prove, la raccolta e la registrazione dei dati di output per il monitoraggio dinamico dei parametri climatici e ambientali outdoor e indoor del laboratorio vengono gestite mediante un sistema di acquisizione dati DAQ (*Data Acquisition System*) mediante cui l'operatore posto nella Service Room può controllare l'andamento della prova senza interferire con l'ambiente della Test Room.

L'immagine riporta un'illustrazione schematica che descrive in modo semplificato la struttura e il funzionamento del sistema DAQ.

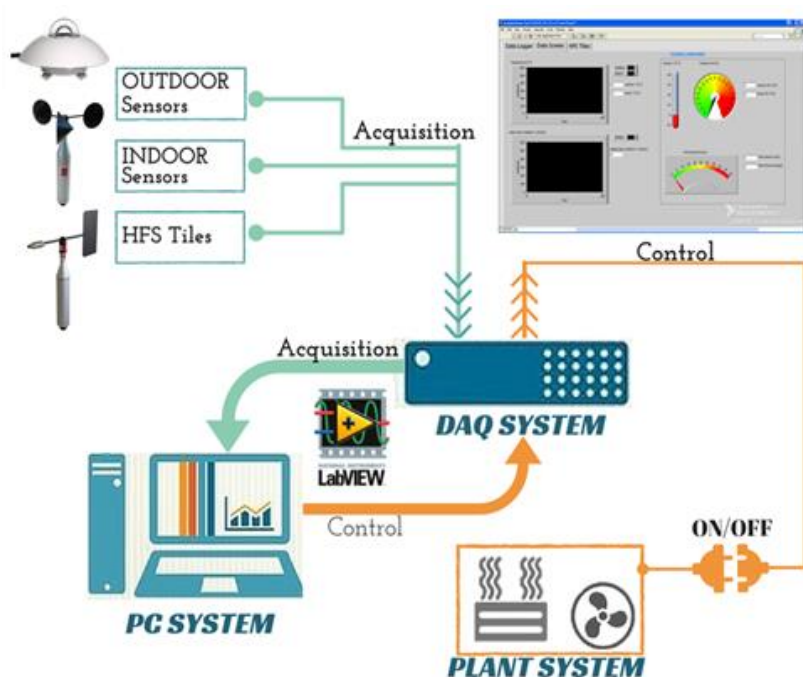


Fig.III. 14. Struttura e funzionamento del sistema DAQ (Data Acquisition System).

L'architettura del sistema DAQ impiegato per la Test Cell, suggerita dal protocollo PASSYS (cfr. [1] §3) si compone di:

- *sensori* per il rilevamento dei parametri misurati durante le prove. Il collegamento avviene tramite canali hardware. Questi inviano segnali analogici all'unità di acquisizione dati (Data Acquisition Unit);
- *Unità di acquisizione e controllo dati* (Data Acquisition and Control Unit); per essa si sta utilizzando un sistema HP / Agilent 34980A su cui sono stati connessi 2 slot aggiuntivi:
  - HP 34921A (40 canali) Armature Multiplexer per misure con termocoppie di tipo T;
  - HP 34922A (70 canali) Armature Multiplexer per sensori a 2 o 4 fili;



Fig.III. 16. Unità di controllo e di acquisizione DAQ posta in service room costituita da un realizzata con l'ausilio di un data logger HP Agilent 34980A e di un software di controllo (Labview) (in alto); collegamento di un sensore al multiplexer HP 34921A per la misura di termocoppie (in basso a sinistra); il passaggio dei cavi dall'unità di acquisizione posta in service room, alla test room avviene mediante un foro praticato nella parte divisoria tra i due ambienti opportunamente sigillato per evitare infiltrazioni d'aria durante i test (in basso a destra).

Il sistema di acquisizione dati è stato configurato mediante il software Labview, mediante il quale è stato possibile configurare l'acquisizione dei dati provenienti da più di 80 sensori con un intervallo di acquisizione a scelta dell'operatore variabile tra 30-60 sec e è stata costruita un'interfaccia grafica per l'operatore in service room al fine di:

- Eseguire una prima verifica dell'andamento della prova monitorando visivamente i profili dei parametri registrati per individuare rapidamente eventuali sensori non funzionanti o il manifestarsi di anomalie nello svolgimento del test;
- Controllare l'accensione e lo spegnimento del termoventilatore posto all'interno della Test Room , con la possibilità di impostare un valore di setpoint per la Potenza elettrica del riscaldatore e un valore di Temperatura ambiente senza dover interrompere la prova.

Il sistema di acquisizione dati è sviluppato con sistema in tensione per l'acquisizione dei sensori interni ed esterni concernenti la Test Cell, mentre i dati climatici esterni (piranometro, barometro, tacomometro, e gonioanemometro) sono inviati dalla stazione metereologica DIEF del Dipartimento di Ingegneria Industriale collocata presso il campo solare nel Parco del Plesso di Santa Marta ad un ulteriore sistema di acquisizione dati preesistente, immessi in rete e resi disponibili per la consultazione on line e il download.

In futuro verrà installato un sistema wireless per mettere in rete i dati di output raccolti dall'unità di acquisizione e controllo DAQ e successivamente inviati ad un'unità di controllo posta all'interno del Laboratorio di misure meccaniche del DIEF al fine di non utilizzare la service room per l'acquisizione dati e ridurre le attività che possano recare disturbo al corretto funzionamento del sistema della test room.

L'intero sistema DAQ è stato configurato utilizzando il software di programmazione e controllo Labview.

LabVIEW è un ambiente di programmazione grafica sviluppato da National Instrument utilizzato in ambito scientifico per applicazioni ingegneristiche per la configurazione e lo sviluppo di applicazioni di controllo, analisi e misura con interfacce utente professionali compatibile ad ampio raggio con una vasta gamma di strumenti.

LabVIEW, pur includendo i concetti di fondo dei tradizionali linguaggi di programmazione, si differenzia da questi per la programmazione grafica a flusso di dati (per questa ragione denominato *G-Language-Graphic Language*) che si realizza collegando insieme delle icone grafiche su un diagramma che poi viene compilato direttamente sul codice macchina in modo che i processori possano eseguirla. Inoltre, rispetto ai linguaggi di programmazione come C e C++, tradizionalmente basati su un approccio di tipo procedurale con linee sequenziali di testo, il codice G sviluppato in LabVIEW si realizza secondo le regole del flusso di dati, ovvero una serie sequenziale di comandi.



Determinante per la scelta di questo software nello sviluppo del sistema DAQ per la Test Cell è stata la necessità realizzazione di un codice di programmazione per gestire l'acquisizione, visualizzazione e salvataggio dei dati monitorati durante le prove condotte in Test Cell utilizzando un linguaggio di programmazione che fosse pratico, intuitivo e semplice nell'uso da parte dell'utente finale che è in grado di gestire l'intero laboratorio dalla service room mediante un interfaccia grafica per il controllo del sistema durante l'esecuzione dei test.

La definizione di strutture dati avviene sotto forma di elementi iconografici, ognuno dei quali racchiude in sé un algoritmo o una funzioni diversa, collegati mediante linee (*wire*), in modo da formare una sorta di diagramma di flusso. L'elaborazione di processi e task mediante diagrammi a blocchi e diagrammi di flusso seguono l'esecuzione a flusso di dati (*dataflow*) secondo il fili monodirezionali tra i nodi dei diagrammi che collegano i blocchi funzionali determinandone l'ordine di esecuzione: quando un nodo riceve dei dati validi in input, esegue la sua logica, produce i dati in uscita e passa tali dati al nodo successivo nel percorso a flusso di dati. Un nodo che riceve i dati da un altro nodo è in grado di andare in esecuzione solo dopo che l'altro nodo completa l'esecuzione, tuttavia i blocchi funzionali possono essere eseguiti anche in parallelo.

LabVIEW offre una piattaforma di sviluppo notevolmente flessibile integrando tutte le tecnologie necessarie in un unico ambiente di sviluppo in grado di soddisfare ogni tipo di esigenza applicativa rispetto a:

- *Acquisizione e analisi dei dati di misura.* All'interno di un singolo ambiente software, LabVIEW offre integrazione con hardware di acquisizione dati NI e di terze parti, librerie di elaborazione del segnale e controlli interfaccia utente per la visualizzazione dei dati di misura. Offre la possibilità di sviluppare più rapidamente i sistemi di misura, automatizzare misure multiple e prendere decisioni in base ai risultati.
- *Controllo degli strumenti.* L'automazione delle misure permette di ottimizzare i test in termini di produttività e affidabilità. Utilizzando LabVIEW per la gestione e la comunicazione con strumenti stand-alone è possibile automatizzare i dispositivi di misura e/o interagire con terze parti che possono essere programmate e riconfigurate per ogni tipo di esigenza durante un test.

L'interfaccia grafica utente per la visualizzazione dei dati e la gestione del laboratorio dalla postazione in service room è stata realizzata mediante l'uso di questo codice di programmazione. Di seguito sono riportate le schede esplicative della struttura che costituisce l'interfaccia utente, costituita principalmente da tre pagine denominate:

- Data Logger, per la gestione dell'acquisizione dati mediante data logger;
- Data screen, per il plottaggio dei parametri ambientali monitorati;
- HFS Tiles, per il plottaggio dei flussi termici a parete misurati dalle tiles.

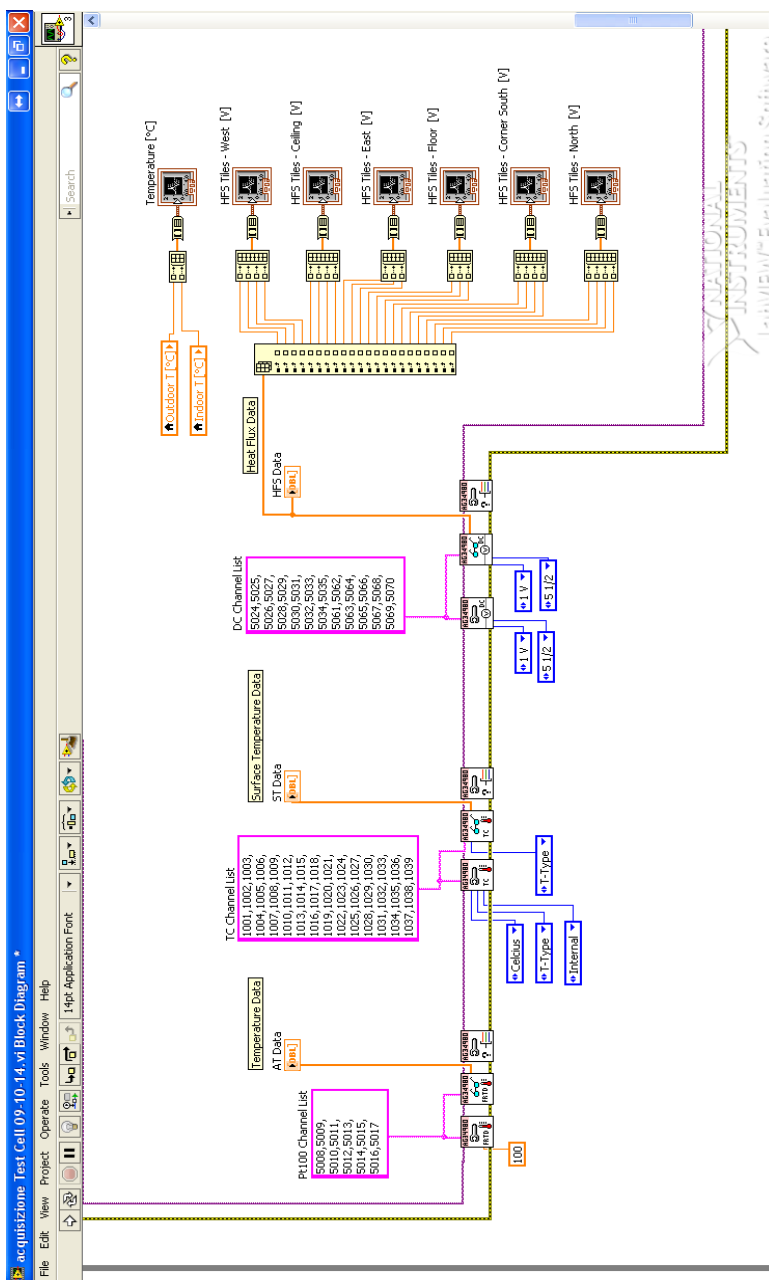
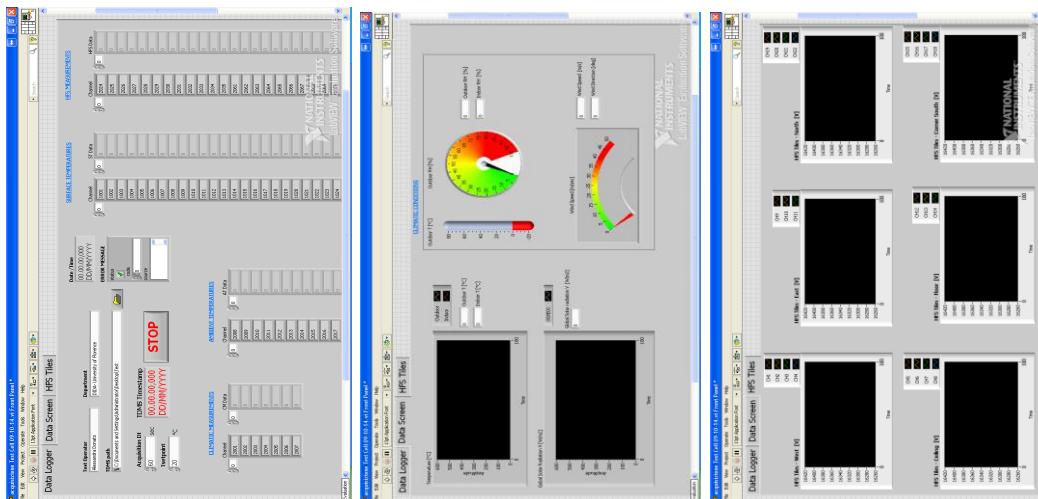


Fig.II.17. Estratto del codice di programmazione utilizzato per gestire l'acquisizione, visualizzazione e salvataggio dei dati monitorati durante le prove condotte in Test Cell. Esempio programmazione grafica a flusso di dati (per questa ragione denominato G-Language-Graphic Language) che si realizza mediante diagrammi a blocchi e diagrammi di flusso secondo l'esecuzione a flusso di dati (dataflow) secondo il filo monodirezionale tra i nodi dei diagrammi che collegano i blocchi funzionali (icone grafiche) determinandone l'ordine di esecuzione: quando un nodo riceve dei dati validi in input, esegue la sua logica, produce i dati in uscita e passa tali dati al nodo successivo nel percorso a flusso di dati. Attraverso tale codice è stato inoltre realizzata l'interfaccia grafica utente per la visualizzazione dei dati e la gestione del laboratorio dalla postazione in service room. Di seguito sono riportate le schede esplicative della struttura che costituisce l'interfaccia grafica (a destra)



L'interfaccia del sistema di acquisizione e controllo dati DAQ si compone di tre fogli:

- **Data Logger:** contiene i campi per il settaggio dei parametri di acquisizione del sistema e riporta in tempo reale i valori dei dati rilevati identificati secondo i canali di lettura del Data Logger;
- **Data Screen:** contiene i grafici dei più significativi parametri climatici esterni e ambientali interni;
- **HFS Tiles:** per ciascuna parete della Test Room riporta i grafici dei gruppi di tiles.

Campo di visualizzazione della data e dell'ora dell'orologio del computer.

Cluster di errore che restituisce un messaggio di alert qualora si verificasse un errore nel sistema DAQ.

Campi si settaggio all'interno dei quali si riportano le informazioni richieste all'operatore che esegue la prova (informazioni che verranno registrate sull'header del file giornaliero di monitoraggio) e path all'interno del quale avviene il salvataggio dei files .tdms contenente tutti i dati di

Campi di settaggio per l'impostazione:

- dell'intervallo di acquisizione Dt durante il monitoraggio.
- della temperatura di setpoint al di sopra della quale l'impianto di riscaldamento deve spegnersi.

Indicazione dell'orario (*timestamp sul file di acquisizione. tdms*) al quale, ad ogni intervallo Dt, viene eseguita la lettura dei valori monitorati. Tasto di stop all'acquisizione che provoca la chiusura del file di monitoraggio.

Visualizzazione in tempo reale del valore del dato monitorato in corrispondenza di ciascun canale di lettura sul Data Logger AGILENT, che, in caso di una lettura del valore monitorato errata o inattesa, consente di individuare rapidamente il sensore e il relativo collegamento al Data Logger nper eseguire le opportune verifiche.

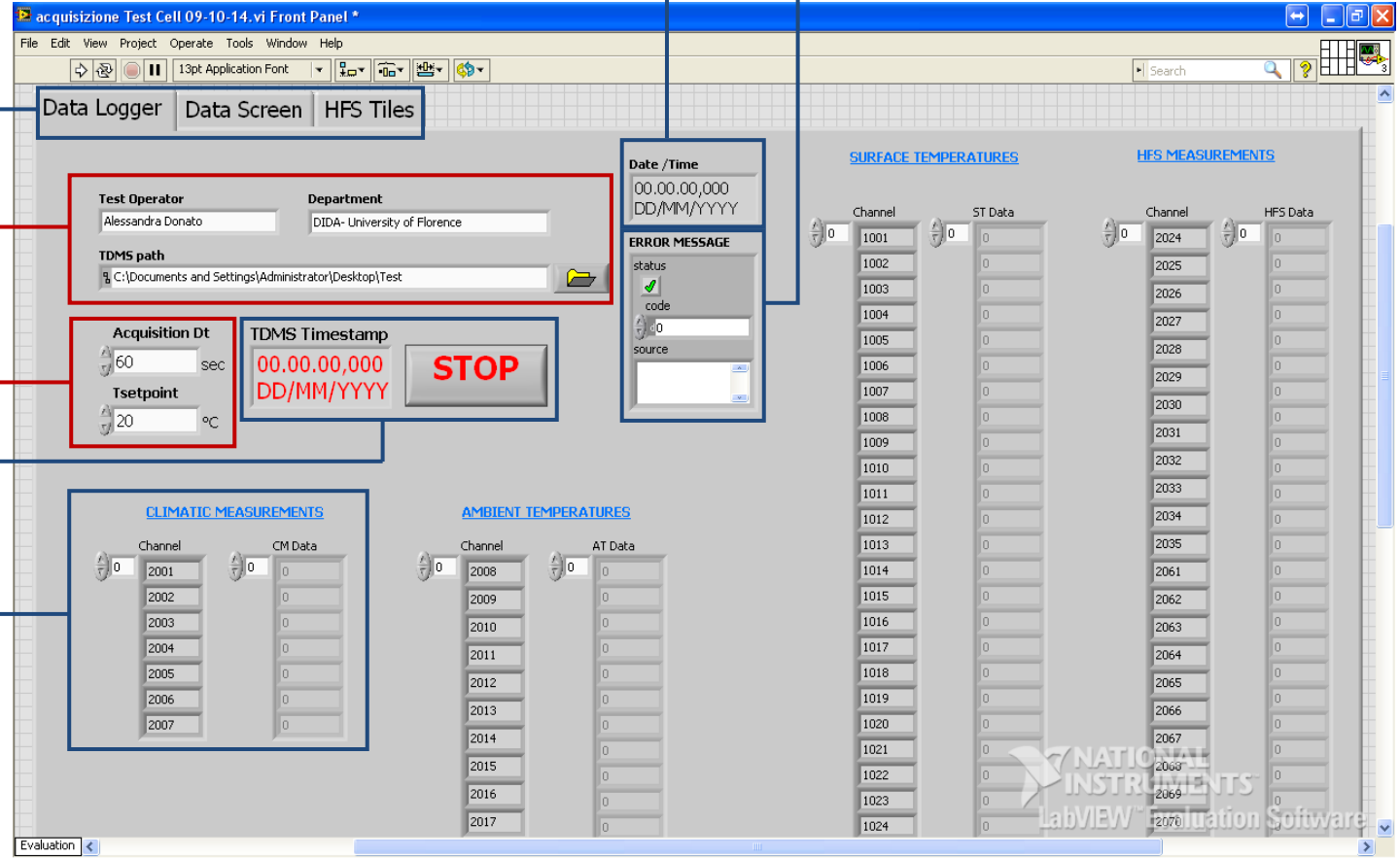


Fig.III.18. Interfaccia grafica per la gestione, l'acquisizione, la visualizzazione e il salvataggio dei dati monitorati durante le prove condotte in Test Cell, destinata all'uso da parte di un operatore che è in grado di gestire l'intero laboratorio dalla service room.

Pagina *Data logger*: contiene le informazioni relative alla prova e i valori monitorati durante la scansione dal Data Logger. Le finestre evidenziate in rosso indicano i campi di settaggio del sistema all'interno dei quali l'operatore imposta inserisce le informazioni relative al test e imposta i parametri della prova.

L'interfaccia del sistema di acquisizione e controllo dati DAQ si compone di tre fogli:

- **Data Logger:** riporta in tempo reale i valori dei dati rilevati identificati secondo i canali di lettura del Data Logger;
- **Data Screen:** contiene i grafici dei più significativi parametri climatici esterni e ambientali interni;
- **HFS Tiles:** per ciascuna parete della Test Room riporta i grafici dei gruppi di tiles.

Indicatori grafici dei parametri climatici esterni relativi a:

- Temperatura esterna a bulbo asciutto (Code: OATE01);
- Umidità relativa esterna (Code: ORHE01);
- Velocità del vento (Code: OAVE01).

Graficizzazione in tempo reale dei parametri ambientali relativi alla temperatura dell'aria a bulbo asciutto outdoor e indoor.

Sulla destra viene visualizzato il valore corrispondente a ciascuno dei due parametri, aggiornati ad ogni scansione di lettura dei dati monitorati dal Data Logger.

Le due misure si riferiscono ai valori di temperatura registrati dai due trasmettitori miniaturizzati:

- uno posto all'interno al centro della Test Room (Code: 1AT101).
- uno posto all'esterno di fronte alla parete di prova (Code: OATE01).

Graficizzazione in tempo reale della radiazione solare globale verticale sul piano della parete di prova.

Sulla destra viene visualizzato il valore corrispondente al valore monitorato aggiornato ad ogni scansione di lettura del Data Logger.

La misura si riferisce al valore registrato dal piranometro posto sul piano della parete di prova (Code: OGVE01).

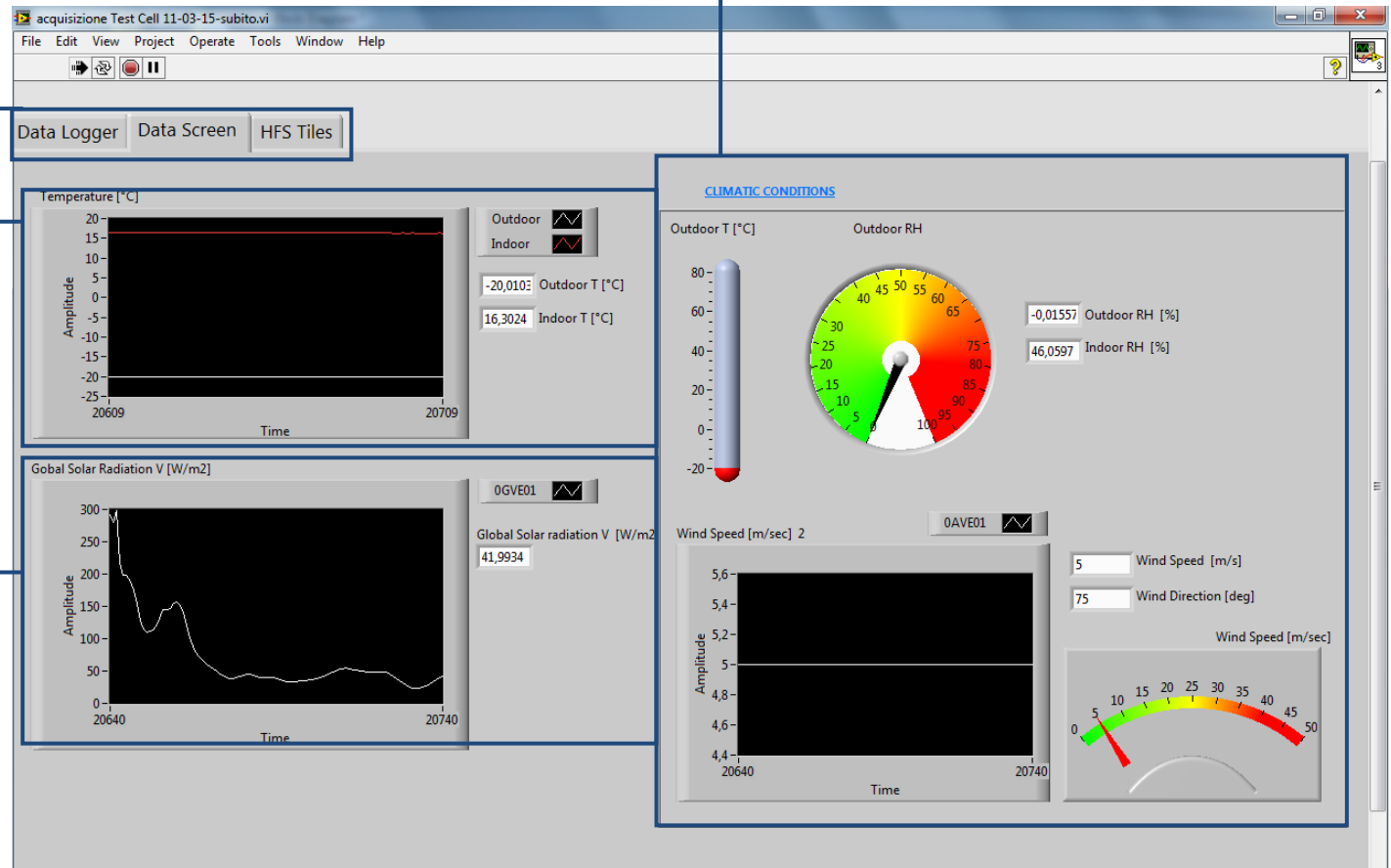


Fig.III.19. Interfaccia grafica per la gestione, l'acquisizione, la visualizzazione e il salvataggio dei dati monitorati durante le prove condotte in Test Cell, destinata all'uso da parte di un operatore che è in grado di gestire l'intero laboratorio dalla service room. Data Screen: Grafici di monitoraggio. Pagina Data Screen: riporta i grafici delle grandezze climatiche esterne monitorate dai sensori outdoor. Nel caso della Temperatura è possibile un confronto in tempo reale della temperatura interna ed esterna.



L'interfaccia del sistema di acquisizione e controllo dati DAQ si compone di tre fogli:

- *Data Logger*: riporta in tempo reale i valori dei dati rilevati identificati secondo i canali di lettura del Data Logger;
- *Data Screen*: contiene i grafici dei più significativi parametri climatici esterni e ambientali interni;
- *HFS Tiles*: per ciascuna parete della Test Room riporta i grafici dei gruppi di tiles.

Graficizzazione in tempo reale dei segnali finali ottenuti collegando in serie i gruppi di tiles secondo le modalità specificate nelle tabelle delle connessioni riportate per ciascuna parete della Test Room.

Per esempio, in riferimento al *ceiling*, il grafico mostra l'andamento del flusso di calore registrato da quattro diversi gruppi di tiles in serie, riportando l'indicazione del relativo segnale (CH5, CH6, CH7, CH8).

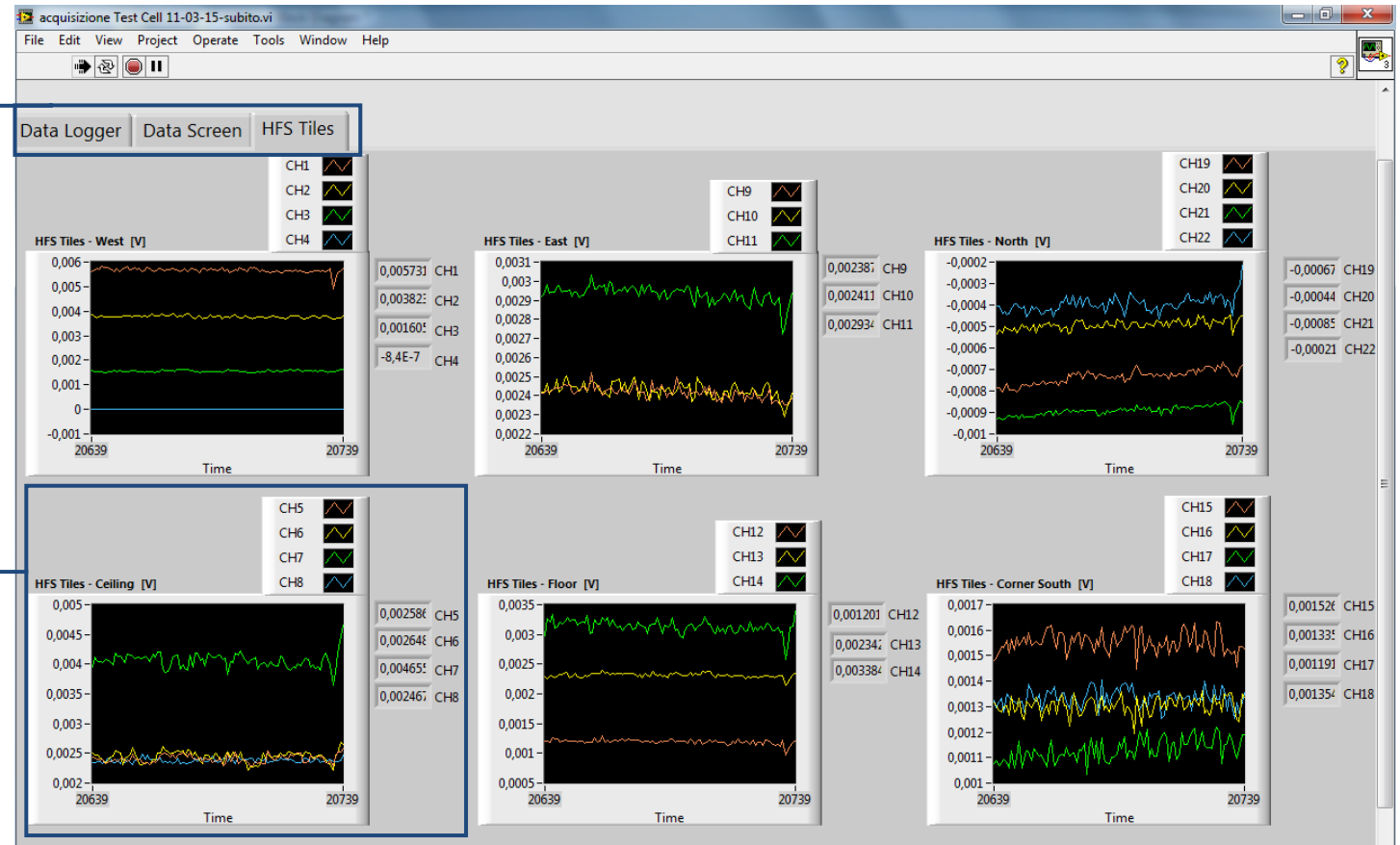


Fig.III.20. Interfaccia grafica per la gestione, l'acquisizione, la visualizzazione e il salvataggio dei dati monitorati durante le prove condotte in Test Cell, destinata all'uso da parte di un operatore che è in grado di gestire l'intero laboratorio dalla service room. Data Screen: Grafici di monitoraggio. Pagina *HFS Tiles*: per ciascuna parete interna della test room si riportano i grafici che mostrano l'andamento del flusso termico registrato dalle serie di tiles durante la prova di monitoraggio.

### Cap.III.3 Procedura di gestione, analisi e verifica dei dati monitorati

Supposto che la test cell possa essere utilizzata per la fornitura di un servizio rivolto alle aziende per la verifica e il testing delle performance di un prodotto innovativo, lo schema in Fig.III.21. descrive le diverse tappe del percorso di realizzazione e verifica di un prototipo sperimentale di parete.

Il percorso si compone di tre fasi:

- fase preliminare;
- fase operativa;
- fase propositiva.

A partire da una *fase preliminare* l'azienda può richiedere il supporto dell'Università già in fase di sviluppo del concept di sistema tecnologico, per procedere alla progettazione tecnica.

A supporto di questa fase, in funzione della complessità del sistema che si sta sviluppando, può essere condotta una simulazione del comportamento energetico del sistema a regime dinamico per orientare le scelte progettuali e tecnologiche verso strategie progettuali che consentano di ottenere migliori prestazioni in termini di risparmio energetico.

La *fase operativa* identifica l'insieme delle attività collegate alla prova di monitoraggio vera e propria (qualora un'azienda disponga di un prodotto già pronto su cui voglia effettuare indagini sul comportamento termofisico, il percorso di collaborazione tra impresa e Università, il rapporto tra i due soggetti può avere inizio da questo punto).

A monte di questo percorso, l'azienda deve definire gli obiettivi della prova a regime dinamico al fine di chiarire in principio quali siano i fenomeni che devono essere indagati per capire in che modo il componente reagisce alle condizioni outdoor.

Definiti gli obiettivi, è possibile procedere alla realizzazione del provino (secondo le specifiche tecniche fornite dall'Università) sul quale installare e predisporre tutti i sensori necessari al monitoraggio dei parametri significativi ai fini dell'indagine all'interno di ciascuno strato (*layer*) che compone il sistema di parete.

Si procede al trasporto del provino in loco e all'installazione sul frame della Test Cell.

Ha dunque inizio la prova di monitoraggio (che può avere una durata minima di 2-3 settimane) durante la quale i dati registrati vengono controllati e analizzati per l'elaborazione di un report finale destinato all'impresa contenente la descrizione del comportamento dinamico del provino durante tutta la durata della prova rispetto alle condizioni climatiche esterne e contestualmente al report viene fornito il relativo valore di trasmittanza U e capacità termica C della parete.

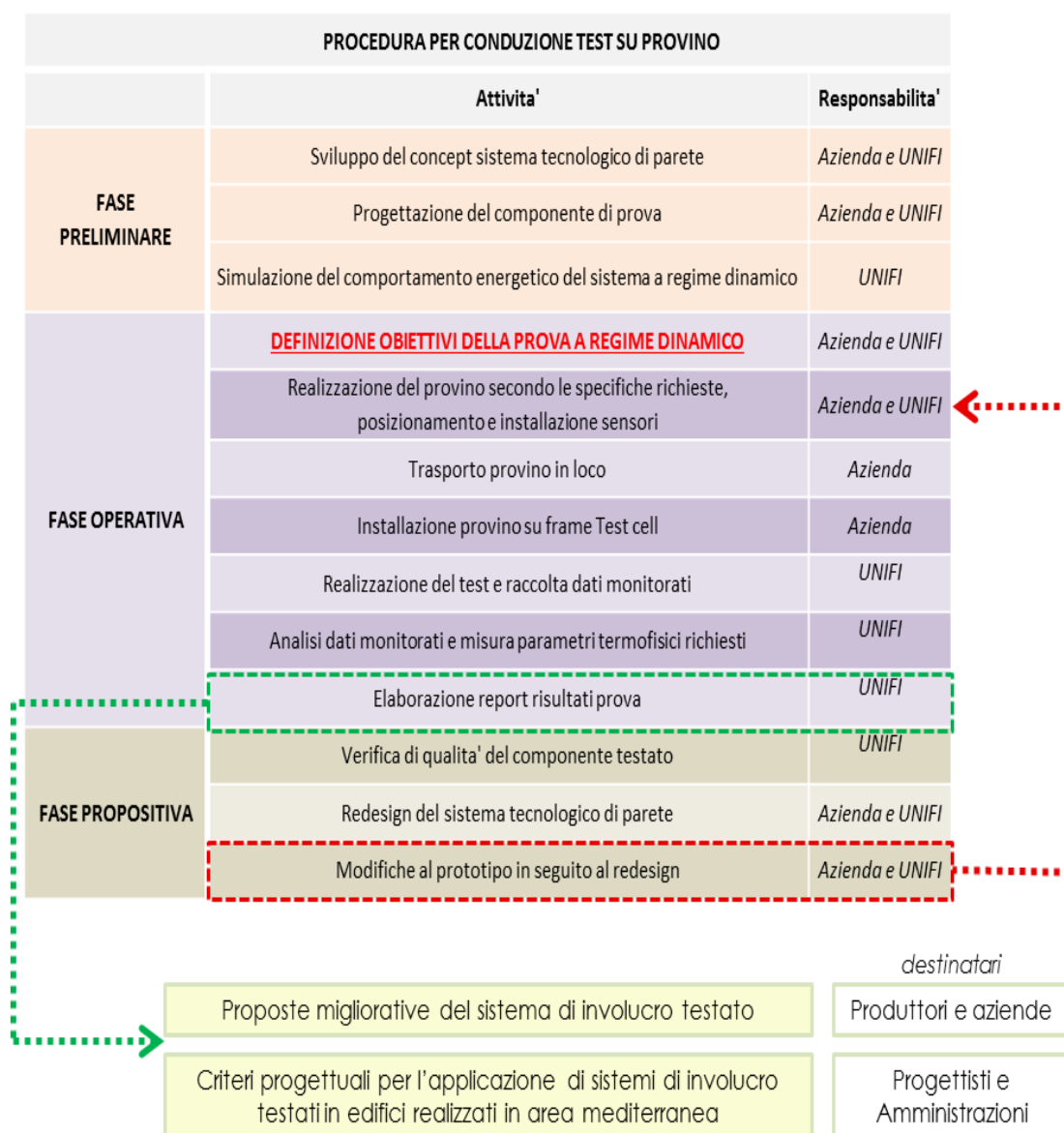


Fig.III. 15. Procedura per la conduzione di un Test su un provino: lo schema riporta l'indicazione delle attività che possono essere condotte dall'azienda in collaborazione con l'Università per lo sviluppo tecnologico di un componente innovativo.

In relazione alla natura dei soggetti che richiedono il servizio di testing (pubblici o privati), e alle finalità per le quali vengono effettuate le prove, il report può contenere:

- Proposte migliorative del sistema di involucro testato, qualora i committenti siano produttori/aziende di prodotti e materiali per l'edilizia;
- Criteri progettuali per l'applicazione di sistemi di involucro testati per essere installati ai fini dell'efficientamento energetico di edifici-pilota dell'area mediterranea.

Una volta conclusa la prova, qualora i risultati restituiti dal test non soddisfino le aspettative attese dalla committenza, si può procedere con la *fase propositiva*.

Si esegue una verifica della qualità del componente di prova per capire quali possano essere le modifiche da apportare al componente per migliorarne le prestazioni energetiche e, in funzione di tali modifiche, si prosegue nell'attività di sviluppo del componente innovativo attraverso un *redesign* del sistema tecnologico di prova. In seguito al redesign, si apportano infine le dovute modifiche al prototipo e si procede con l'esecuzione di un nuovo ciclo di prove finché i livelli di prestazione energetica raggiunti dal provino rispondono ai requisiti proposti a inizio del percorso di improving tecnologico.

All'interno del processo di testing di prodotto, la fase più rilevante ai fini del raggiungimento degli scopi finali della prova, riguarda l'analisi dei dati di output del monitoraggio ottenuti durante il test che avviene durante la fase operativa. Pertanto occorre prestare particolare attenzione al metodo con cui trattare questi dati al fine di estrapolarne le informazioni necessarie a descrivere il comportamento di un componente di prova in condizioni outdoor.

In Fig.III.22. viene dettagliata la metodologia applicata per la gestione, il trattamento e l'analisi dei dati, ovvero come dai dati grezzi acquisiti durante i test si arriva all'elaborazione dell'output di sintesi contenente le informazioni relative al comportamento dinamico del provino.

Il metodo è stato strutturato in tre steps successivi in rapporto ai quali vengono prodotti dei documenti in forma di schede grafiche e fogli di lavoro:

1. PRE-PROCESSING DATA, che riguarda la fase di preparazione e avvio della prova di monitoraggio in cui si lavora con i dati ancora grezzi, cioè si procede alla registrazione dei segnali analogici forniti dai sensori.
2. POST-PROCESSING DATA, in cui i dati grezzi vengono convertiti in dati significativi, ovvero tradotti in termini di grandezze fisiche, che vengono analizzati e manipolati ai fini della produzione dell'output di sintesi della prova.
3. DYNAMIC ANALYSIS, ossia la costruzione di un modello di analisi dinamica del provino per la determinazione dei valori dei parametri termofisici del componente testato in condizioni reali.

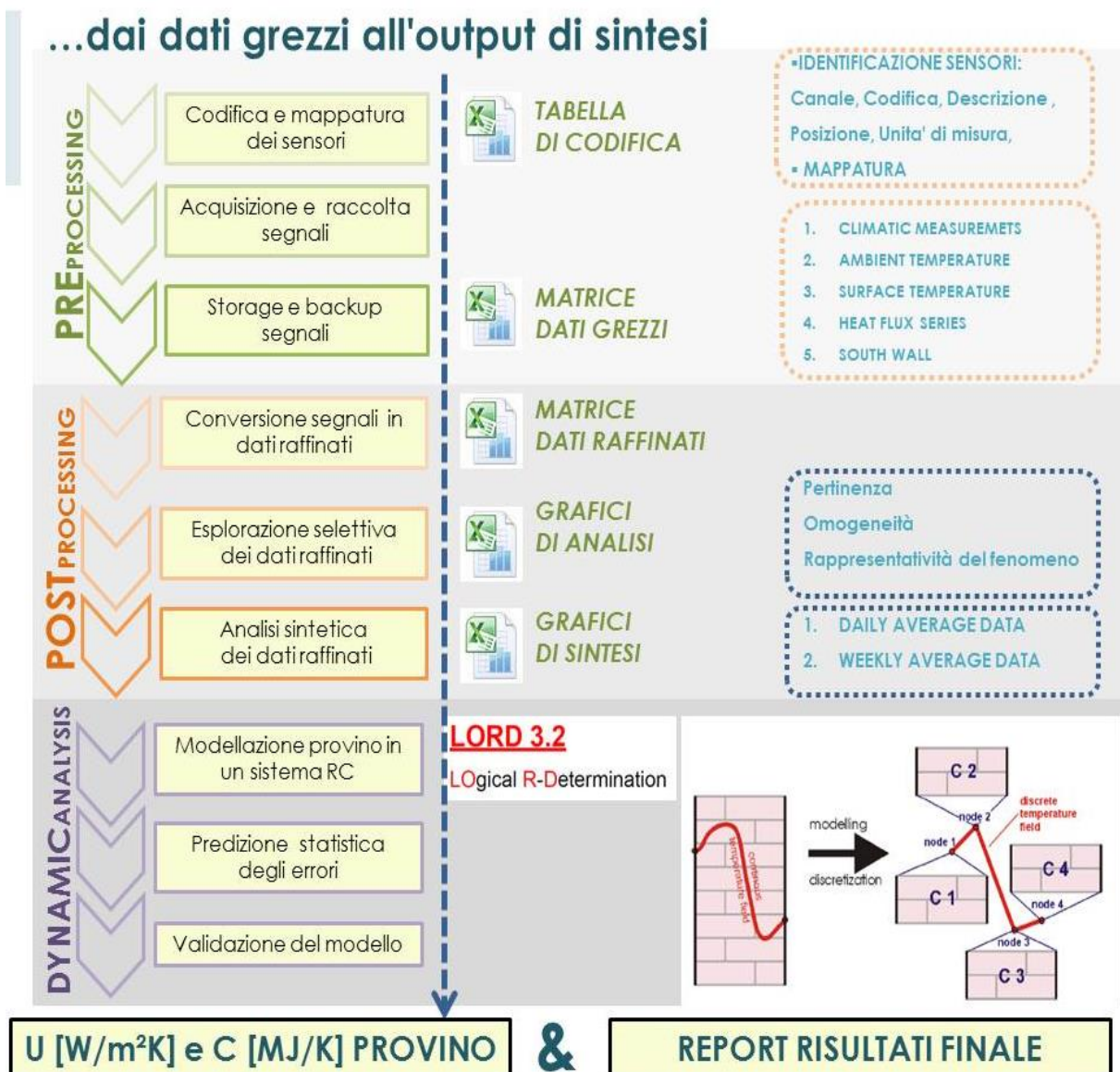


Fig.III. 22. Struttura di raccolta, gestione e analisi dei dati monitorati durante una prova in Test Cell.

La Test Cell è un laboratorio di misura molto complesso data la grande quantità di sensori impiegati nella prova e l'elevato numero di informazioni che vengono registrate ogni istante : la dotazione minima attualmente installata è costituita da un apparato di misura che conta più di 60 sensori e 230 tiles, senza contare gli eventuali sensori che andranno montati sul test wall, variabili per numero e tipologia in funzione delle esigenze e dagli obiettivi espressi a monte dell'indagine.

A causa dell'enorme quantità di dati registrati durante i test (circa 80 misure al minuto), è stato necessario definire preliminarmente la struttura del database di raccolta dati per ridurre la possibilità di commettere errori in fase di elaborazione dei risultati. Tale struttura è stata organizzata in 5 fogli di calcolo così come riportato in Fig.III. 16. Il loro contenuto verrà esplicitato più in dettaglio nei paragrafi che seguono.

### III.3.1 Pre-Processing Data

Il pre-processing data rappresenta il momento immediatamente prima all'esecuzione del test vero e proprio, durante il quale si procede alla pianificazione della prova in termini di organizzazione preliminare della struttura dei dati (in relazione ai parametri monitorati) sulla base del numero e della tipologia di sensori che, durante la fase operativa, sono stati predisposti sul provino da testare di concerto tra azienda e Università.

Tutti i sensori impiegati nella prova vengono codificati e mappati in modo da essere individuati in modo univoco in qualsiasi momento durante il test.

A tale scopo, come documento di accompagnamento alla prova viene costruita la *scheda di codifica dei sensori* che deve essere aggiornata all'inizio di ogni prova e che assegna ad ogni sensore:

- un *codice* che consente di risalire rapidamente al parametro misurato;
- il *canale* di collegamento al datalogger, per facilitare eventuali controlli sulla qualità del segnale o sul corretto funzionamento del sensore;
- una *descrizione* del sensore (tipologia e caratteristiche tecniche) e della posizione in cui è stato collocato all'interno o all'esterno del laboratorio;
- Il *tipo di segnale* analogico (segnale elettrico in V o in A) fornito come output dal sensore;
- l'*unità di misura* corrispondente al parametro che viene misurato dal sensore;
- l'*accuratezza* del sensore, per verificare la precisione della misura;
- il *numero* progressivo del sensore all'interno del sistema di monitoraggio.

A corredo di questa scheda, per ciascuna tipologia di sensori (termocoppie, termoesistenze, termoflussimetri, ecc. ) viene eseguita una mappatura georeferenziata di tutti i sensori suddivisi in base alla tipologia e al parametro monitorato: per ciascun sensore sono riportate le informazioni circa il codice identificativo, il canale di collegamento al DL, il tipo di sensore, e il parametro misurato.

Gli elaborati grafici riportati nelle pagine che seguono illustrano le schede di codifica suddivise in base alle quattro *categorie di misure* individuate in via prioritaria in relazione al tipo di parametro, *climatico o ambientale*, al quale si riferisco:

- *Climatic Measurement;*
- *Ambient Temperature;*
- *Surface Temperature;*
- *Heat Flux Series.*

**ESEMPIO DI SCHEDA DI CODIFICA DEI SENSORI : NOMENCLATURA E POSIZIONE DEI SENSORI COLLOCATI IN TEST CELL.**

**Channel:** indica il canale del Data logger al quale è collegato il sensore per la lettura del relativo segnale.

**Code:** è il codice di identificazione del parametro misurato, che consente di identificare in modo univoco il sensore di misura: ad esempio **OATE01**  
**O:** indica che il dato si riferisce alle condizioni climatiche outdoor  
**AT:** Temperatura dell'aria  
**E:** sensore esterno  
**01:** numerazione del sensore riportato sulla mappatura per identificarne la posizione.

**Slot DL:** indica a quale slot del data logger è collegato il sensore.  
**1:** HP 34921A (40 canali) per misure con termocoppie di tipo T;  
**2:** HP 34922A (70 canali) per sensori a 2 o 4 fili.

**Description:** riporta una breve descrizione del tipo di sensore impiegato per la misura e della posizione in cui è stato collocato all'interno o all'esterno del laboratorio.

**Unit Data Logger:** unità di misura del segnale restituito dal sensore.

**Unit Measurement:** unità di misura del parametro fisico misurato attraverso il sensore mediante il fattore di calibrazione.

**Accuracy:** accuratezza della misura rilevata col sensore.

**Number Channel:** numero assegnato al sensore nel conteggio progressivo dei sensori installati per la prova.

NOMENCLATURA E POSIZIONE DEI SENSORI COLLOCATI NELLA TEST CELL								
	Channel	Code	Slot DL	Description	Unit Data Logger	Unit Measurement	Accuracy	Number channel
C L I M A T I C I	DIEF1	0AVE02		Anemometro, Velocità del vento, presso la stazione meteorologica DIEF, a 6 m di altezza dal suolo.	mA	m/s	± 0,1	1
	DIEF2	0ADE02		Gonioanemometro, Direzione del vento, presso la stazione meteorologica DIEF, a 6 m di altezza dal suolo.	mA	deg	± 1	2
	DIEF3	0APE01		Barometro, Pressione atmosferica esterna, presso la stazione meteorologica DIEF, a 6 m di altezza dal suolo.	mA	mbar	± 0,5	3
	DIEF4	0GHE02		Piranometro, Radiazione solare globale orizzontale, presso la stazione meteorologica DIEF, a 6 m di altezza dal suolo.	V	W/m2	± 1	4
	1041	0EP01	1	Wattimetro, Potenza elettrica collegata al ventilatore e a riscaldatore posgti dentro il box al centro della test Room	mA	W		5
	1042	0AVE01	1	Anemometro, Velocità del vento, posto al centro della parete sud, a una distanza di 2 m, all'altezza del test wall.	mA	m/s	± 0,1	6
	1043	0ADE01	1	Gonioanemometro, Direzione del vento, posto al centro della parete est, a una distanza di 2 m, all'altezza del test wall.	mA	deg	± 1	7
	5003	0GVE01	2	Piranometro, Radiazione solare globale verticale, posta sulla parete sud, all'altezza del test wall.	V	W/m²	± 1	8
T E M P E R A T U R A	5004	0RHE01	2	Trasmittitore di RH, Umidità relativa esterna, posto al centro della parete est, a una distanza di 2 m, all'altezza del test wall.	V	%	± 0,5	9
	5005	0ATE01	2	Trasmittitore di Temperatura dell'aria esterna, a 50 cm dal centro della parete sud, a 2 m di altezza dal suolo.	V	°C	± 0,1	10
	5006	1RH01	2	Trasmittitore di RH, Umidità relativa interna, al centro della Test Room.	V	%	± 0,5	11
	5007	1ATI01	2	Trasmittitore di Temperatura dell'aria interna, al centro della Test Room.	V	°C	± 0,1	12
	5008	0ATE02	2	Pt100 Temperatura dell'aria esterna, a 20 cm dalla parete Nord, all'interno della schematura solare.	°C	°C	± 0,1	13
	5009	0ATE03	2	Pt100 Temperatura dell'aria esterna, a 20 cm dal tetto, al di sotto della copertura schermante.	°C	°C	± 0,1	14
	5010	0ATE04	2	Pt100 Temperatura dell'aria esterna, sull'asse centrale longitudinale della Test Cell, a metà altezza tra il suolo e il solaio del pavimento.	°C	°C	± 0,1	15
	5011	1ATI02	2	Pt100 Temperatura dell'aria interna, al centro del pavimento, 15 cm sopra.	°C	°C	± 0,1	16
	5012	1ATI03	2	Pt100 Temperatura dell'aria interna, al centro del soffitto, 15 cm sotto.	°C	°C	± 0,1	17
	5013	1ATI04	2	Pt100 Temperatura dell'aria interna, al centro del parete Est, distante 15 cm.	°C	°C	± 0,1	18
U M I D I T À	5014	1ATI05	2	Pt100 Temperatura dell'aria interna, al centro del parete Ovest, distante 15 cm.	°C	°C	± 0,1	19
	5015	1ATI06	2	Pt100 Temperatura dell'aria interna, al centro del tramezzo Nord, distante 15 cm.	°C	°C	± 0,1	20
	5016	1ATI07	2	Pt100 Temperatura dell'aria interna, al centro della parete Sud, distante 15 cm.	°C	°C	± 0,1	21
	5017	1RTI01	2	Globotermometro, Temperatura radiante interna, al centro della Test Room.	°C	°C	± 0,1	22

Fig.III. 23. Scheda di codifica dei sensori: elenco dei sensori climatici (per la misura dei parametri ambientali e climatici outdoor) e delle termoresistenze installate per la misura delle temperature ambientali dell'aria (indoor e outdoor).





**SCHEDE DI CODIFICA DEI SENSORI:  
Nomenclatura, posizione e mappatura dei sensori collocati in Test Cell**



**SCHEDA DI CODIFICA DEI SENSORI PER LA MISURA DELLE TEMPERATURE SUPERFICIALI (INDOOR E OUTDOOR)**

La schedatura dei sensori è stata effettuata per ciascuna tipologia di sensore utilizzato all'interno del laboratorio. La tabella sotto riportata specifica tutte le informazioni utili ad identificare in modo univoco i sensori per la misura dei parametri climatici esterni (piranometri, anemometri, barometri, ecc.) e le termoresistenze per la misura delle temperature ambientali e umidità (indoor e outdoor).

NOMENCLATURA E POSIZIONE DEI SENSORI COLLOCATI NELLA TEST CELL								
C L I M A T I C I	Channel	Code	Slot DL	Description	Unit Data Logger	Unit Measurement	Accuracy	Number channel
		DIEF1	0AVE02		Anemometro, Velocità del vento, presso la stazione meteorologica DIEF, a 6 m di altezza dal suolo.	mA	m/s	± 0,1
	DIEF2	0ADE02		Gonioanemometro, Direzione del vento, presso la stazione meteorologica DIEF, a 6 m di altezza dal suolo.	mA	deg	± 1	2
	DIEF3	0APE01		Barometro, Pressione atmosferica esterna, presso la stazione meteorologica DIEF, a 6 m di altezza dal suolo.	mA	mbar	± 0,5	3
	DIEF4	0GHE02		Piranometro, Radiazione solare globale orizzontale, presso la stazione meteorologica DIEF, a 6 m di altezza dal suolo.	V	W/m2	± 1	4
	1041	0EP01	1	Wattmetro, Potenza elettrica collegata al ventilatore e a riscaldatore posgi dentro il box al centro della test Room	mA	W		5
	1042	0AVE01	1	Anemometro, Velocità del vento, posto al centro della parete sud, a una distanza di 2 m, all'altezza del test wall.	mA	m/s	± 0,1	6
	1043	0ADE01	1	Gonioanemometro, Direzione del vento, posto al centro della parete est, a una distanza di 2 m, all'altezza del test wall.	mA	deg	± 1	7
	5003	0GVE01	2	Piranometro, Radiazione solare globale verticale, posta sulla parete sud, all'altezza del test wall.	V	W/m <sup>2</sup>	± 1	8
T E M P E R A T U R A	5004	0RHE01	2	Trasmettitore di RH, Umidità relativa esterna, posto al centro della parete est, a una distanza di 2 m, all'altezza del test wall.	V	%	± 0,5	9
	5005	0ATE01	2	Trasmettitore di Temperatura dell'aria esterna, a 50 cm dal centro della parete sud, a 2 m di altezza dal suolo.	V	°C	± 0,1	10
	5006	1RHI01	2	Trasmettitore di RH, Umidità relativa interna, al centro della Test Room.	V	%	± 0,5	11
	5007	1ATI01	2	Trasmettitore di Temperatura dell'aria interna, al centro della Test Room.	V	°C	± 0,1	12
	5008	0ATE02	2	Pt100 Temperatura dell'aria esterna, a 20 cm dalla parete Nord, all'interno della schermatura solare.	°C	°C	± 0,1	13
	5009	0ATE03	2	Pt100 Temperatura dell'aria esterna, a 20 cm dal tetto, al di sotto della copertura schermante.	°C	°C	± 0,1	14
	5010	0ATE04	2	Pt100 Temperatura dell'aria esterna, sull'asse centrale longitudinale della Test Cell, a metà altezza tra il suolo e il solaio del pavimento.	°C	°C	± 0,1	15
	5011	1ATI02	2	Pt100 Temperatura dell'aria interna, al centro del pavimento, 15 cm sopra.	°C	°C	± 0,1	16
	5012	1ATI03	2	Pt100 Temperatura dell'aria interna, al centro del soffitto, 15 cm sotto.	°C	°C	± 0,1	17
	5013	1ATI04	2	Pt100 Temperatura dell'aria interna, al centro del parete Est, distante 15 cm.	°C	°C	± 0,1	18
	5014	1ATI05	2	Pt100 Temperatura dell'aria interna, al centro del parete Ovest, distante 15 cm.	°C	°C	± 0,1	19
	5015	1ATI06	2	Pt100 Temperatura dell'aria interna, al centro del tramezzo Nord, distante 15 cm.	°C	°C	± 0,1	20
	5016	1ATI07	2	Pt100 Temperatura dell'aria interna, al centro della parete Sud, distante 15 cm.	°C	°C	± 0,1	21
	5017	1RTI01	2	Globotermometro, Temperatura radiante interna, al centro della Test Room.	°C	°C	± 0,1	22

**SCHEDA DI CODIFICA DEI SENSORI PER LA MISURA DELLE TEMPERATURE SUPERFICIALI (INDOOR E OUTDOOR)**

La schedatura dei sensori è stata effettuata per ciascuna tipologia di sensore utilizzato all'interno del laboratorio. La tabella sotto riportata specifica tutte le informazioni utili ad identificare in modo univoco le termocoppie utilizzate in Test Cell per la misura delle temperature superficiali (indoor e outdoor).

	Channel	Code	Slot DL	Description	Unit Data Logger	Unit Measurement	Accuracy	Number channel
T E M P E R A T U R E  S U P E R F I C I A L I	1001	1STE01	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale esterna, parete Ovest, al centro.	°C	°C	± 0.1	23
	1002	1STE02	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale esterna, parete Ovest, a metà del lato superiore, a 30 cm dal soffitto.	°C	°C	± 0.1	24
	1003	1STE03	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale esterna, parete Ovest, a metà del lato sud, a 30 cm dallo spigolo.	°C	°C	± 0.1	25
	1004	1STE04	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale esterna, parete Ovest, a metà del lato inferiore, a 30 cm dal pavimento.	°C	°C	± 0.1	26
	1005	1STE05	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale esterna, parete Ovest, a metà del lato nord, a 30 cm dallo spigolo.	°C	°C	± 0.1	27
	1006	1STE06	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale esterna, parete Est, al centro	°C	°C	± 0.1	28
	1007	1STE07	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale esterna, parete Est, a metà del lato superiore, a 30 cm dal soffitto.	°C	°C	± 0.1	29
	1008	1STE08	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale esterna, parete Est, a metà del lato nord, a 30 cm dallo spigolo.	°C	°C	± 0.1	30
	1009	1STE09	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale esterna, parete Est, a metà del lato inferiore, a 30 cm dal pavimento.	°C	°C	± 0.1	31
	1010	1STE10	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale esterna, parete Est, a metà del lato sud, a 30 cm dallo spigolo.	°C	°C	± 0.1	32
	1011	1STE11	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale esterna, al centro del tramezzo.	°C	°C	± 0.1	33
	1012	1STE18	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale esterna, parete Sud, al centro	°C	°C	± 0.1	34
	1013	1STE19	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale esterna, parete Sud, a metà del lato superiore, a 30 cm dal soffitto.	°C	°C	± 0.1	35
	1014	1STE20	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale esterna, parete Sud, a metà del lato est, a 30 cm dallo spigolo.	°C	°C	± 0.1	36
	1015	1STE21	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale esterna, parete Sud, a metà del lato inferiore, a 30 cm dal pavimento.	°C	°C	± 0.1	37
	1016	1STE22	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale esterna, parete Sud, a metà del lato ovest a 30 cm dallo spigolo.	°C	°C	± 0.1	38
	1017	1STI01	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, al centro del soffitto	°C	°C	± 0.1	39
	1018	1STI02	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, parete Ovest, al centro	°C	°C	± 0.1	40
	1019	1STI03	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, parete Ovest, a metà del lato superiore, a 30 cm dal soffitto.	°C	°C	± 0.1	41
	1020	1STI04	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, parete Ovest, a metà del lato sud, a 30 cm dallo spigolo.	°C	°C	± 0.1	42
	1021	1STI05	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, parete Ovest, a metà del lato inferiore, a 30 cm dal pavimento.	°C	°C	± 0.1	43
	1022	1STI06	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, parete Ovest, a metà del lato nord, a 30 cm dallo spigolo.	°C	°C	± 0.1	44
	1023	1STI07	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, parete Est, al centro	°C	°C	± 0.1	45
	1024	1STI08	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, parete Est, a metà del lato superiore, a 30 cm dal soffitto.	°C	°C	± 0.1	46
	1025	1STI09	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, parete Est, a metà del lato nord, a 30 cm dallo spigolo.	°C	°C	± 0.1	47
	1026	1STI10	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, parete Est, a metà del lato inferiore, a 30 cm dal pavimento.	°C	°C	± 0.1	48
	1027	1STI11	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, parete Est, a metà del lato sud, a 30 cm dallo spigolo.	°C	°C	± 0.1	49
	1028	1STI12	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, al centro della porta.	°C	°C	± 0.1	50
	1029	1STI13	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, al centro del tramezzo.	°C	°C	± 0.1	51
	1030	1STI14	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, soffitto, a metà dello lato nord, a 30 cm dallo spigolo.	°C	°C	± 0.1	52
	1031	1STI15	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, soffitto, a metà dello lato sud, a 30 cm dallo spigolo.	°C	°C	± 0.1	53
	1032	1STI16	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, pavimento, a metà dello lato nord, a 30 cm dallo spigolo.	°C	°C	± 0.1	54
	1033	1STI17	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, al centro del pavimento.	°C	°C	± 0.1	55
	1034	1STI18	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, pavimento, a metà dello lato sud, a 30 cm dallo spigolo.	°C	°C	± 0.1	56
	1035	1STI19	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, parete Sud, al centro	°C	°C	± 0.1	57
	1036	1STI20	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, parete Sud, a metà del lato superiore, a 30 cm dal soffitto.	°C	°C	± 0.1	58
	1037	1STI21	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, parete Sud, a metà del lato sud, a 30 cm dallo spigolo.	°C	°C	± 0.1	59
	1038	1STI22	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, parete Sud, a metà del lato inferiore, a 30 cm dal pavimento.	°C	°C	± 0.1	60
	1039	1STI23	1	Termocoppia tipo T, Temperatura superficiale interna, parete Sud, a metà del lato nord, a 30 cm dallo spigolo.	°C	°C	± 0.1	61

**SCHEDA DI CODIFICA DEI SENSORI HFS TILES PER LA MISURA DEL FLUSSO TERMICO A PARETE.**

La tabella sotto riportata specifica tutte le informazioni utili ad identificare in modo univoco le serie di Tiles collegate nella test room per la misura del flusso termico a parete. Alle voci precedentemente esplicitate per le altre tipologie di sensori viene specificato nelle ultime due colonne :

- il numero di tiles collegate alla serie ;
- il codice identificativo del flat cable che intercetta le tiles del gruppo.

	Channel	Code	Slot DL	Description	Unit Data Logger	Unit Measurement	Accuracy	Number channel	Ntiles	Flat Cable
H F S  T I L E S	5024	CH1	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso spigolo parete Ovest/pavimento 16 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	62	16	FC 4
	5025	CH2	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso la parete Ovest, 16 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	63	16	FC 5
	5026	CH3	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso la parete Ovest, 8 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	64	8	FC 6
	5027	CH4	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso la parete Ovest, 8 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	65	8	FC 6
	5028	CH5	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso il soffitto, 8 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	66	8	FC 7
	5029	CH6	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso il soffitto, 8 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	67	8	FC 7
	5030	CH7	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso il soffitto, 16 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	68	16	FC 8
	5031	CH8	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso spigolo soffitto/parete Est, 16 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	69	16	FC 9
	5032	CH9	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso la parete Est, 16 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	70	16	FC 10
	5033	CH10	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso la parete Est, 8 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	71	8	FC 11
	5034	CH11	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso la parete Est, 8 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	72	8	FC 11
	5035	CH12	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso il pavimento, 8 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	73	8	FC 12
	5061	CH13	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso il pavimento, 8 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	74	8	FC 12
	5062	CH14	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso il pavimento, 16 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	75	16	FC 13
	5063	CH15	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso sigolo Sud/parete Est, 5 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	76	5	FC 14
	5064	CH16	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso sigolo Sud/parete Ovest, 5 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	77	5	FC 14
	5065	CH17	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso sigolo Sud/soffitto, 5 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	78	5	FC 14
	5066	CH18	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso sigolo Sud/pavimento, 5 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	79	5	FC 14
	5067	CH19	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso porta parete Nord, 8 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	80	8	FC 15
	5068	CH20	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso la parete Nord, 4 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	81	8	FC 16
	5069	CH21	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso la parete Nord, 4 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	82	8	FC 17
	5070	CH22	2	HFS Tiles, Flusso di calore attraverso la parete Nord, 5 tiles, (+) verso fuori.	V	W	± 0,001	83	5	FC 18

**MAPPATURA DELLE TERMOCOPPIE PER LA MISURA DELLE TEMPERATURE SUPERFICIALI (INDOOR E OUTDOOR)\_ Parete Ovest e Parete Est.**

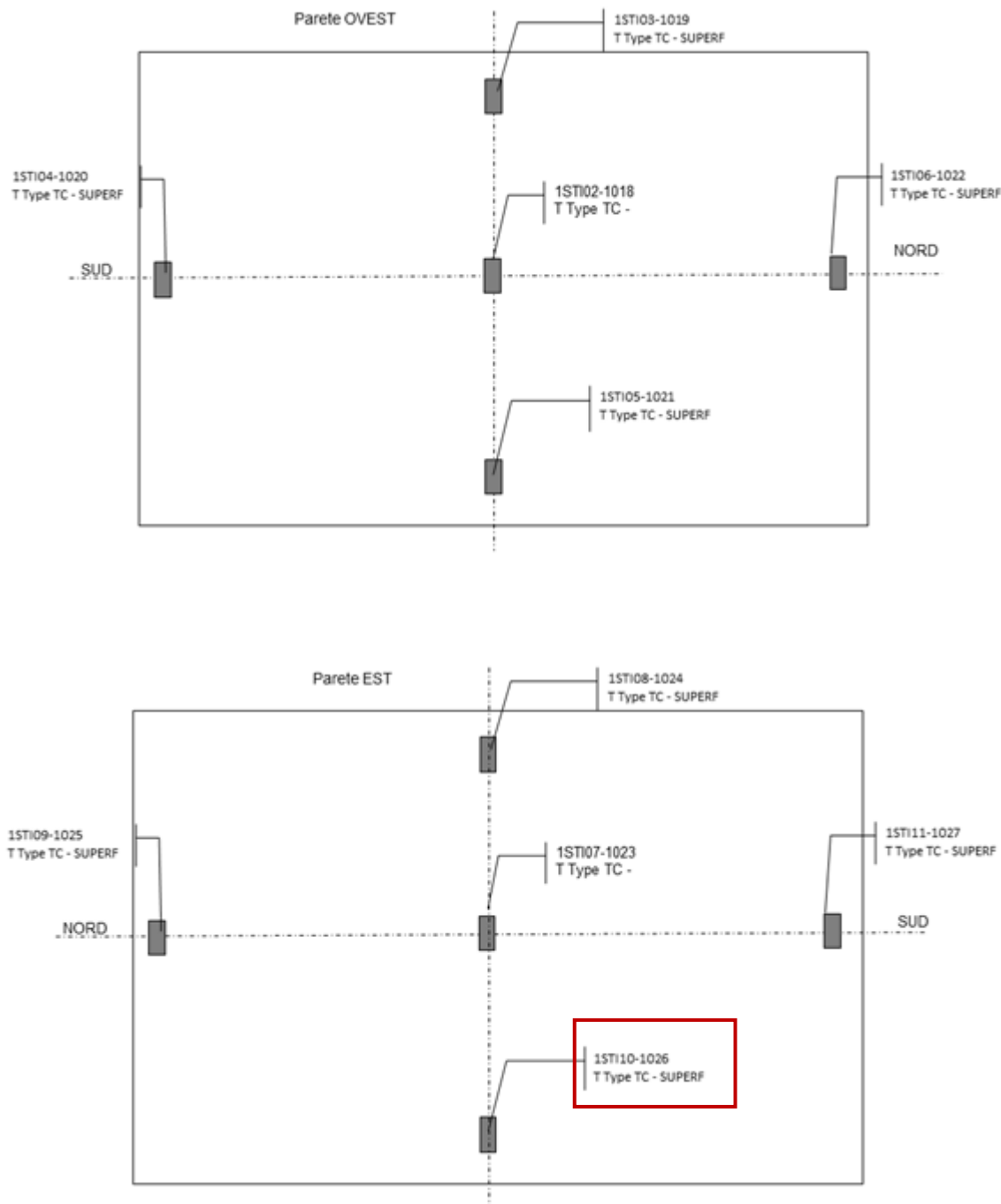


Fig.III.24. Esempio di mappatura delle termocoppie superficiali a parete collocate all'interno delle pareti della Test Room (Pareti Ovest ed Est). Per ciascun sensore sono riportate le informazioni circa il codice identificativo, il canale di collegamento al DL, il tipo di sensore, e il parametro misurato. Con riferimento al sensore evidenziato 15TI10-1026/ T Type TC – SUPERF : 15TI10 è il codice identificativo del sensore; 1026 il canale del data logger a cui il sensore è collegato; T Type TC specifica che si tratta di una termocoppia di tipo T; SUPERF indica che la misura della temperatura si riferisce alla superficie della parete.

**MAPPATURA DELLE TERMOCOPPIE PER LA MISURA DELLE TEMPERATURE SUPERFICIALI (INDOOR E OUTDOOR)\_Soffitto e Parete Sud.**

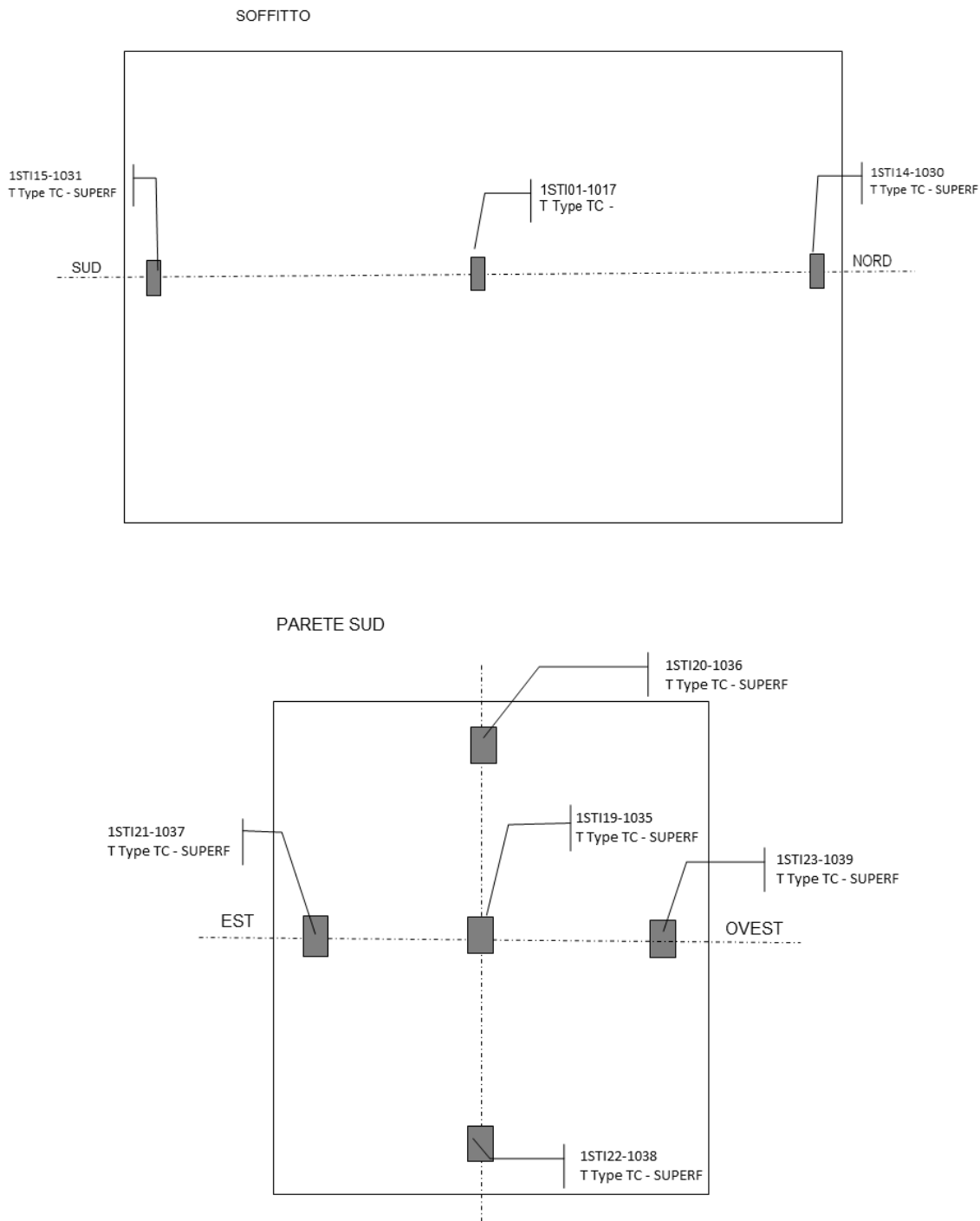


Fig.III.25. Esempio di mappatura delle termoresistenze superficiali a parete collocate all'interno delle pareti della Test Room. Per ciascun sensore sono riportate le informazioni circa il codice identificativo, il canale di collegamento al DL, il tipo di sensore, e il parametro misurato. (Soffitto e parete Sud)

**MAPPATURA DEI GRUPPI DI HFS TILES POSTE IN SERIE SULLE PARETI INTERNE DELLA TEST ROOM**

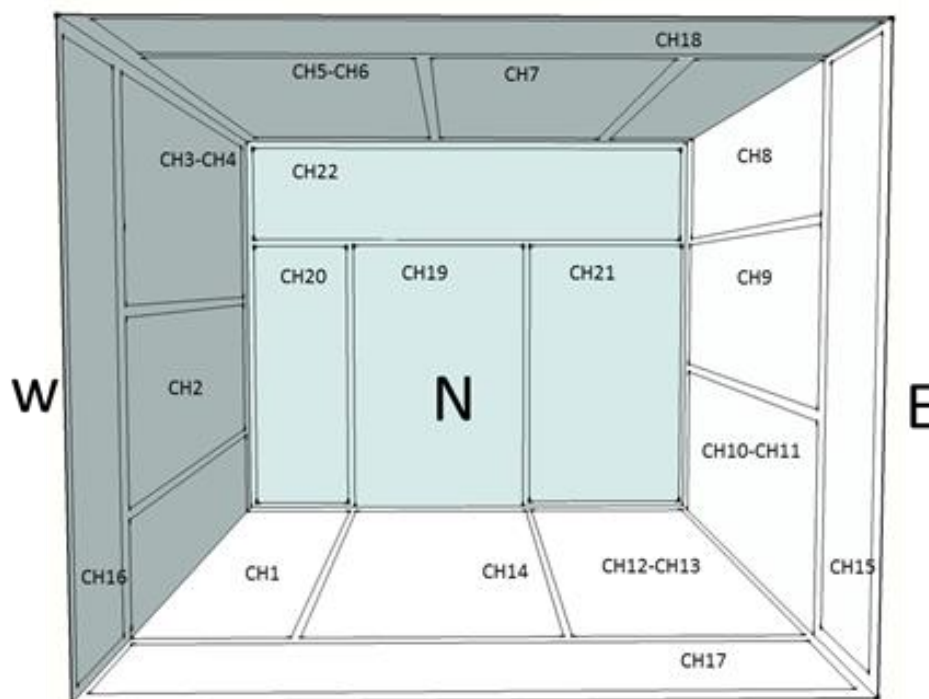


Fig.III. 17. Mappatura dei sensori di flusso HFS Tiles poste sulle pareti interne della test room. L'immagine riporta una semplificazione grafica al data suddivisione in gruppi di tiles collegate in serie. Con riferimento a ciascun gruppo riportato in figura, viene fornita l'indicazione del relativo codice del segnale riportato al data logger per la graficizzazione dei flussi termici monitorati (CH1. CH2...ecc.)



Fig.III.27. Vista della disposizione dei gruppi di HFS Tiles all'interna della test room.



In fase di Preprocessing Data, il sistema di acquisizione DAQ è stato programmato per costruire quotidianamente un file Excel sul quale vengono registrati i dati grezzi monitorati durante la prova.

Ogni giorno alle ore 00.00 il DAQ crea un nuovo file nominato *RawData\_dd/mm/aaaa* all'interno del quale registra i dati relativi a quella giornata con una frequenza di 60 secondi per tutto l'arco delle 24 h.

I dati acquisiti, già in fase di preprocessing, seppur *grezzi* vengono classificati e ordinati nelle 4 categorie di misure precedentemente individuate:

- *Climatic Measurement;*
- *Ambient Temperature;*
- *Surface Temperature;*
- *Heat Flux Series.*

a cui fanno riferimento 4 diversi fogli di calcolo contenuti tutti all'interno del medesimo file *RawData\_dd/mm/aaaa*. Sulla base di questa classificazione il sistema ordina i dati outdoor e indoor all'interno di una *matrice dei dati grezzi*<sup>71</sup>.

Il backup dei dati avviene a fine giornata con il salvataggio del file sull'unità di acquisizione posta in Service room.<sup>72</sup>

---

<sup>71</sup> Questo documento contiene la raccolta dei segnali di natura analogica rilevati dai sensori, pertanto vengono indicati col termine "grezzi", poiché non forniscono nell'immediato un'informazione circa la misura del parametro monitorato.

### III.3.2 Post-Processing Data

Al termine della fase di Pre-processing Data, il file giornaliero Raw Data, contenete la matrice dei dati grezzi è a disposizione dell'operatore sull'unità di controllo del sistema DAQ per la successiva fase di rielaborazione dati detta Post-Processing Data.

Durante questa fase avviene l'elaborazione dati con l'obiettivo di ottenere i grafici di sintesi dei dati monitorati sui quali effettuare l'analisi del comportamento dinamico del provino durante il test.

Questa fase si articola in tre steps successivi:

1. la conversione della matrice dei *dati grezzi* in *dati raffinati*
2. l'esplorazione selettiva dei dati raffinati
3. l'analisi sintetica dei dati raffinati

Il primo step consente all'operatore di eseguire una prima lettura dei dati, sulla base dei quali è possibile effettuare le prime considerazioni sulla buona riuscita del test ed sul corretto funzionamento del sistema di monitoraggio .

In merito al primo step, l'operatore costruisce la *matrice dei dati raffinati* a partire dai dati grezzi contenuti nel file *Raw Data*: questa operazione avviene mediante l'applicazione dei *fattori di calibrazione* dei sensori specificati nelle schede tecniche fornite dai produttori degli strumenti di misura.

Nella pagina seguente si riporta un estratto del foglio di calibrazione dei sensori attualmente collocati in test cell.

**ESEMPIO DI FOGLIO DI CALIBRAZIONE DEI SENSORI COLLOCATI IN TEST CELL.**

**Code:** è il codice di identificazione del parametro misurato, che consente di identificare in modo univoco il sensore di misura così come riportato nella Scheda Di Codifica Dei Sensori Climatici.

**Description:** riporta la sola indicazione del tipo di sensore impiegato per la misura a cui si riferisce il codice riportato nella colonna Code.

**Unit Data Logger:** unità di misura del segnale restituito dal sensore.

**Unit Measurement:** unità di misura del parametro fisico misurato attraverso il sensore mediante il fattore di calibrazione.

**Range:** indica l'intervallo di misura all'interno del quale il sensore è in grado di monitorare un dato parametro anche in rapporto alla sensibilità dello strumento rispetto alla misura da effettuare. (indicato dal produttore)

**Signal Out:** : indica l'intervallo all'interno del quale può variare il segnale di output fornito dal sensore in relazione al monitoraggio di un dato parametro. (indicato dal produttore)

**Calibration factor 1:** indica il fattore di calibrazione che, all'interno di una funzione di calibrazione di tipo lineare, rappresenta il coefficiente angolare della retta di calibrazione.

**Calibration factor 2:** indica il fattore di calibrazione che, all'interno di una funzione di calibrazione di tipo lineare, rappresenta l'intercetta della retta di calibrazione.

**Function:** indica la funzione di calibrazione con y segnale di output e x parametro misurato.

CALIBRATION OF SENSORS LOCATED IN TEST CELL									
Channel	Code	Description	Unit Data Logger	Unit Measurement	Range	Signal Out	Calibration factor 1	Calibration factor 2	Function
DIEF1	0AVE02	Tacoanemometro	mA	m/s	0-50 m/s	4-20 mA	3.125	-12.5	$y = 3,125x - 12,5$
DIEF2	0ADE02	Gonioanemometro	mA	deg	0-359° N	4-20 mA	22.4375	-89.75	$y = 22,4375x - 89,75$
DIEF3	0APE01	Barometro	mA	mbar	800-1100 mbar	4-20 mA	18.75	725	$y = 18,75x + 725$
DIEF4	0GHE02	Piranometro orizzontale	V	W/m <sup>2</sup>	0-2000 W/m <sup>2</sup>	0-5 V	400	0	$y = 400x$
1041	0EP01	Wattimetro	mA	W	0-690 W	0-20 mA	34.5	0	$y = 34.5x$
1042	0AVE01	Tacoanemometro	mA	m/s	0-50 m/s	4-20 mA	3.125	-12.5	$y = 3,125x - 12,5$
1043	0ADE01	Gonioanemometro	mA	deg	0-359° N	4-20 mA	22.4375	-89.75	$y = 22,4375x - 89,76$
5003	0GVE01	Piranometro verticale	V	W/m <sup>2</sup>	0-2000 W/m <sup>2</sup>	0-5 V	400	0	$y = 400x$
5004	0RHE01	Trasmittitore Umidita' e Temperatura	V	%	0-100%	0-5 V	20	0	$y = 20x$
5005	0ATE01	Trasmittitore Umidita' e Temperatura	V	°C	-20...+80°C	0-5 V	20	-20	$y = 20x - 20$
5006	1RHI01	Trasmittitore Umidita' e Temperatura	V	%	0-100%	0-5 V	20	0	$y = 20x$
5007	1ATI01	Trasmittitore Umidita' e Temperatura	V	°C	-20...+80°C	0-5 V	20	-20	$y = 20x - 20$

Fig.III.28. Esempio di struttura del foglio per la conversione della matrice dei dati grezzi in matrice dei dati raffinati. Per ciascun sensore si riportano (a partire dalla colonna di sinistra): il codice identificativo del sensore, l'indicazione della tipologia di strumento, unità di misura del segnale di output, l'unità di misura del parametro monitorato, il range di misura dello strumento, il segnale analogico di output, i coefficienti di calibrazione forniti dal produttore, la funzione matematica per la conversione del dato grezzo (espresso nell'unità di misura riportata in colonna Unit Data Logger) in dato raffinato (unità di misura indicata in colonna Unit Measurement).

**CONFRONTO MATRICE DATI GREZZI E MATRICE DATI RAFFINATI**

O39		f <sub>x</sub>					
	A	B	D	E	F	G	H
1			V	V	V	V	V
2			OGVE01	ORHE01	OATE01	1RHI01	1ATI01
3	Date	Time	5003	5004	5005	5006	5007
4	12/12/2015	00:00:01	0.00221622	4.6646209	1.3524444	2.2939604	1.7286268
5	12/12/2015	00:01:01	0.00221956	4.6632635	1.3523857	2.2952842	1.7283754
6	12/12/2015	00:02:01	0.00222775	4.6567951	1.3524444	2.2946726	1.7283838
7	12/12/2015	00:03:01	0.00222374	4.6501759	1.3524025	2.2933571	1.7283838
8	12/12/2015	00:04:01	0.00222784	4.649514	1.3523941	2.2945469	1.7286268
9	12/12/2015	00:05:01	0.00221756	4.6502681	1.3530811	2.2946977	1.7290624
10	12/12/2015	00:06:01	0.00222282	4.6488856	1.3556367	2.2979235	1.7290457
11	12/12/2015	00:07:01	0.0022214	4.6469585	1.3576476	2.2946642	1.7290541
12	12/12/2015	00:08:01	0.00223093	4.6390238	1.3582509	2.2966248	1.7304952
13	12/12/2015	00:09:01	0.00222817	4.6456095	1.3595579	2.2933822	1.7290792
14	12/12/2015	00:10:01	0.00223561	4.6377334	1.361527	2.2959545	1.7290289
15	12/12/2015	00:11:01	0.00223318	4.6316923	1.362214	2.2972616	1.728367
16	12/12/2015	00:12:01	0.00222558	4.6252323	1.361527	2.2985603	1.729473
17	12/12/2015	00:13:01	0.00224213	4.6213864	1.3622056	2.2992222	1.7284508
18	12/12/2015	00:14:01	0.0022463	4.6220484	1.3621637	2.2972448	1.728434
19	12/12/2015	00:15:01	0.00223544	4.6176327	1.363513	2.2985268	1.7284005

P62		f <sub>x</sub>					
	A	B	D	E	F	G	H
1		Cf1	400	20	20	20	20
2		Cf2	0	0	-20	0	-20
3			W/m <sup>2</sup>	%	°C	%	°C
4			OGVE01	ORHE01	OATE01	1RHI01	1ATI01
5	Date	Time	5003	5004	5005	5006	5007
6	12/12/2015	00:00:01	0.8895	93.0035	7.0481	45.8671	14.5677
7	12/12/2015	00:01:01	0.8911	92.9903	7.0479	45.8909	14.5725
8	12/12/2015	00:02:01	0.8870	93.0054	7.0616	45.8940	14.5812
9	12/12/2015	00:03:01	0.8891	92.9777	7.1127	45.9585	14.5809
10	12/12/2015	00:04:01	0.8886	92.9392	7.1530	45.8933	14.5811
11	12/12/2015	00:05:01	0.8924	92.7805	7.1650	45.9325	14.6099
12	12/12/2015	00:06:01	0.8913	92.9122	7.1912	45.8676	14.5816
13	12/12/2015	00:07:01	0.8942	92.7547	7.2305	45.9191	14.5806
14	12/12/2015	00:08:01	0.8933	92.6338	7.2443	45.9452	14.5673
15	12/12/2015	00:09:01	0.8902	92.5046	7.2305	45.9712	14.5895
16	12/12/2015	00:10:01	0.8969	92.4277	7.2441	45.9844	14.5690
17	12/12/2015	00:11:01	0.8985	92.4410	7.2433	45.9449	14.5687
18	12/12/2015	00:12:01	0.8942	92.3527	7.2703	45.9705	14.5680
19	12/12/2015	00:13:01	0.8938	92.2159	7.2951	45.9581	14.5685
20	12/12/2015	00:14:01	0.8958	92.2322	7.3281	45.9972	14.5677
21	12/12/2015	00:15:01	0.8934	92.0594	7.3482	45.9325	14.5680

Fig.III. 29. L'immagine in alto riporta un estratto della matrice dei dati grezzi ottenuti durante il monitoraggio nella fase di pre-processing data. I dati si riferiscono al giorno 12/12/2016. L'immagine in basso illustra i valori dei parametri fisici monitorati già convertiti nelle rispettivi unità di misura mediante l'applicazione delle funzioni di calibrazione. È al termine di questa operazione che può avvenire la fase successiva di analisi e graficizzazione dei dati.

La *matrice dei dati raffinati* riporta la misura dei parametri fisici monitorati dai sensori. Non sempre l'insieme di questi dati è da sottoporre interamente all'analisi, per questo l'operatore esplora i dati raffinati in maniera selettiva allo scopo di focalizzare l'indagine unicamente sugli aspetti di interesse rispetto agli obiettivi fissati a monte della prova.

La selezione dei dati rappresentativi per la costruzione dei grafici di analisi del comportamento dinamico del provino in condizioni outdoor avviene adottando in base ai criteri di:

- *pertinenza* dei dati rispetto al problema da analizzare;
- *omogeneità* dei dati;
- *esaustività* (o rappresentatività) dei dati rispetto al fenomeno da esaminare.

Al termine di questa operazione, si dispone dei *grafici di analisi* dei parametri monitorati sulla base dei dati giornalieri, che descrivono il comportamento del provino nell'arco delle 24h.

Infine si passa all'analisi sintetica dei dati raffinati finalizzata alla produzione dell'output di sintesi per la comunicazione dei risultati dell'intera prova.

In questo caso si ricorre alla graficizzazione dei valori mediati su intervalli di 10 minuti, dai quali è possibile estrapolare i profili giornalieri e settimanali dei parametri analizzati per descrivere il comportamento del componente per tutta la durata dell'intero test che può variare da un minimo di circa 2-3 settimane a un massimo di 1 anno in funzione delle esigenze della prova.

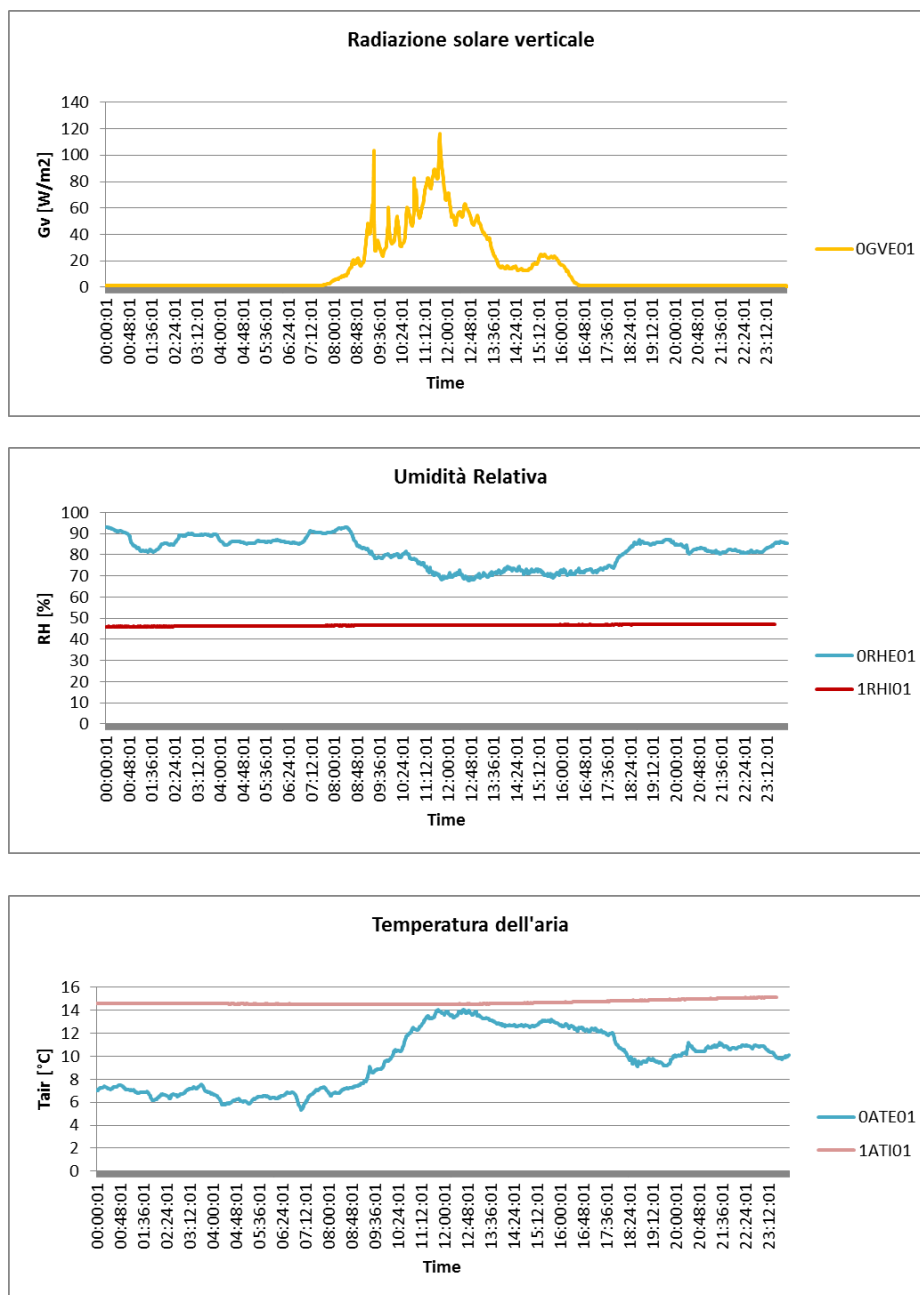


Fig.III. 30. Con riferimento ai dati rilevati nel giorno 12/12/2016 in condizioni di free floating (riscaldatore spento e ventilatore acceso), si riportano a titolo d'esempio i grafici giornalieri relativi a Climatic Measurements e rappresentativi della radiazione solare diretta sul piano verticale della parete Sud (**OGVE01**); il confronto tra l'umidità relativa esterna (**ORHE01**) e quella rilevata in test room (**1RHE01**); l'andamento della temperatura interna dell'aria in test room (**1ATI01**) rispetto la temperatura ambiente esterna (**OATE01**).

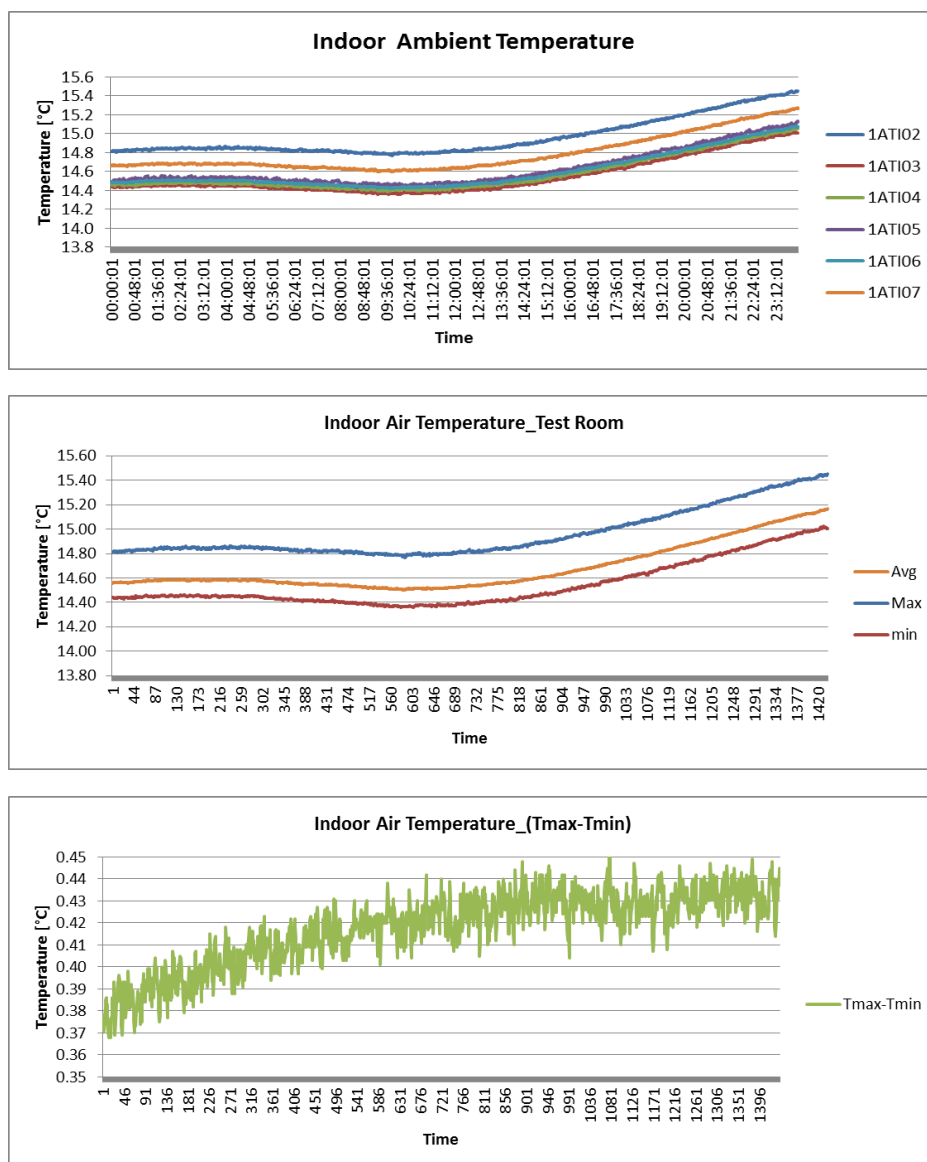


Fig.III. 31. Con riferimento ai dati rilevati nel giorno 12/12/2016, si riportano a titolo d'esempio i grafici giornalieri relativi all'andamento della Temperatura dell'aria misurata dalle 7 termoresistenze collocate in test room. Una delle verifiche da effettuare durante il test è il controllo delle condizioni di uniformità dell'aria interna secondo le indicazioni fornite dai protocolli PASLINK, secondo cui, affinché la prova possa essere ritenuta valida la differenza massima tra i valori di temperatura dell'aria registrati in test room deve essere inferiore a 0,5 °C: il grafico in basso illustra come durante l'arco della giornata tale valore di riferimento si mantenga sempre al di sotto di 0,45 °C, riportando un valore medio di 0,41°C.

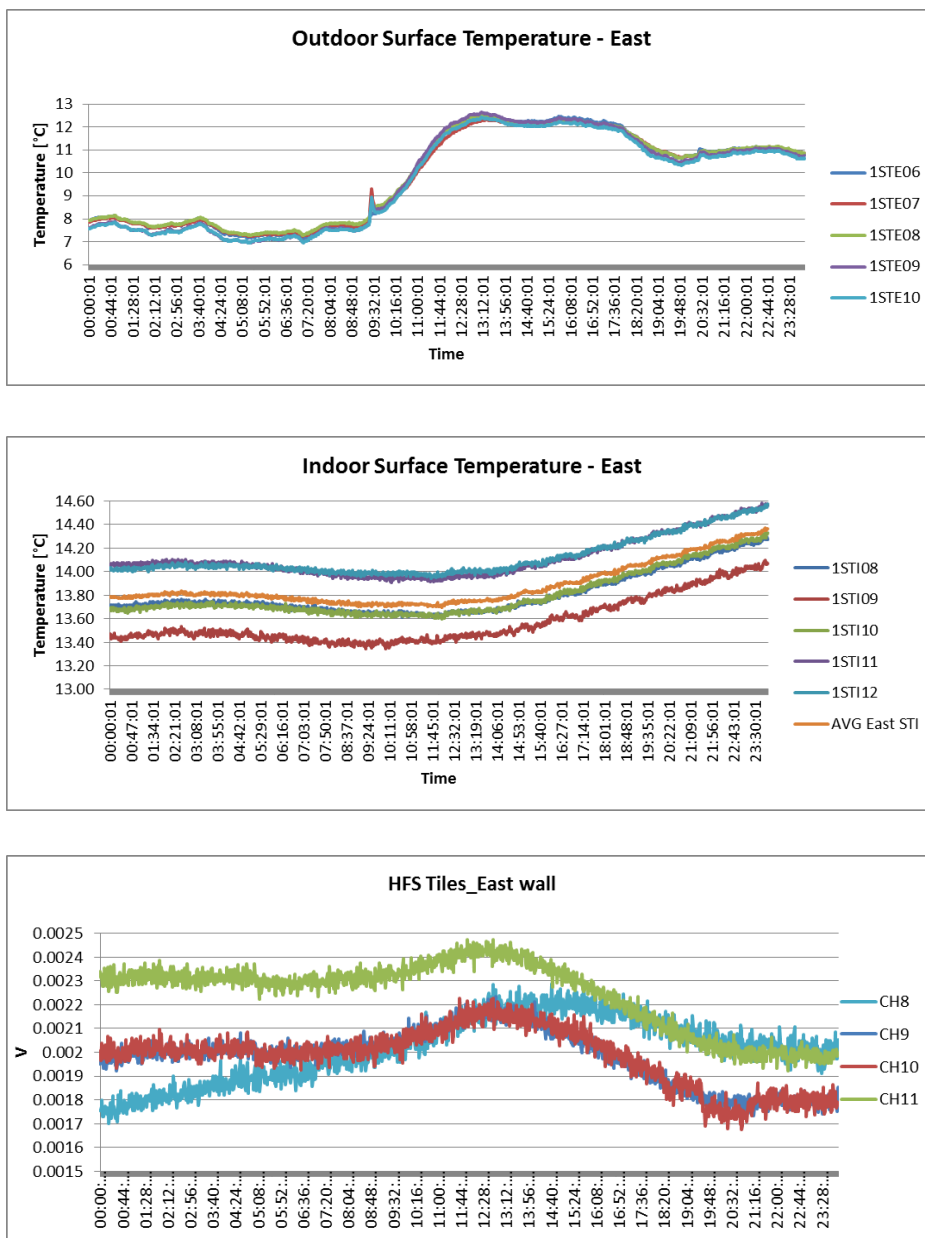


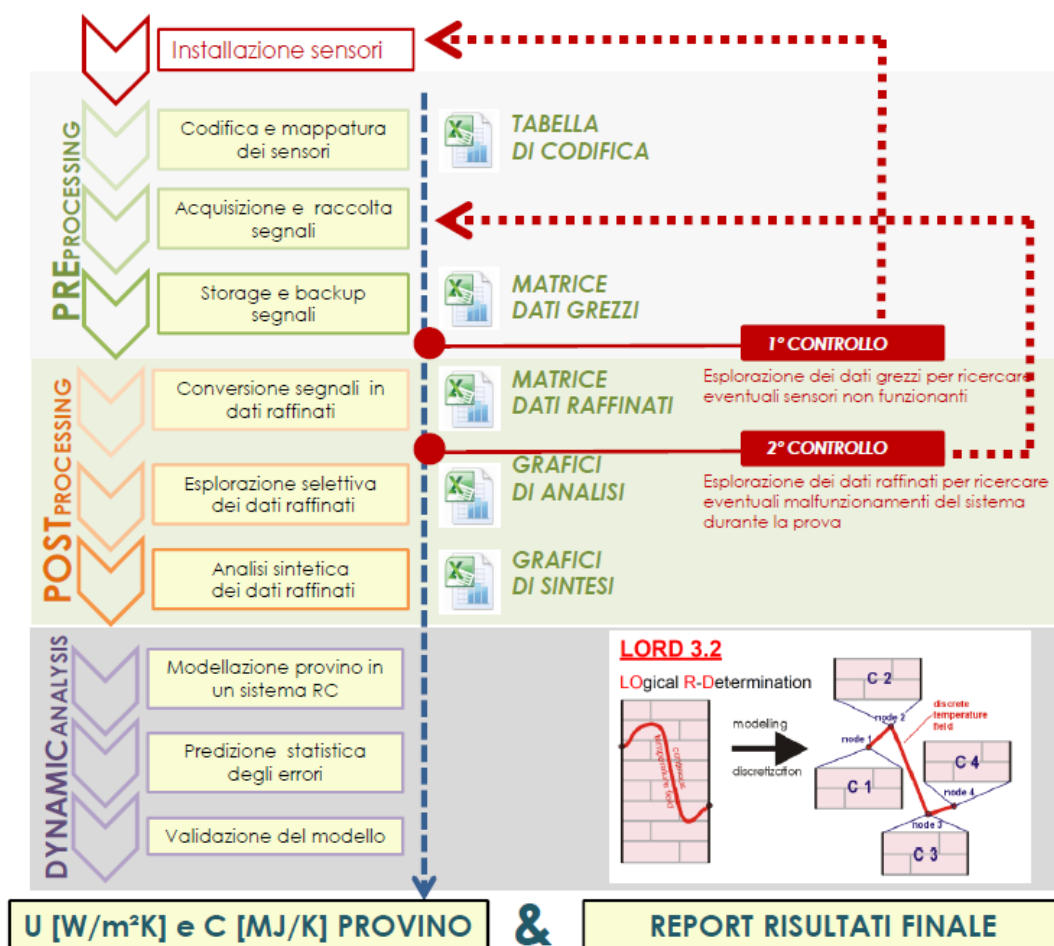
Fig.III. 32. Con riferimento ai dati rilevati nel giorno 12/12/2016, si riportano a titolo d'esempio i grafici giornalieri relativi all'andamento delle Temperature superficiali interne ed esterne misurate dalle termocoppie collocate sulla parete Est. Il grafico in basso riporta l'andamento dei valori registrati tiles poste sulla parete Est suddivise in 4 serie. In rapporto alla posizione delle serie indicata nella mappatura del sistema HFS internamente alla test room, CH9 e CH10 rappresentano le serie poste in corrispondenza del centro della parete, pertanto hanno un andamento del tutto simile, mentre CH8 e Ch10 rappresentano il flusso termico attraverso la parete in corrispondenza delle serie poste lungo gli spigoli , laddove si ha una maggiore dispersione di calore verso l'esterno.



I controlli e le verifiche dei dati acquisiti durante tutto il processo si rendono necessari in due momenti e possono essere eseguiti sia durante il test, sia al termine del test.

Un primo controllo viene eseguito al termine della fase di pre-processing, attraverso l'esplorazione della matrice dei dati grezzi per ricercare eventuali segnali anomali che indicano che il sensore non è ben collegato o non funziona: qualora il sensore risulti rotto si procede alla sua sostituzione e alla riconfigurazione della scheda di codifica dei sensori.

Un secondo controllo avviene mediante l'esplorazione della matrice dei dati raffinati per ricercare eventuali segnali con profili che si discostano sensibilmente dall'andamento ragionevolmente atteso e che possono essere indice di un malfunzionamento del sistema durante la prova: in questo caso si procede con la ricerca delle cause e con risoluzione del problema, per poi ripetere la prova da principio.



### III.3.3 Analisi Dinamica

Al termine della fase di post processing, si dispone di tutte le informazioni in grado di documentare il comportamento dinamico del componente per la redazione del report dei risultati finali della prova, tuttavia non si possiedono ancora i valori dei parametri termofisici del provino: U e C.

Per la determinazione di questi due valori si ricorre ad un'analisi dinamica.

Nota la stratigrafia del provino sottoposto al test è possibile modellare il provino in un sistema RC (fisica tecnica).

Il provino viene scomposto in layers su ciascuno dei quali sono stati collocati i sensori di misura. Note le grandezze riportate sullo schema rappresentativo, tali misure costituiscono l'input per l'analisi dinamica mediante il Software LORD (LORgical R-Determination)<sup>73</sup>, il quale consente di risolvere il problema fisico da un punto di vista matematico: i dati di output del monitoraggio vengono introdotti nel software come input del sistema per la risoluzione del modello.

Al termine delle operazioni è possibile ottenere la U e la C della parete a regime dinamico.

La modellazione del comportamento termico di una parete mediante una rete RC consiste nell'effettuare una discretizzazione del profilo di temperatura all'interno della parete in un certo numero di nodi: l'andamento della temperatura tra due nodi adiacenti può essere ritenuto lineare.

I nodi sono collegati a conduttanze termiche: si assume che ogni nodo abbia una certa capacità termica cosicché l'accumulo di calore è possibile solo in corrispondenza dei nodi. Dunque la capacità termica del muro sarà discretizzata.

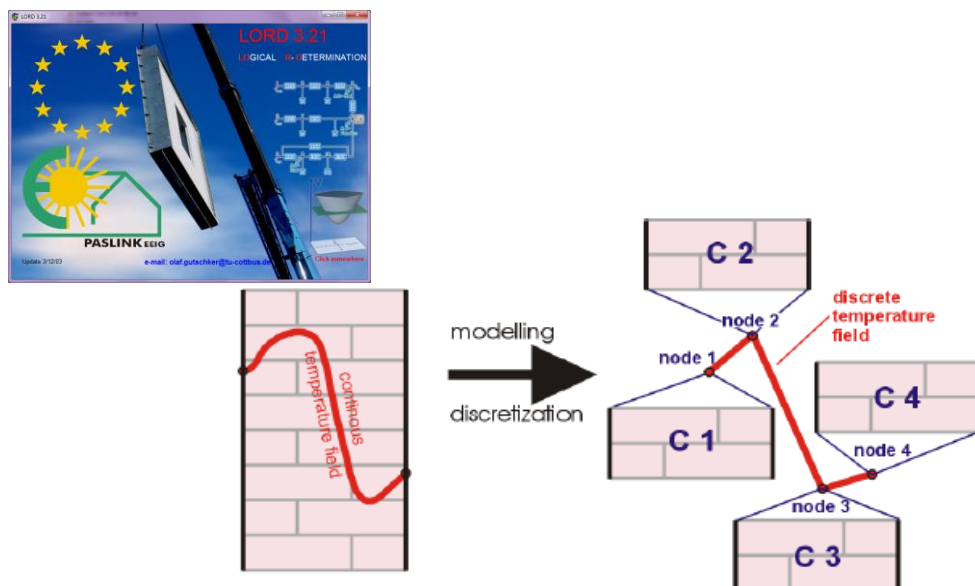


Fig.III.33.. Modellazione di un muro in una rete RC mediante la discretizzazione del profilo delle temperature.

<sup>73</sup> LORD 3.2 Software sviluppato dal network Paslink EEIG per l'analisi dinamica dei dati provenienti da Test cell Passys e Paslink.

Le potenze termiche legate alla presenza di eventuali fonti di calore che agiscono sul componente analizzato all'interno del sistema (impianto di riscaldamento) o esterno ad esso (radiazione solare) vengono inserite nel modello in corrispondenza dei nodi.<sup>74</sup>

La Fig. III.34 mostra in che modo scomporre i diversi layers che compongono un provino di parete a più strati al fine di condurre un'analisi dinamica sul comportamento termofisico della parete in condizioni reali.

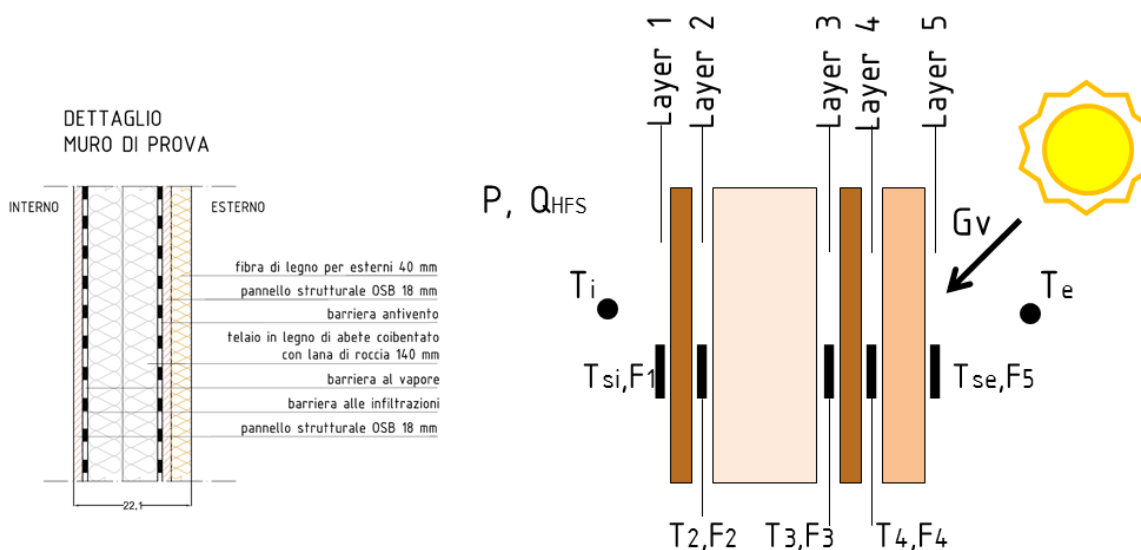


Fig.III.34. Esempio di discretizzazione di un muro in layers in corrispondenza dei quali effettuare il monitoraggio dei parametri fisici che regolano lo scambio di calore tra esterno ed interno al fine di creare un modello RC su cui effettuare un'analisi dinamica con LORD.

Nel caso più semplice di test su un componente di parete a secco multistrato, l'immagine a destra riporta in dettaglio la posizione dei sensori che devono essere collocati sul provino da testare :

- Tsi è la temperatura superficiale interna della parete testata;
- Tse è la temperatura superficiale esterna della parete testata;
- T2, T3, T4 le temperature superficiali in corrispondenza dei rispettivi layers;
- F2, F3, F4 le misure del flusso termico in corrispondenza dei rispettivi layers;
- Ti e Te sono rispettivamente Temperatura dell'aria interna alla camera di prova e Temperatura dell'aria esterna;
- P è la potenza elettrica del termoventilatore, Qhfs il flusso termico misurato dalle tiles e Gv la radiazione solare diretta sul piano verticale del provino.

<sup>74</sup> Ad esempio, nel caso di un componente finestrato, la radiazione solare misurata da un piranometro (in  $W/m^2$ ), può essere inserita nel nodo esterno del modello, ma tale valore deve essere moltiplicato per la superficie di apertura effettiva della finestra mediante l'applicazione di un fattore di apertura. Nel caso del calore fornito dal riscaldamento in test room, che è un valore noto in relazione alla potenza (W) dell'impianto, questo fattore ha un valore fisso  $A = 1$ , mentre nel caso di radiazioni solare, il valore di A sarà calcolato dal programma.

Con questa dotazione minima di sensori, il provino viene sottoposto ad un test in condizioni reali, al termine del quale si dispone dei dati relativi ai parametri sopra elencati mediati su intervalli di 10 minuti. Tali valori vengono introdotti come dati di input all'interno del software Lord , mediante il quale l'operatore costruisce il modello RC della parete, inserendo come condizioni al contorno i dati di input (ottenuti dalla prova di monitoraggio reale) e definendo le funzioni obiettivo in base alle quali il software calcola quel valore di resistenza termica che soddisfa il modello sulla base delle condizioni al contorno.<sup>75</sup>

---

<sup>75</sup> Per ulteriori approfondimenti si rimanda alla consultazione del manuale Gutschker O. LORD – *Modelling and identification software for thermal systems, user manual*. Germany: BTU Cottbus., 2004.

## Cap.III.4. Calibrazione della Test Cell

Preliminarmente alla messa in esercizio della Test Cell UNIFI è necessario procedere al collaudo del sistema per verificarne il corretto funzionamento.

Il collaudo della Test Cell prevede il superamento di alcune prove relative alla verifica delle sue caratteristiche costruttive.

Nel paragrafo segue vengono illustrati i risultati ottenuti dalla prova di pressione in Test Room al fine di verificare che non sussistano problemi di infiltrazioni d'aria all'interno della camera di prova che possano inficiare i risultati del monitoraggio ambientale durante la conduzione dei test sui provini.

A chiusura del capitolo si riporta la procedura di calibrazione della Test Cell prevista dai protocolli Paslink, che ha lo scopo di determinare il cosiddetto *fattore di calibrazione f della cella*, fattore che tiene conto di eventuali perdite di flusso che possono generare errori di misura da parte del sistema HFS Tiles durante i test a regime dinamico.

In merito a quest'ultima procedura di calibrazione, si prevede che la prova verrà condotta nel Marzo 2016, in attesa della messa in sicurezza del laboratorio e delle dotazioni necessarie contro il rischio di incendio.

### III.4.1 Prove di infiltrazione

Uno dei requisiti fondamentali per il corretto funzionamento della stessa *Test Cell* è che siano limitate le infiltrazioni di aria dall'esterno all'interno della Test Room.

La prova di pressione ha lo scopo di verificare che l'entità di infiltrazioni dell'aria siano inferiori ad un valore massimo fissato dalle procedure Paslink e deve essere condotta prima e dopo la calibrazione della Test Cell.

Tali procedure stabiliscono che il test di pressione avvenga portando l'ambiente interno in condizioni di sovrappressione e depressione e verificando che il valore di ACH (*Air Change for Hour*) sia inferiore a  $0,5 \text{ h}^{-1}$  in corrispondenza di una differenza di pressione di 50 Pa tra la test room e la service room, ovvero  $19 \text{ Nm}^3/\text{h}$  a 50 Pa.

La *Test Cell* è suddivisa in due ambienti separati da una porta ermeticamente chiusa: *test room* e *service room*. Attraverso il muro di divisione tra le due parti è stato sigillato un tubo di diametro 100 mm al quale è stato collegato in serie un misuratore di velocità a ventola ed un fan regolabile manualmente. I vari componenti sono montati in modo da garantire, in fase di passaggio dell'aria, un flusso sviluppato ed una misura attendibile delle condizioni di moto.

Aumentando la velocità del fan si può gestire la portata di aria immessa e, in base alla direzione del flusso, si verificherà un aumento o una diminuzione della pressione all'interno della *test room*.

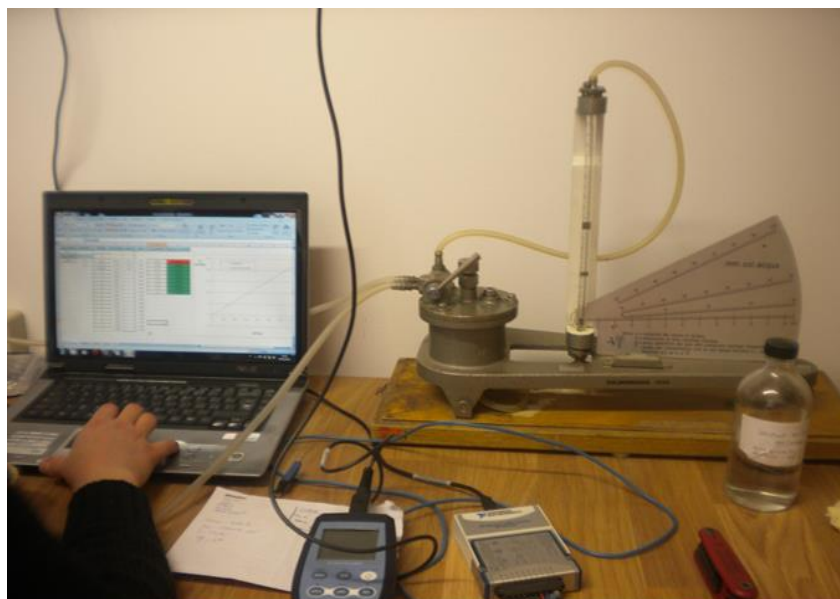


Fig.III.35. Manometro differenziale a miscela di alcool butilico e benzene impiegato per condurre le prove di pressurizzazione in Test Cell.

Per valutare tale variazione è stato impiegato un manometro differenziale a miscela di alcool butilico e benzene; uno degli ingressi è stato collegato con la *test room*, l'altro, insieme allo strumento stesso, è stato posto nella *service room*.

La procedura prevede di verificare che per mantenere internamente alla *test room* una sovrappressione o una depressione rispetto alle condizioni ambiente di 50 Pa, il ricambio di aria determinato come rapporto tra la portata d'aria costante ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) ed il volume interno ( $\text{m}^3$ ) sia inferiore ad un valore pari a 0,5 (1/h).

Il calcolo deve essere eseguito dopo aver ricavato la funzione<sup>76</sup> che lega la portata d'aria alla variazione di pressione.

Le prove sono state condotte analizzando il fenomeno in fase di graduale salita e discesa delle grandezze fisiche di interesse. Di seguito si riportano i grafici relativi a 4 test differenti (Fig.III. 36 e Fig.III. 37 ).

<sup>76</sup> Tale funzione si suppone abbia un andamento lineare nell'intervallo tra 0-100 Pa.

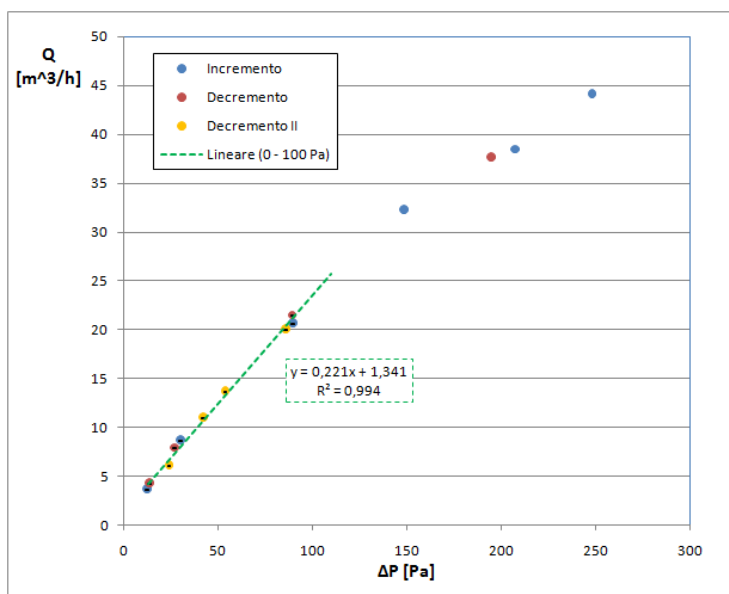


Fig.III. 36. Andamento della portata d'aria in funzione della variazione di pressione (prove di depressurizzazione).

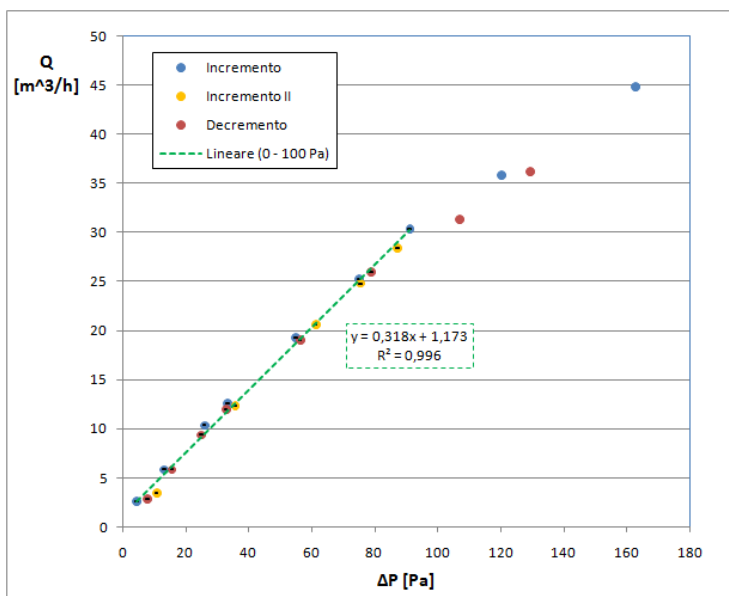


Fig.III. 18. Andamento della portata d'aria in funzione della variazione di pressione (prove di pressurizzazione).

Le equazioni delle rette sono rispettivamente nel caso di pressurizzazione e di depressurizzazione:

$$Q = 0,318 \Delta p + 1,173$$

$$Q = 0,221 \Delta p + 1,314$$

La prova di pressurizzazione sembra mostrare una maggior tenuta della test room all'aria (la stessa differenza di pressione viene mantenuta con portata minore, Fig.III.). Si sottolinea inoltre che, a causa degli errori di misura, le rette non passano da 0 come invece ci si aspetta analizzando teoricamente il fenomeno fisico (a  $\Delta p$  uguale a 0 dovrebbe corrispondere una portata nulla).

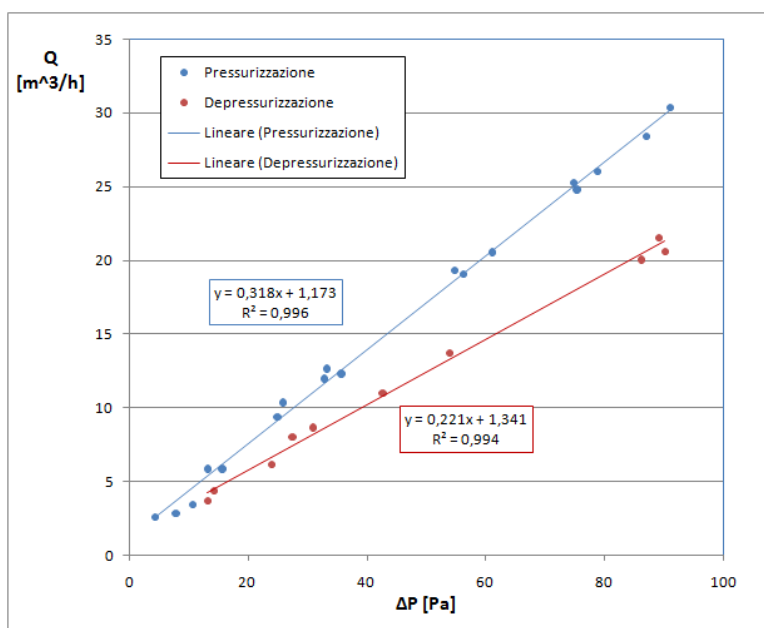


Fig.III.38. Confronto tra la curva ottenuta durante la pressurizzazione e la depressurizzazione.

Una volta ottenute le curve di interesse è necessario sostituire il valore  $\Delta p$  pari 50 Pa e verificare che la portata scalata del volume interno dell'ambiente (40,73 m<sup>3</sup>) sia minore di 0,5(1/h):

$$\frac{Q}{40,73} = \frac{0,318 \cdot 50 + 1,173}{40,73} = 0,419 \left( \frac{[1]}{[h]} \right) ;$$

$$\frac{Q}{40,73} = \frac{0,221 \cdot 50 + 1,341}{40,73} = 0,304 \left( \frac{[1]}{[h]} \right) .$$

La condizione è verificata sia nel caso di pressurizzazione che in quello di depressurizzazione, pertanto la prova è superata in entrambi i casi.

Tra le due prove si ritiene che abbia una valenza rilevante quella di depressurizzazione perché si avvicina maggiormente alle condizioni reali di esercizio della *Test Cell*. Infatti a causa degli agenti atmosferici esterni come il vento si ritiene che le infiltrazioni verso l'interno siano più probabili.

Per le valutazioni di carattere termico è consigliabile considerare l'indice di cambio d'aria relativo alle prove di pressurizzazione 0,419 (1/h) o una media dei due in modo da essere più cautelativi.



### III.4.2 Procedura di calibrazione Paslink

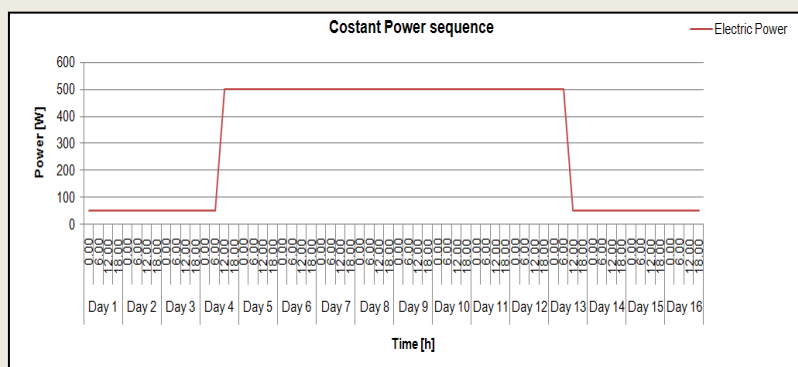
Secondo i protocolli Paslink, il test di calibrazione della Test Cell si rende necessario dal momento in cui si utilizza il sistema HFS Tile per la misura del flusso termico a parete.

Come esplicitato nel paragrafo III.2.1.4, le tiles sono state calibrate in condizioni di flusso unidimensionale, tuttavia durante le prove di monitoraggio, occorre considerare anche gli errori di misura dovuti agli effetti di bordo, ai ponti termici e alle infiltrazioni di aria che avvengono in test room e che non possono essere misurati mediante il sistema HFS.

Il protocollo riporta la sequenza di prova da condurre in Test Cell ai fini della determinazione dei dati utili per il calcolo del fattore di calibrazione della cella.

Sequenza della prova (valida per l'applicazione di entrambi i metodi):

- Potenza elettrica costante a 500W per 10 giorni.
- Per stabilizzare le condizioni in test room, prima e dopo il test di calibrazione è necessario mettere in funzione il fan 3 giorni prima e tre giorni dopo la sequenza di prova a potenza costante.
- Al ventilatore è associato un consumo elettrico pari a 50 W.
- La durata totale della prova è 16 giorni.



Una volta ottenuti i dati della prova, il calcolo del fattore di calibrazione  $f$  può avvenire secondo due metodi:

- Metodo delle Medie progressive
- Metodo dinamico con Software LORD

Utilizzando il *Metodo delle Medie Progressive*, i dati impiegati per il calcolo del fattore di calibrazione sono ottenuti a partire dai valori misurati mediati ogni 10 minuti durante la sequenza della prova:

- Potenza elettrica  $Q_{\text{electric}}$  [W]
- Flusso di calore misurato con HFS Tiles  $Q_{\text{HFS Tiles}}$  [W]
- Temperatura dell'aria Indoor  $T_{\text{air},i}$  [°C]
- Temperature Superficiale Indoor  $T_{\text{surface},i}$  [°C]
- Temperatura dell'aria Outdoor  $T_{\text{air},out}$  [°C]

Con questi dati a disposizione il valore del fattore di calibrazione può essere determinate con la seguente relazione:

$$f = \frac{QELECTRIC,avg}{QHFS_{Tiles},avg} \pm \frac{\delta QELECTRIC,avg}{QHFS_{Tiles},avg}$$

Le HFS Tiles sono raggruppate in 22 gruppi (centrali e di bordo).

Secondo i protocolli Paslink, i segnali generati dai gruppi di bordo devono essere moltiplicati per un fattore compreso tra 1.2 e 1.5 per considerare il fatto che il flusso termico reale è superiore a quello che viene misurato dai sensori.<sup>77</sup>

Il Metodo dinamico con l'utilizzo del Software LORD si pone invece l'obiettivo di:

1. Analizzare il comportamento dinamico della Test Cell per la determinazione di un fattore di calibrazione che tenga in considerazione gli effetti dovuti alla massa termica durante il riscaldamento e il raffreddamento;
2. Ottenere un modello rappresentativo dell'intera test cell prima del componente di per eseguire delle simulazioni dinamiche durante i test future su component di parete.

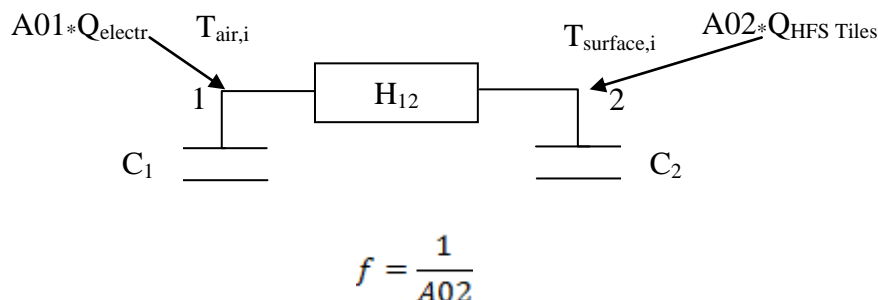
In questo caso si procede con l'introduzione dei dati di input nel software Lord. Tali dati sono i valori ottenuti dal monitoraggio durante la sequenza del test di calibrazione mediate su intervalli di 10 minuti.

Le misure necessarie per la modellazione in LORD sono:

- Potenza elettrica  $Q_{\text{electric}}$  [W]
- Flusso di calore misurato con HFS Tiles  $Q_{\text{HFS Tiles}}$  [W]
- Temperatura dell'aria Indoor  $T_{\text{air},i}$  [°C]
- Temperature Superficiale Indoor  $T_{\text{surface},i}$  [°C]

L'immagine che segue illustra il modello rappresentativo dell'intera Test Cell e introdotto in Lord per il calcolo di  $f$  è del tipo RC.

<sup>77</sup> COMPASS Installation guide HFS Tiles for Paslink Test Cell, 1995. Ai fini del calcolo del fattore di calibrazione dell'intera Test Cell, è possibile operare una semplificazione per cui tutti i gruppi di tiles possono essere considerati come centrali.



Il modello in LORD è rappresentato mediante una conduttanza H1-2, due capacità C1 (variabile) and C2 (fissato 0), un coefficiente di apertura A01 (fisso a 1.0) and A02 (variabile).

Le funzioni obiettivo sono  $Q_{HFS\ Tiles}$  al nodo 2 and  $T_{air,i}$  al nodo 1.<sup>78</sup>

Il fattore di calibrazione può essere identificato a partire dal calcolo del fattore di apertura A02 assegnato al sistema HFS tiles.

L'immagine che segue illustra il modello del tipo RC in Lord rappresentativo dell'intera Test Cell con l'aggiunta del test Wall.

Lo scopo di questo modello è quello di disaccoppiare il segnale del flusso misurato dalle HFS del test Wall da quello dell'intera test cell. Il modello RC è costituito da due conduttanze H1-2 and H2-3, tre capacità C1 (variabile) C2 and C3 (entrambe fisse a 0) e tre coefficienti di apertura A1 (fisso a 1) A2 and A3.<sup>79</sup> Le funzioni obiettivo sono  $Q_{HFS\ no\ cal\ wall}$  al nodo 2,  $Q_{HFS\ cal\ wall}$  al nodo 3 e  $T_{air,i}$  al nodo 1.<sup>80</sup>

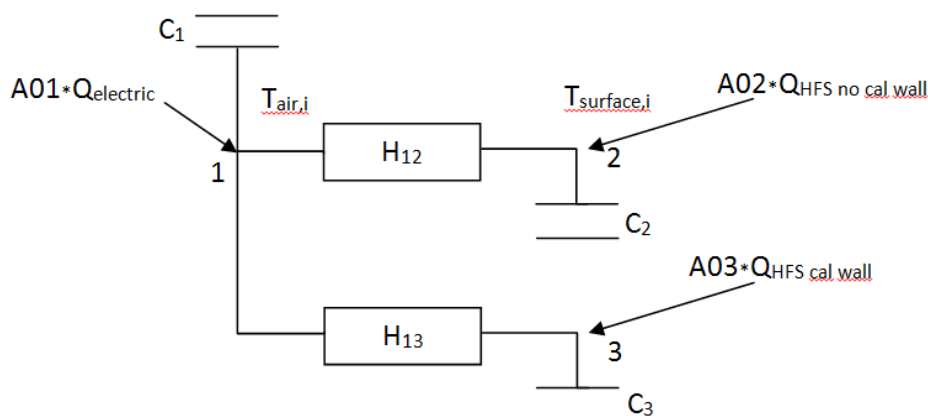


Fig.III.39. Modello RC in Lord rappresentativo dell'intera Test Cell con l'aggiunta del test Wall.

<sup>78</sup> Secondo quanto indicato per l'uso del software, per i flussi entranti all'interno del sistema si assume un fattore di apertura A che, in relazione al flusso di calore generato dal riscaldatore elettrico a Potenza nota si fissa pari a  $A = 1$ , mentre nel caso del flusso entrante per effetto della radiazione solare, tale valore viene calcolato direttamente dal software.

<sup>79</sup>  
<sup>80</sup> LORD non è in grado di calcolare più di tre funzioni obiettivo all'interno dello stesso modello.

I valori ottenuti dal monitoraggio durante la sequenza del test di calibrazione mediate su intervalli di 10 minuti vengono introdotti come dati di input nel software.

Le misure necessarie per la modellazione in LORD sono:

- Potenza elettrica  $Q_{\text{electric}}$  [W]
- Flusso di calore misurato con HFS Tiles  $Q_{\text{HFS Tiles}}$  [W]
- Temperatura dell'aria Indoor  $T_{\text{air},i}$  [°C]
- Temperature Superficiale Indoor  $T_{\text{surface},i}$  [°C]

Attraverso questo modello è possibile identificare due diversi fattori di calibrazione: uno legato al sistema HFS tiles dell'intera test room  $f_{\text{Test room}}$  e uno al sistema HFS Tiles per il test wall  $f_{\text{Test wall}}$ .

$$f_{\text{Test Room}} = \frac{1}{A02} \quad f_{\text{Test wall}} = \frac{1}{A03}$$

L'obiettivo principale è quello di caratterizzare la porzione di modello rappresentativa dell'intera Test Cell, privata della sola parte rappresentativa del muro removibile in modo che per i test futuri sia possibile sostituire di volta in volta la seconda parte del modello con quello rappresentativo del provino.

I due coefficienti di apertura A02 and A03 costituiscono le incognite del modello.

Al termine della prova, per validare il modello in LORD, è necessario verificare che la somma di H1-2+H2-3 del modello sia molto prossima alla conduttanza totale del modello precedentemente calcolato col metodo delle medie progressive.

Lo stesso deve risultare valido per le capacità che devono essere uguali per entrambi i modelli.

In vista dei test sui componenti di parete che verranno realizzati in futuro, una volta identificato il modello globale rappresentativo della Test Cell UNIFI, sarà possibile utilizzarlo per qualsiasi altro test, sostituendo di volta in volta la porzione del modello che identifica il muro di prova con il modello rappresentativo del provino da testare, mentre il segnale del sistema HFS dovrà essere corretto mediante l'introduzione del fattore  $f_{\text{Test room}}$  assegnato al nodo 2.

## Conclusioni

L'idea di una Test Cell per il Clima Mediterraneo è maturata durante lo sviluppo di un progetto di ricerca che indagava sugli effetti della ventilazione naturale e delle schermature solari quali strategie efficaci per migliorare il confort indoor e risolvere le problematiche relative al surriscaldamento estivo nei paesi dell'area Mediterranea.<sup>81</sup>

Nell'ambito del progetto, era insorta l'esigenza di studiare nuovi componenti ampiamente diffusi tra la comunità scientifica. Le simulazioni dinamiche avevano tuttavia prodotto dei risultati che lasciavano qualche dubbio sull'effettiva aderenza del modello di analisi rispetto alla realtà.

Pertanto, iniziò a concretizzarsi l'idea di realizzare un laboratorio di prove outdoor per test su componenti in scala reale, idea che ha preso vita grazie al Progetto Abitare Mediterraneo.

Il progetto di una Test Cell a Firenze risultò ambizioso sin da principio per il fatto di voler realizzare un'infrastruttura a scala di edificio, che fosse dotata di un complesso sistema di monitoraggio per la valutazione delle performance energetiche di componenti di involucro di tipo innovativo.

Il progetto della cella proposto nella tesi di dottorato dall'Ing. Giuseppina Alcamo<sup>82</sup> era stato sviluppato a partire dallo studio di test facilities di varia tipologia rilevate in ambito europeo, gran parte delle quali appartenevano a Università e Centri di Ricerca afferenti al network Paslink EEIG, coinvolto in numerosi progetti finanziati dalla Comunità Europea in merito allo sviluppo di test cells e analisi dinamica di componenti per l'edilizia mediante outdoor test.

La Test Cell Unifi è stata progettata secondo i criteri di architettura bioclimatica, e verificata sotto il punto di vista architettonico, tecnologico, strutturale ed energetico al fine di superare le criticità rilevate nei casi studio precedentemente analizzati.

Il 10 aprile 2012, la Test Cell UNIFI è stata collocata presso il Parco del Plesso di Santa Marta dell'Università di Firenze, sotto la responsabilità del Prof. Marco Sala del Dipartimento di Architettura e del Prof. Maurizio De Lucia del Dipartimento di Ingegneria Industriale.

Rispetto ai risultati conseguiti dalla tesi dell'Ing. Alcamo, che ha condotto alla realizzazione di un laboratorio che risponde a specifici requisiti prestazionali in ordine agli aspetti tecnologici, costruttivi ed energetici, restavano tuttavia irrisolti gli aspetti legati al funzionamento della cella come strumento di misura delle prestazioni energetiche dei componenti da testare.

---

<sup>81</sup> Alcamo G., Murgia S., Sala M. *The impact of different window configurations, natural ventilation and solar shading strategies on indoor comfort level in simple rooms, in Mediterranean area*. In: 2nd PALENC Conference and 28th AIVC Conference on Building Low Energy Cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century, September 2007, Crete island, Greece, vol. 1, pp. 22-25.

<sup>82</sup> Alcamo G., *Sistemi per valutare e comparare in opera le prestazioni energetiche di componenti edilizi progetto di una Test Cell per il clima mediterraneo*. (2011).

Il laboratorio non disponeva ancora del sistema di monitoraggio (datalogger e sensori, per l'acquisizione e la raccolta dei dati), né era chiaro quali fossero gli strumenti di gestione e controllo del laboratorio per l'esecuzione dei test.

La volontà di portare a termine il lavoro inizialmente intrapreso con il Progetto Abitare Mediterraneo, rendendo operativo uno strumento di diagnosi avanzato come la Test Cell, ha fornito l'input per iniziare il presente lavoro di tesi.

Pertanto la tesi si è focalizzata sull'allestimento del sistema di monitoraggio della Test Cell UNIFI (installazione e configurazione dei sensori e degli strumenti di monitoraggio) per l'esecuzione di prove a regime dinamico e sulla definizione di una procedura di gestione, analisi e verifica dei dati sperimentali derivanti dagli outdoor test .

In conclusione, i contributi forniti dalla presente tesi di ricerca in relazione all'avanzamento rispetto allo stato dell'arte nei settori disciplinari coinvolti nella ricerca, consistono nell'aver superato le criticità relative a:

- l'uso di strumenti di programmazione ormai datati e obsoleti per la gestione del laboratorio e del sistema DAQ;<sup>83</sup>
- la realizzazione del sistema HFS interno, affidato in via sperimentale all'uso dei sensori di flusso di nuova concezione, sviluppati dal gruppo di ricerca del Laboratorio di Misure meccaniche del DIEF.

Il risultato prodotto al termine del lavoro è stato quello di fornire il laboratorio di un robusto sistema di raccolta e analisi dei dati di monitoraggio preparando la Test Cell ad accogliere i primi componenti da testare.

La rilevanza e l'utilità della ricerca risiedono dunque nella capacità di dotare l'Università di Firenze di uno strumento di misura innovativo che corre in aiuto ai produttori di nuovi sistemi di involucro e componenti di facciata con elevate prestazioni energetiche .

Con la realizzazione della Test Cell si intende promuovere l'innovazione in campo tecnologico, offrendo l'opportunità alle aziende del settore edilizio di sperimentare e testare nuovi prodotti e componenti di facciata in condizioni climatiche esterne e reali, e di valutarne le performance per il clima mediterraneo, ovvero migliorarne alcune prestazioni in rapporto ai risultati ottenuti dalle prove outdoor, orientando le strategie di improving tecnologico per la realizzazione di prodotti sempre più performanti.

Il progetto ha avuto una forte risonanza anche a livello internazionale. La comunità scientifica rappresentata dai gruppi di ricerca coinvolti nel programma di ricerca dell'IEA sull'Annex 58 *Reliable Building Energy Performance Characterisation Based on Full Scale Dynamic Measurements* ha espresso grande interesse verso lo strumento anche in vista degli ultimi orientamenti intrapresi all'interno della Strategia 2020 che punta molto sullo sviluppo della ricerca nel

---

<sup>83</sup> La gestione di numerose Test facilities del network Paslink avviene mediante l'uso di un software di programmazione precompilato *NIDAS*, realizzato negli anni 80 all'interno del network, facendo affidamento a vecchi linguaggi di programmazione come il C e il C++.

campo degli smart materials e delle nanotecnologie applicate a diversi settori dell'industria, inclusa l'edilizia.

Una possibilità che costituisce anche un'opportunità per il futuro della Test Cell UNIFI risiede nell'inserimento del laboratorio all'interno di un circuito di strutture di prova accreditate a livello internazionale dal network Paslink per la certificazione di prodotti per l'edilizia secondo standard condivisi a livello internazionale e replicabili in diversi siti.

Per realizzare questo obiettivo occorrerà sottoporre la Test Cell ad una serie di prove finalizzate a caratterizzare il comportamento della cella in rapporto ad una serie di test condotti su uno stesso provino fornito dal network e testato nei diversi test sites dei partners aderenti al progetto secondo procedure standard.

Con queste finalità negli ultimi anni la Commissione Europea ha promosso due progetti di ricerca nell'ambito dell'Annex 58:

- IQ Test, al fine di determinare delle procedure standards per la stima della trasmittanza termica e il fattore solare di componenti di prova finestrati;
- ROUND ROBIN TEST, per definire le procedure di monitoraggio e analisi dinamica dei dati su componenti opachi.

A chiusura di questo percorso risulta chiaro che la ricerca non può esaurirsi con il presente lavoro di tesi.

Tra gli sviluppi futuri si prevede che da questo punto in poi emerge la necessità di sviluppare dei protocolli di prova relativi all'uso della Test Cell Unifi in rapporto alle diverse tipologie di prodotti e componenti che possono essere testati.

Tra le altre possibilità che si prospettano, vi è la partecipazione a progetti di ricerca di più ampio respiro che possano prevedere l'uso della Test Cell, oltre che come strumento di misura per valutare sistemi e componenti di facciata più o meno complessi (sistemi di facciata di tipo adattivo/responsivo, sistemi di facciata attivi che integrano impianti e/o dispositivi intelligenti per il contenimento dei consumi energetici negli edifici), possa essere impiegata come strumento di verifica per la validazione dei codici di calcolo dei principali software di simulazione energetica a regime dinamico utilizzati in ambito scientifico, fornendo un importante contributo alla costruzione di modelli di simulazione tanto più aderenti alla realtà.





**PARTE IV - APPENDICE A**  
*REPORT PROVE DI CALIBRAZIONE HFS TILES*

---



## **REPORT PROVE DI CALIBRAZIONE HFS TILES**

### **MISURE TERMICHE DI LABORATORIO**

A seguire si riporta un report dettagliato delle attività di calibrazione delle tiles Unifi svolte nell'ambito del presente lavoro di tesi in occasione dell'esperienza di stage all'estero svolta presso il Laboratorio LCCE<sup>1</sup> (Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación) del Governo Vasco a Vitoria-Gasteiz.

Le prove sono state condotte nel Novembre del 2015 su tre campioni rappresentativi di tiles con la finalità di determinare un fattore di calibrazione comune a tutte le tiles impiegate per la misura del flusso termico attraverso le pareti della Test Room. Una volta ottenuto tale fattore è possibile determinare il flusso termico globale attraverso l'involucro della Test Room, moltiplicando il segnale in serie delle file di tiles per tale fattore di calibrazione e successivamente moltiplicando per la superficie totale delle pareti.

Le prove sono state condotte con il metodo della piastra calda con anello di guardia<sup>2</sup> in condizioni stazionarie posizionando il provino (tile) tra una piastra riscaldante e una piastra raffreddante regolando il livello di temperatura medio del provino e il salto termico tra le due piastre in modo da generare un flusso termico monodimensionale attraverso il campione in prova in regime stazionario.

Le prove in conduttivimetro sono eseguite su tre provini HFS (Tile1 , Tile2, Tile3).

*Lo scopo finale è la determinazione del fattore di calibrazione comune a tutte le tiles impiegate per la misura del flusso termico attraverso le pareti della Test Room. Tale fattore di calibrazione pone in relazione l'output della cella peltier e il flusso termico Q che attraversa la tile.*

Il fattore di calibrazione  $f$  è un valore espresso in  $W/m^2/mV$  riferito alla tile (elemento sensibile+pacchetto 53x53cm) ed è dato dal rapporto tra il flusso termico [ $W/m^2$ ] che attraversa la tile e il segnale elettrico restituito dalla parte sensibile della tile [mV].

Una volta ottenuto tale fattore di calibrazione sarà possibile determinare il flusso termico globale attraverso l'involucro della Test Room, moltiplicando il segnale in serie delle file di tiles per tale fattore di calibrazione e successivamente moltiplicando per la superficie totale delle pareti.

Le prove sono state effettuate combinando diverse condizioni di temperatura media del provino e di salto termico tra le piastre del conduttivimetro.

In sintesi le sequenze di prove possono distinguersi in due tipologie:

- Ciclo di prove a T variabile e  $\Delta T$  costante
- Ciclo di prove a T costante e  $\Delta T$  variabile

---

<sup>1</sup> <http://www.ehu.eus/enedi/>

<sup>2</sup> in accordo alle norme UNI 7745, UNI EN 12664, UNI EN 12667 e UNI EN 12939.

### **OBIETTIVI DELLE PROVE**

- Ciclo a T variabile e  $\Delta T$  costante :
  1. Determinare il fattore di calibrazione della tile sottoposta a differenti livelli di temperatura per descrivere la relazione tra l'output in mV e il flusso che attraversa la tile.
  2. Determinare l'intervallo di incertezza della misura del sensore.
  3. Verificare che il fattore di calibrazione medio ottenuto dalle prove sia indipendente dalle variazioni di temperatura media a cui il provino è sottoposto.
  
- Ciclo a T costante e  $\Delta T$  variabile :
  1. Determinare il fattore di calibrazione della tile in relazione a tre differenti livelli di flusso termico ( alto, medio, basso).
  2. Verificare che il fattore di calibrazione medio ottenuto dalle prove sia indipendente dalle variazioni di flusso termico a cui il provino è sottoposto.

Al termine di entrambi i cicli di prove eseguiti sulla Tile 1, si è verificato il corretto funzionamento del sensore e la stabilità del segnale di output ( mV ) al variare delle condizioni di Temperatura e di Flusso termico.

In conclusione, per la Tile 1 , si assume un fattore di calibrazione medio pari a :

$$f_{\text{Tile1}}=5,376\pm 0,069$$

Tale valore può essere reputato il più rappresentativo del comportamento del sensore in ragione del fatto che :

- Il fattore di calibrazione della tile 1 non dipende dal variare delle condizioni di temperatura media a cui il sensore è sottoposto, e per tale motivo è possibile ritenere tale valore costante essendo compreso all'interno del campo di errore ammissibile per ciascun punto di misura riportato nella fig. 6
- È stato calcolato in riferimento a una popolazione di misure eseguite entro un range di temperatura di tra 10 e 40 °C, analogo alle condizioni di esercizio a cui sarà sottoposta la Test Room durante le prove.
- Non risulta condizionato dagli effetti dovuti all'inerzia del sensore poiché i tempi di prova sono stati prolungati oltre i tempi normalmente necessari, in modo tale che il segnale di output fornito dal sensore si stabilizzasse in condizioni stazionarie.

## **TILE 1**

### **1. CICLO A T VARIABILE E $\Delta T$ COSTANTE**

#### ***DESCRIZIONE DELLA PROVA***

In relazione ai primi due obiettivi sopraindicati si è adottata la seguente strategia:

Per ciascun provino sono state effettuate 4 prove rispettivamente a  $T=10, 20, 30, 40^{\circ}\text{C}$  con un salto termico di  $10^{\circ}\text{C}$  (condizione di flusso costante e temperatura variabile).

Per ciascuna condizione di temperatura sono stati ricavati 10 punti rappresentativi. Per ciascun punto si è proceduto al calcolo del fattore di calibrazione  $f$  (riportato nella colonna  $f_{30}$ ) dato dal rapporto dei valori della colonna  $Q$  e dei valori della colonna  $\text{Tile 1}$ . Tali valori sono stati a loro volta ricavati a partire dal calcolo della media e della deviazione standard dei dati registrati ogni minuto durante la prova per un tempo totale di 30 minuti.

Di seguito si illustrano i risultati conseguiti per ciascuna delle quattro prove.



**TILE 1 - PROVA 1.a T=30°C ΔT= 10°C**

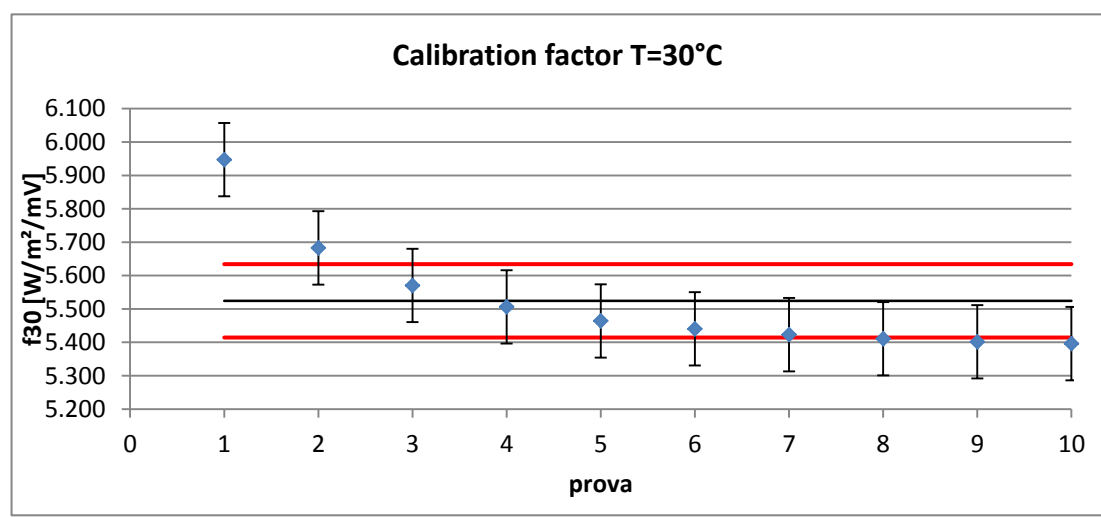
	<b>Q</b> <b>W/m<sup>2</sup></b>	<b>Tile 1</b> <b>mV</b>	<b>f30</b> <b>W/m<sup>2</sup>/mV</b>
<b>1</b>	9,539	1,603922	5,947
<b>2</b>	9,492	1,670205	5,683
<b>3</b>	9,499	1,705246	5,570
<b>4</b>	9,505	1,726149	5,506
<b>5</b>	9,507	1,739858	5,464
<b>6</b>	9,510	1,747967	5,440
<b>7</b>	9,510	1,753667	5,423
<b>8</b>	9,509	1,757424	5,411
<b>9</b>	9,508	1,760176	5,402
<b>10</b>	9,508	1,761985	5,396
		<b>fmedio</b>	<b>5,524</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,174</b>
		<b>u10</b>	<b>0,110</b>

**f30=5,524±0,110**

**Descrizione**

La prova a 30°C, tra tutte le prove, è la più rappresentativa delle condizioni operative in cui il sensore si troverà a funzionare all'interno della Test Cell. Per questa prova la popolazione di dati registrati è maggiore rispetto alle prove mostrate successivamente.

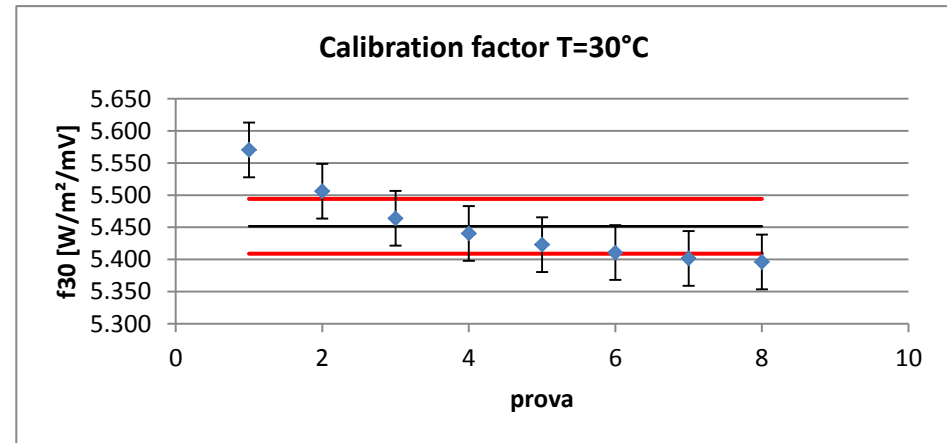
Il grafico mostra come il sensore sia caratterizzato da un'inerzia elevata, i valori si avvicinano lentamente ad un valore medio e si attestano all'interno di un range di incertezza statisticamente accettabile solo dopo il sesto punto, ovvero dopo 4 ore dall'inizio della prova in condizioni stazionarie. Per tale motivo si è deciso di scartare i primi 2 punti e calcolare il valore del fattore medio sulla base degli altri 8 punti.



**TILE 1 - PROVA 1.a T=30°C ΔT= 10°C**

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 1 mV	f30 W/m <sup>2</sup> /mV
1	9,539	1,603922	5,947
2	9,492	1,670205	5,683
3	9,499	1,705246	5,570
4	9,505	1,726149	5,506
5	9,507	1,739858	5,464
6	9,510	1,747967	5,440
7	9,510	1,753667	5,423
8	9,509	1,757424	5,411
9	9,508	1,760176	5,402
10	9,508	1,761985	5,396

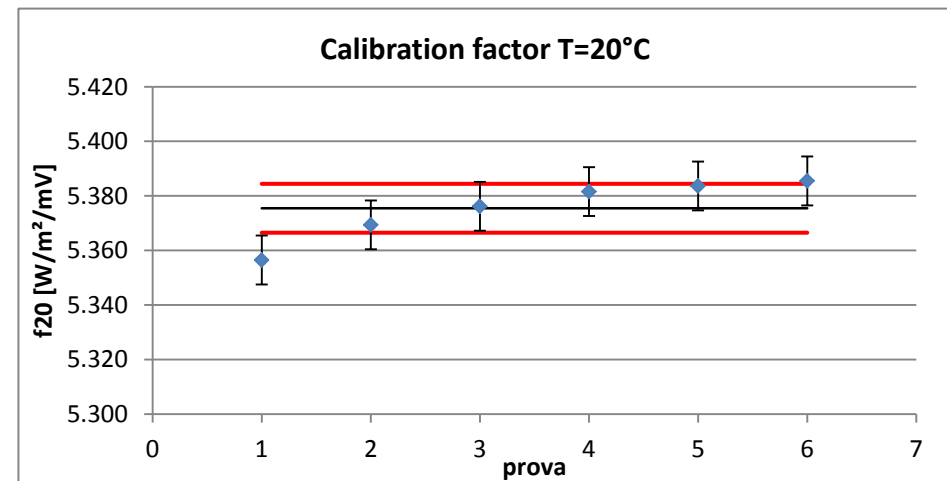
fmedio **5,524** **f30=5,524±0,110**  
 dev.st **0,174**  
 u10 **0,110**



**TILE 1 - PROVA 2.a T=20°C ΔT= 10°C**

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 1 mV	f20 W/m <sup>2</sup> /mV
1	9,071	1,693546	5,356
2	9,072	1,689626	5,369
3	9,071	1,687188	5,376
4	9,072	1,685717	5,382
5	9,071	1,684952	5,384
6	9,071	1,684429	5,385

fmedio **5,375** **f20=5,375±0,009**  
 dev.st **0,011**  
 u8 **0,009**

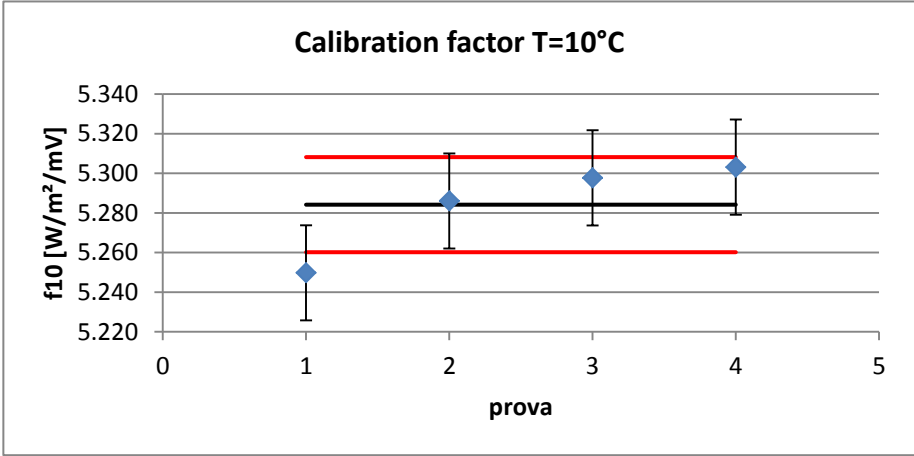




**TILE 1 - PROVA 3.a T=10°C ΔT= 10°C**

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 1 mV	f10 W/m <sup>2</sup> /mV
1	8,529	1,624588	5,250
2	8,521	1,612000	5,286
3	8,516	1,607471	5,298
4	8,513	1,605210	5,303
		<b>fmedio</b>	<b>5,284</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,024</b>
		<b>u8</b>	<b>0,024</b>

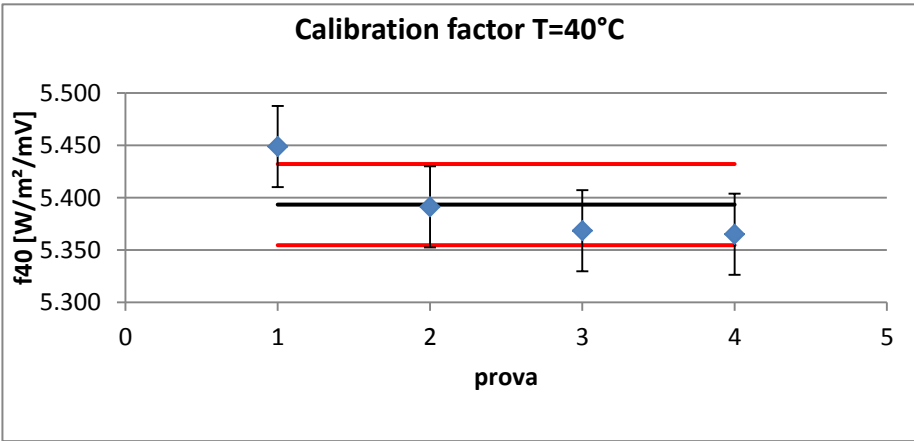
**f10=5,284±0,024**



**TILE 1 - PROVA 4.a T=40°C ΔT= 10°C**

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 1 mV	f40 W/m <sup>2</sup> /mV
1	9,933	1,822914	5,449
2	9,920	1,840013	5,391
3	9,912	1,846378	5,368
4	9,911	1,847377	5,365
		<b>fmedio</b>	<b>5,393</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,039</b>
		<b>u8</b>	<b>0,039</b>

**f40=5,393±0,039**



## TILE 1 - SINTESI CICLO A T VARIABILE E $\Delta T$ COSTANTE - SUMMARY $f(T)$

## Descrizione

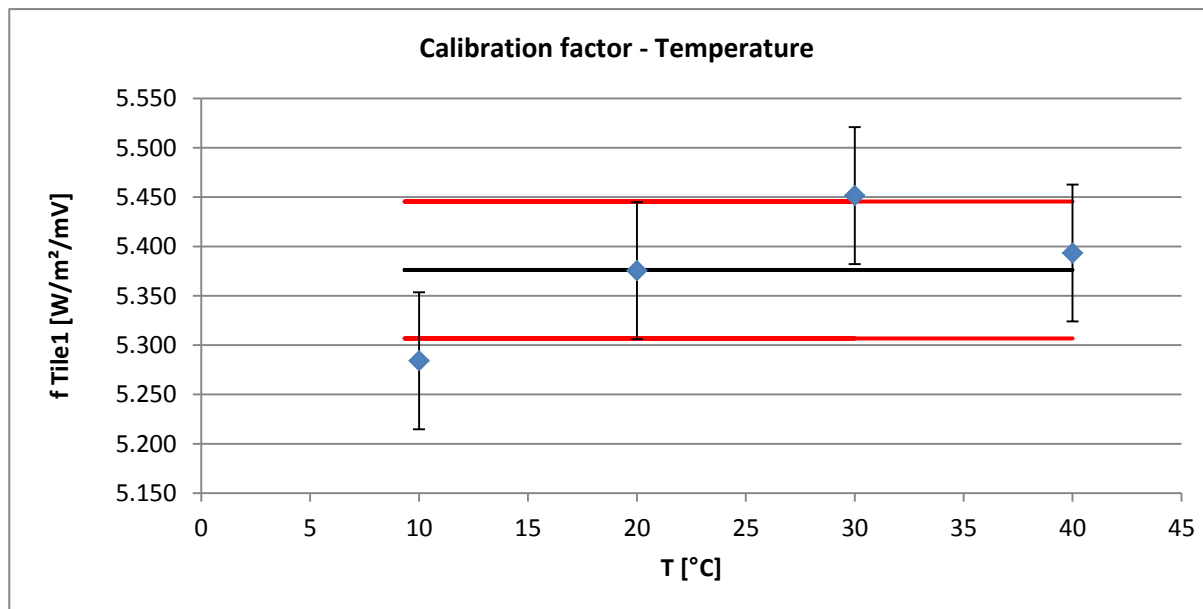
In relazione al primo obiettivo della prova, dopo aver determinato il fattore di calibrazione del sensore a diversi livelli di temperatura, si è proceduto alla determinazione di un fattore medio globale di calibrazione per la tile 1 valido per l'intervallo di temperatura 10-40°C.

Il fattore di calibrazione della tile 1 è:

$$f_{\text{Tile1}} = 5,376 \pm 0,069$$

Contestualmente è stata verificata l'indipendenza di tale valore dal livello di Temperatura a cui è sottoposta la Tile. Difatti osservando il grafico (Fig.6) che rappresenta il valore del fattore di calibrazione in funzione della Temperatura, tutte e quattro le misure ricadono con le proprie barre di errore all'interno del range di incertezza e l'errore che si commette nell'utilizzare il valore medio del fattore di calibrazione ottenuto dalle precedenti prove è dell'ordine di  $\pm 0,069$   $\text{W/m}^2/\text{mV}$ . Entrambe queste due condizioni ci permettono di assumere  $f_{\text{Tile1}} = 5,376 \pm 0,069$  e di poter affermare che tale fattore è un valore costante al variare della temperatura di esercizio della tile.

	T °C	$\Delta T$ °C	f $\text{W/m}^2/\text{mV}$	u $\text{W/m}^2/\text{mV}$
1	30	10	5,452	0,043
2	20	10	5,375	0,009
3	10	10	5,284	0,024
4	40	10	5,393	0,039
	<b>fmedio</b>		<b>5,376</b>	
	<b>dev.st</b>		<b>0,069</b>	
	<b>u3</b>		<b>0,069</b>	<b>f=5,376±0,069</b>



## **TILE 1**

### **2. CICLO A T COSTANTE E $\Delta T$ VARIABILE**

#### ***DESCRIZIONE DELLA PROVA***

Sono state effettuate 3 prove variando il flusso termico che attraversa il provino. A tale scopo nelle prime 2 prove è stato variato il livello del salto termico tra le piastre del conduttivimetro  $\Delta T=10-20^{\circ}\text{C}$ , mentre nella prova 3 è stato utilizzato un  $\Delta T=10^{\circ}\text{C}$  ed è stato raddoppiato lo spessore dello strato di isolante tra le piastre e il provino.

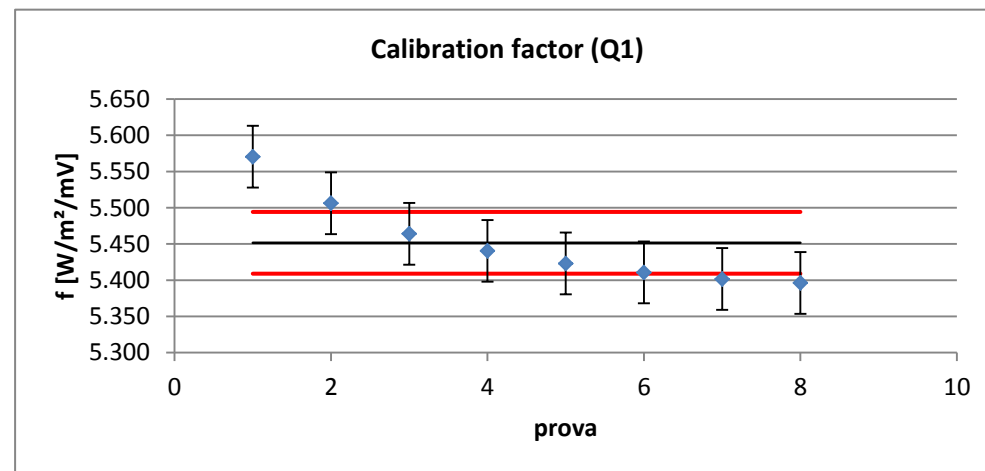
Per ciascuna prova sono stati ricavati 10 punti rappresentativi. Ogni misura equivale al valore medio del fattore di calibrazione  $f$  calcolato a partire dalla media dei dati registrati ogni minuto per un tempo totale di 30 minuti.

Di seguito si illustrano i risultati conseguiti per ciascuna delle quattro prove.



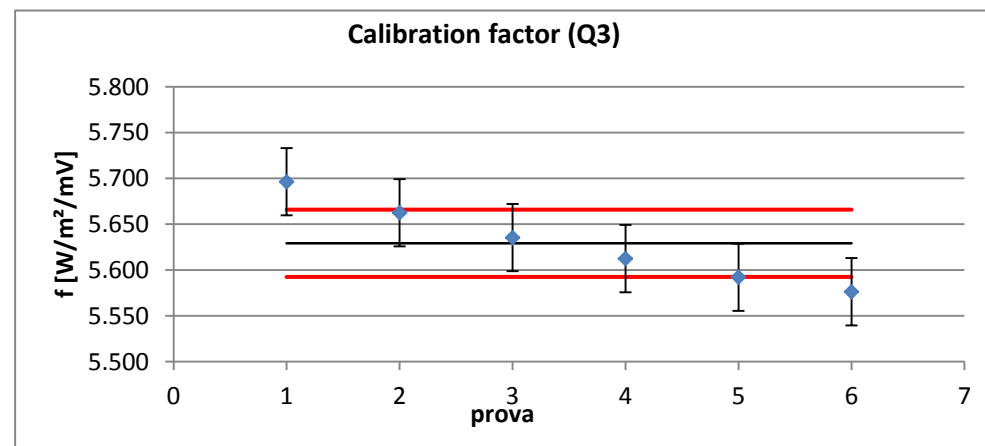
**TILE 1 - PROVA 1.b T=30°C ΔT= 10°C**

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 1 mV	f W/m <sup>2</sup> /mV	
1	9,499	1,705246	5,570	
2	9,505	1,726149	5,506	
3	9,507	1,739858	5,464	
4	9,510	1,747967	5,440	
5	9,510	1,753667	5,423	
6	9,509	1,757424	5,411	
7	9,508	1,760176	5,402	
8	9,508	1,761985	5,396	
	<b>9,507</b>	<b>fmedio</b>	<b>5,452</b>	<b>f=5,452±0,043</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,060</b>	
		<b>u10</b>	<b>0,043</b>	



**TILE 1 - PROVA 3.b T=30°C ΔT= 10°C+isolamento**

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 1 mV	f W/m <sup>2</sup> /mV	
1	6,420	1,126999	5,696	
2	6,380	1,126782	5,663	
3	6,350	1,126767	5,635	
4	6,326	1,127069	5,612	
5	6,306	1,127650	5,592	
6	6,292	1,128277	5,576	
	<b>6,346</b>	<b>fmedio</b>	<b>5,629</b>	<b>f=5,629±0,037</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,045</b>	
		<b>u8</b>	<b>0,037</b>	



**TILE 1 - PROVA 2.b T=30°C ΔT= 20°C**

**Descrizione**

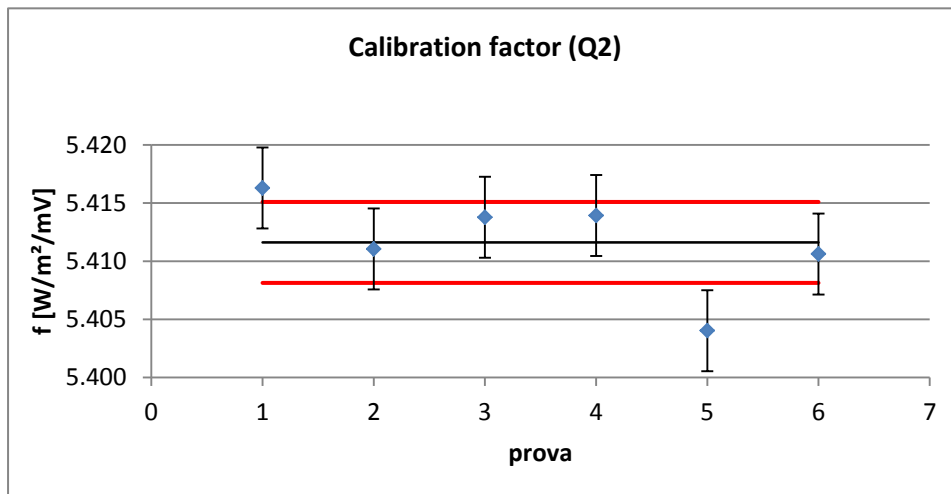
	<b>Q</b> <b>W/m<sup>2</sup></b>	<b>Tile 1</b> <b>mV</b>	<b>f</b> <b>W/m<sup>2</sup>/mV</b>
<b>1</b>	30,248	5,584573	5,416
<b>2</b>	30,240	5,588635	5,411
<b>3</b>	30,263	5,589919	5,414
<b>4</b>	30,268	5,590817	5,414
<b>5</b>	30,270	5,601306	5,404
<b>6</b>	30,290	5,598165	5,411
	<b>30,263</b>	<b>fmedio</b>	<b>5,412</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,004</b>
		<b>u8</b>	<b>0,003</b>

**f=5,412±0,003**

Per ciò che riguarda la determinazione dell'incertezza della misura propria del sensore (cella Peltier), è possibile averne una stima a partire dall'analisi dei risultati della PROVA 2.b.

In questa prova la tile è sottoposta a condizioni di Temperatura costante a 30°C e flusso termico elevato con un ΔT pari a 20°C, pertanto, se sottoposta a sollecitazioni elevate, l'intera superficie della tile si comporta in maniera omogenea rispetto alle prove precedenti in cui il sensore risentiva dell'inerzia totale dell'intero pacchetto della tile.

In queste condizioni i punti rappresentativi sul grafico mostrano un andamento del fattore di calibrazione costante e stabile, con una deviazione standard rispetto al valore medio di 0,003, difatti tali variazioni risultano trascurabili e rappresentano il rumore di fondo del sensore.



## TILE 1 - SINTESI CICLO A T COSTANTE E $\Delta T$ VARIABILE - SUMMARY Q(T)

## Descrizione

In relazione al secondo obiettivo, dopo aver determinato il fattore di calibrazione del sensore per ciascun livello di flusso (Q1, Q2, Q3), si è proceduto alla determinazione di un fattore medio di calibrazione globale per la tile 1 in funzione del flusso termico.

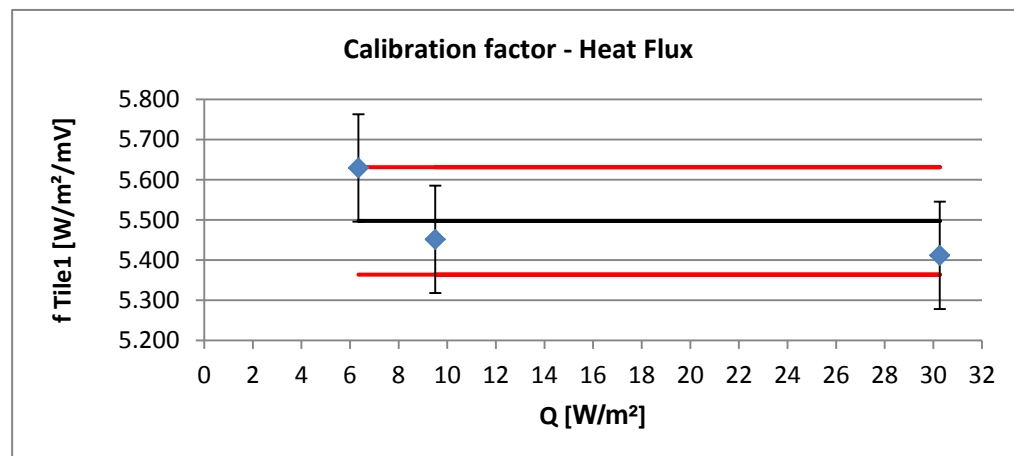
Tale valore risulta:

$$f=5,497\pm 0,134$$

Osservando il grafico in figura che rappresenta i tre punti del fattore di calibrazione in relazione ai tre flussi termici (basso, medio, alto), tutte e tre le misure ricadono con le proprie barre di errore all'interno del range di incertezza e l'errore che si commette nell'utilizzare il valore medio del fattore di calibrazione ottenuto dalle precedenti prove è dell'ordine di  $\pm 0,134$  W/m<sup>2</sup>/mV, dunque è possibile affermare che tale fattore è un valore costante e non dipende dalle variazioni di flusso che interessano il sensore durante la misura.

Il grafico mostra come, per valori alti del flusso, il fattore di calibrazione si avvicina maggiormente al valore medio calcolato, mentre per livelli bassi di flusso termico, il primo punto sul grafico si discosta dalla media. I tre punti riportati non sono sufficienti a fornire informazioni circa il comportamento della tile per valori vicini allo 0. Tuttavia, ai nostri scopi, non è necessario indagare su cosa accade per valori molto bassi del flusso, poiché le condizioni operative durante l'esecuzione della prova in Test Cell avvengono in condizioni di flusso termico elevato.

	T °C	Q W/m <sup>2</sup>	f W/m <sup>2</sup> /mV	u W/m <sup>2</sup> /mV
1	30	9,507	5,452	0,043
2	30	30,263	5,412	0,003
3	30	6,346	5,629	0,037
		<b>fmedio</b>	<b>5,497</b>	
		<b>dev.st</b>	<b>0,116</b>	
		<b>u3</b>	<b>0,134</b>	<b>f=5,497±0,134</b>







**SINTESI RISULTATI PROVE TILE 2 E TILE 3**

---

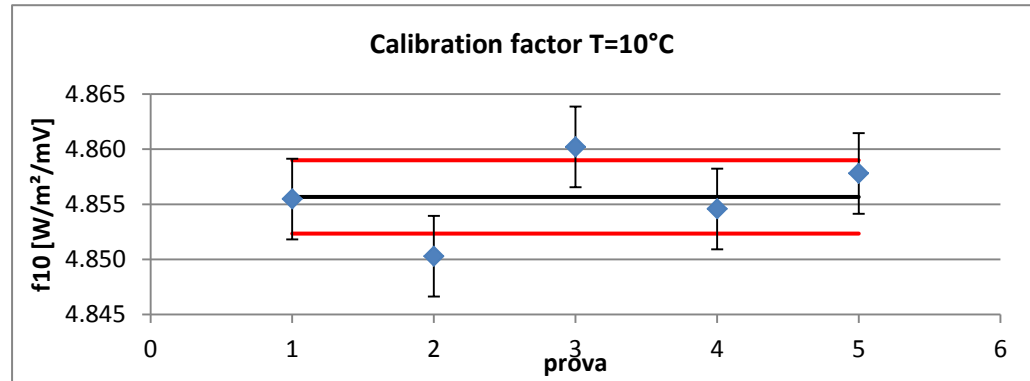


**TILE 3 - PROVA 1.a T=10°C ΔT= 10°C**

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 1 mV	f10 W/m <sup>2</sup> /mV
1	13,923	2,867549	4,855
2	13,907	2,867346	4,850
3	13,933	2,866844	4,860
4	13,918	2,866921	4,855
5	13,928	2,867127	4,858

fmedio **4,856**  
 dev.st **0,004**  
 u5 **0,003**

**f10=4,856±0,003**

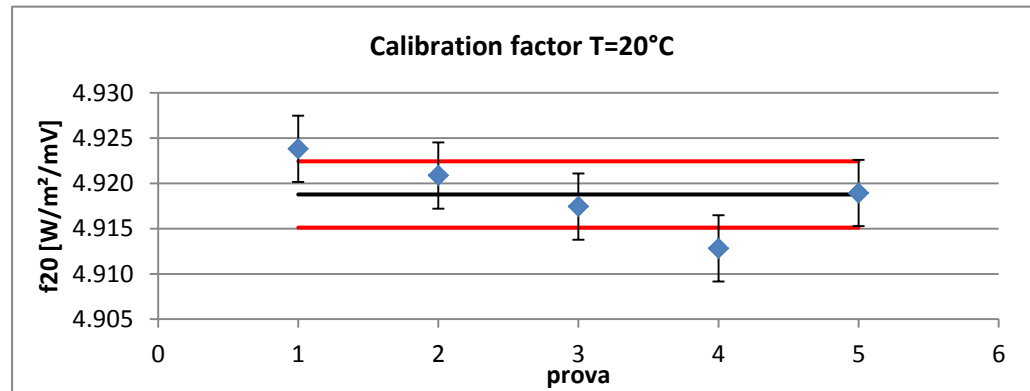


**TILE 3 - PROVA 2.a T=20°C ΔT= 10°C**

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 1 mV	f10 W/m <sup>2</sup> /mV
1	14,587	2,962570	4,924
2	14,585	2,963966	4,921
3	14,579	2,964751	4,917
4	14,568	2,965241	4,913
5	14,588	2,965586	4,919

fmedio **4,919**  
 dev.st **0,004**  
 u5 **0,004**

**f10=4,919±0,004**

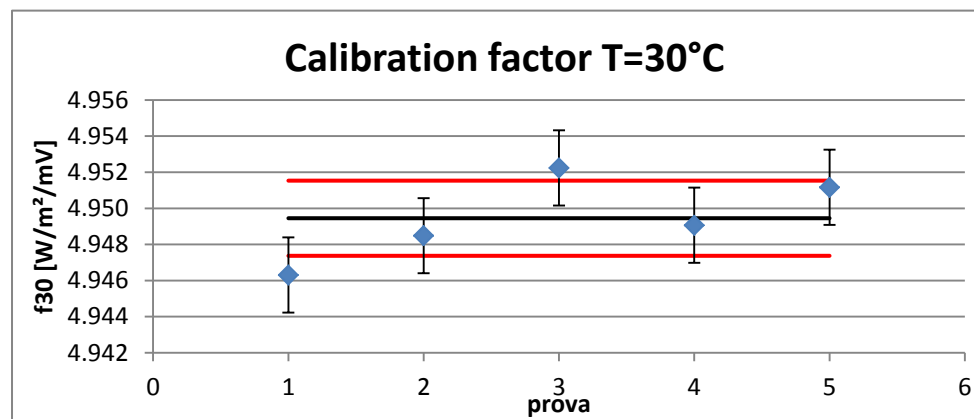


**TILE 3 - PROVA 3.a T=30°C ΔT= 10°C**

**Descrizione**

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 1 mV	f30 W/m <sup>2</sup> /mV
1	15,108	3,054488	4,946
2	15,117	3,054808	4,948
3	15,130	3,055255	4,952
4	15,120	3,055122	4,949
5	15,129	3,055568	4,951
		<b>fmedio</b>	<b>4,949</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,002</b>
		<b>u5</b>	<b>0,002</b>

**f10=4,949±0,002**

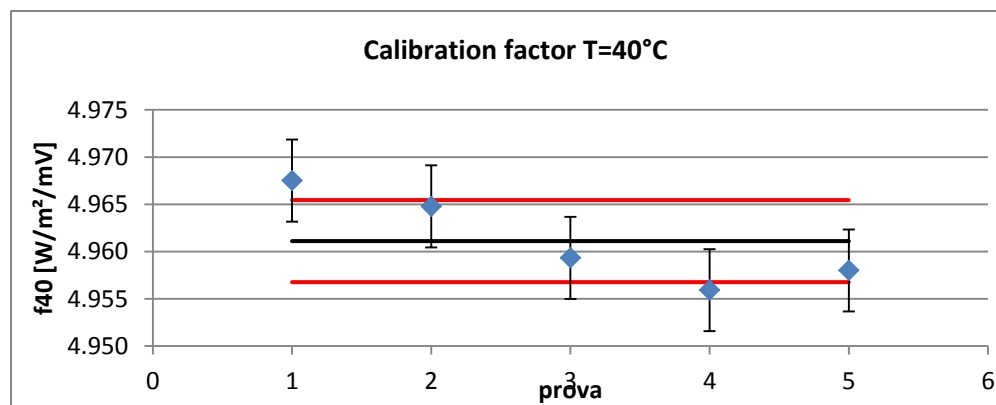


**TILE 3 - PROVA 4.a T=40°C ΔT= 10°C**

**Descrizione**

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 1 mV	f40 W/m <sup>2</sup> /mV
1	15,732	3,167066	4,968
2	15,731	3,168480	4,965
3	15,720	3,169723	4,959
4	15,714	3,170764	4,956
5	15,726	3,171867	4,958
		<b>fmedio</b>	<b>4,961</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,005</b>
		<b>u5</b>	<b>0,004</b>

**f10=4,961±0,004**



## TILE 3 - SINTESI CICLO A T VARIABILE E $\Delta T$ COSTANTE - SUMMARY $f(T)$

	T °C	$\Delta T$ °C	f W/m <sup>2</sup> /mV	u W/m <sup>2</sup> /mV
1	10	10	4,856	0,003
2	20	10	4,919	0,004
3	30	10	4,949	0,002
4	40	10	4,961	0,004
	fmedio		4,921	
	dev.st		0,047	
	u4		0,047	<b>f=4,921±0,0047</b>

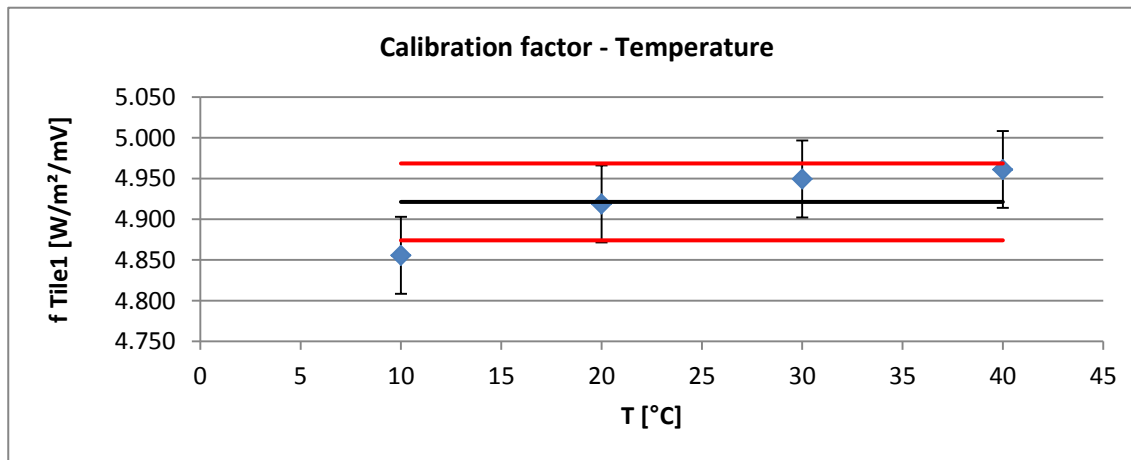
## Descrizione

In relazione al primo obiettivo della prova, dopo aver determinato il fattore di calibrazione del sensore a diversi livelli di temperatura, si è proceduto alla determinazione di un fattore medio globale di calibrazione per la tile 3 valido per l'intervallo di temperatura 10-40°C.

Il fattore di calibrazione della tile 3 è:

$$f_{\text{Tile3}} = 4,921 \pm 0,0047$$

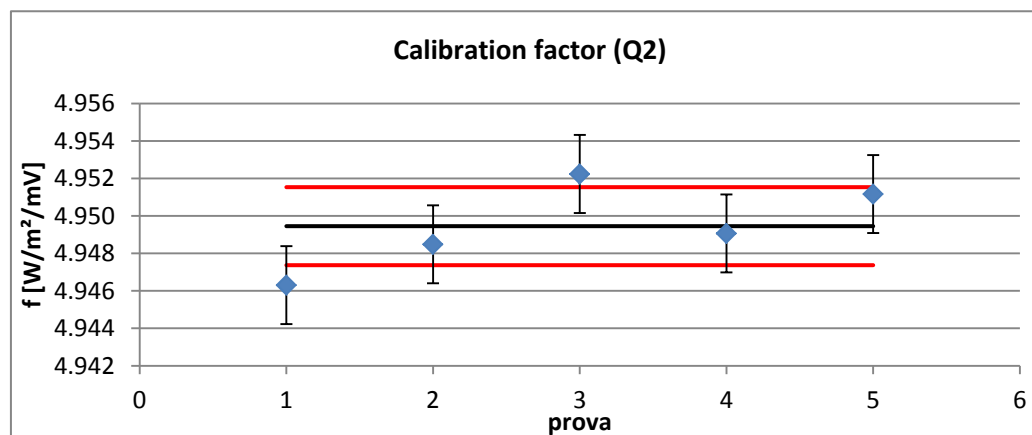
Contestualmente è stata verificata l'indipendenza di tale valore dal livello di Temperatura a cui è sottoposta la Tile. Difatti osservando il grafico che rappresenta il valore del fattore di calibrazione in funzione della Temperatura, tutte e quattro le misure ricadono con le proprie barre di errore all'interno del range di incertezza e l'errore che si commette nell'utilizzare il valore medio del fattore di calibrazione ottenuto dalle precedenti prove è dell'ordine di  $\pm 0,0047$  W/m<sup>2</sup>/mV. Entrambe queste due condizioni ci permettono di assumere  $f_{\text{Tile3}} = 4,921 \pm 0,0047$  e di poter affermare che tale fattore è un valore costante al variare dalla temperatura di esercizio della tile.



**TILE 3 - PROVA 1.b**     $T=30^{\circ}\text{C}$     $\Delta T= 10^{\circ}\text{C}$

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 3 mV	f W/m <sup>2</sup> /mV
1	15,108	3,054488	4,946
2	15,117	3,054808	4,948
3	15,130	3,055255	4,952
4	15,120	3,055122	4,949
5	15,129	3,055568	4,951
		<b>fmedio</b>	<b>4,949</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,002</b>
		<b>u5</b>	<b>0,002</b>

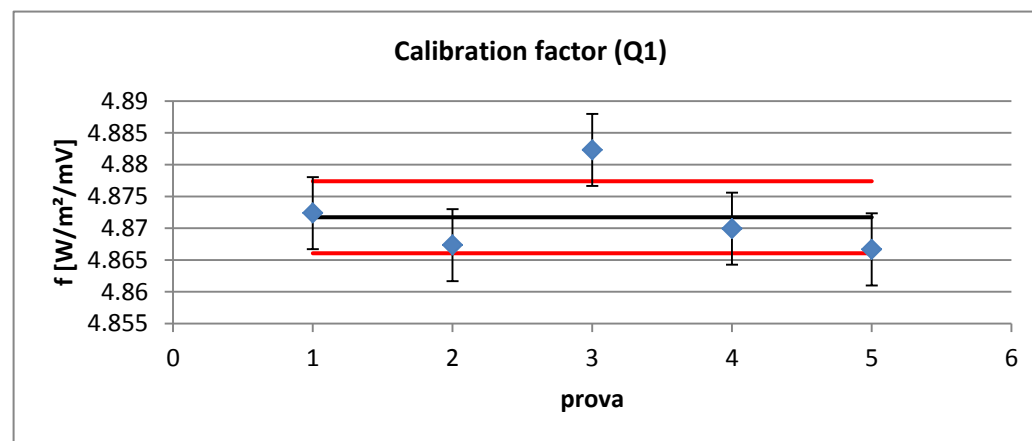
**f<sub>10</sub>=4,949±0,002**



**TILE 3 - PROVA 3.b**     $T=30^{\circ}\text{C}$     $\Delta T= 10^{\circ}\text{C}+\text{isolamento}$

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 3 mV	f <sub>30</sub> W/m <sup>2</sup> /mV
1	4,188	0,859485	4,872
2	4,184	0,859557	4,867
3	4,194	0,858961	4,882
4	4,185	0,859373	4,870
5	4,182	0,859261	4,867
		<b>fmedio</b>	<b>4,872</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,006</b>
		<b>u5</b>	<b>0,006</b>

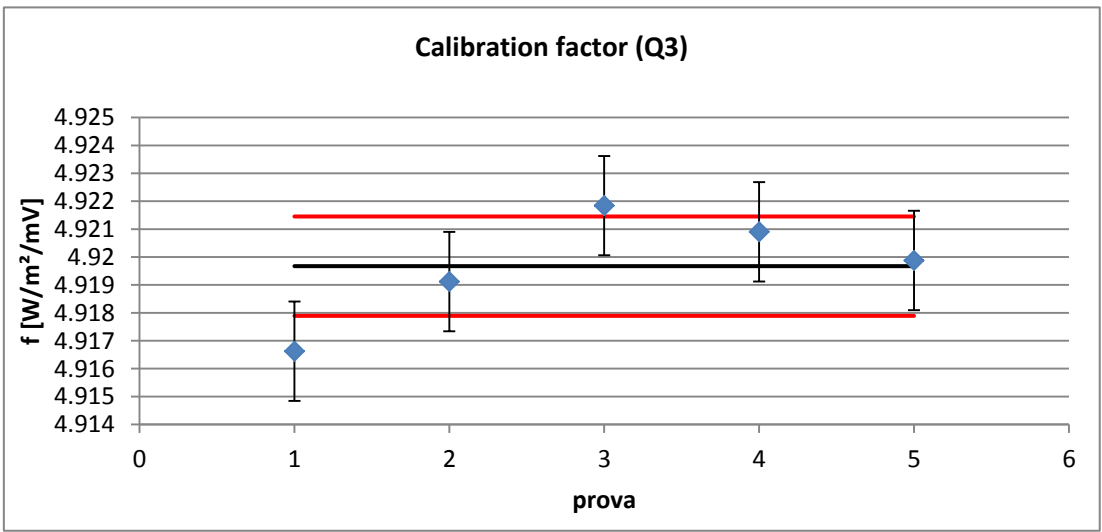
**f=4,872±0,006**



**TILE 3 - PROVA 4.b T=30°C ΔT= 20°C**

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 3 mV	f W/m <sup>2</sup> /mV
1	30,160	6,134294	4,917
2	30,174	6,133962	4,919
3	30,193	6,134457	4,922
4	30,188	6,134604	4,921
5	30,183	6,134936	4,920
		<b>fmedio</b>	<b>4,920</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,002</b>
		<b>u5</b>	<b>0,002</b>

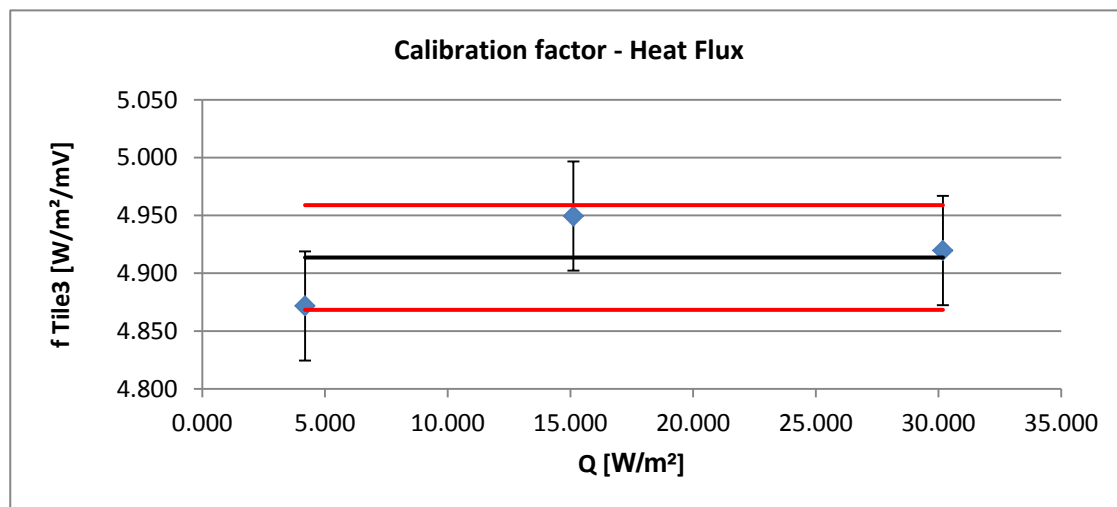
**f=4,920±0,002**



## TILE 3 - SINTESI CICLO A T VARIABILE E $\Delta T$ COSTANTE - SUMMARY $f(Q)$

## Descrizione

	T °C	Q W/m <sup>2</sup>	f W/m <sup>2</sup> /mV	u W/m <sup>2</sup> /mV
1	30	4,186	4,872	0,006
2	30	15,121	4,949	0,002
3	30	30,179	4,920	0,002
		<b>fmedio</b>	<b>4,914</b>	
		<b>dev.st</b>	<b>0,039</b>	
		<b>u3</b>	<b>0,045</b>	<b>f=4,914±0,045</b>



In relazione al secondo obiettivo, dopo aver determinato il fattore di calibrazione del sensore per ciascun livello di flusso (Q1, Q2, Q3), si è proceduto alla determinazione di un fattore medio di calibrazione globale per la tile 1 in funzione del flusso termico.

Tale valore risulta:

$$f=4,914\pm 0,045$$

Osservando il grafico in figura che rappresenta i tre punti del fattore di calibrazione in relazione ai tre flussi termici (basso, medio, alto), tutte e tre le misure ricadono con le proprie barre di errore all'interno del range di incertezza e l'errore che si commette nell'utilizzare il valore medio del fattore di calibrazione ottenuto dalle precedenti prove è dell'ordine di  $\pm 0,045$  W/m<sup>2</sup>/mV, dunque è possibile affermare che tale fattore è un valore costante e non dipende dalle variazioni di flusso che interessano il sensore durante la misura.

Il grafico mostra come, per valori alti del flusso, il fattore di calibrazione si avvicina maggiormente al valore medio calcolato, mentre per livelli bassi di flusso termico, il primo punto sul grafico si discosta dalla media. I tre punti riportati non sono sufficienti a fornire informazioni circa il comportamento della tile per valori vicini allo 0. Tuttavia, ai nostri scopi, non è necessario indagare su cosa accade per valori molto bassi del flusso, poiché le condizioni operative durante l'esecuzione della prova in Test Cell avvengono in condizioni di flusso termico elevato.

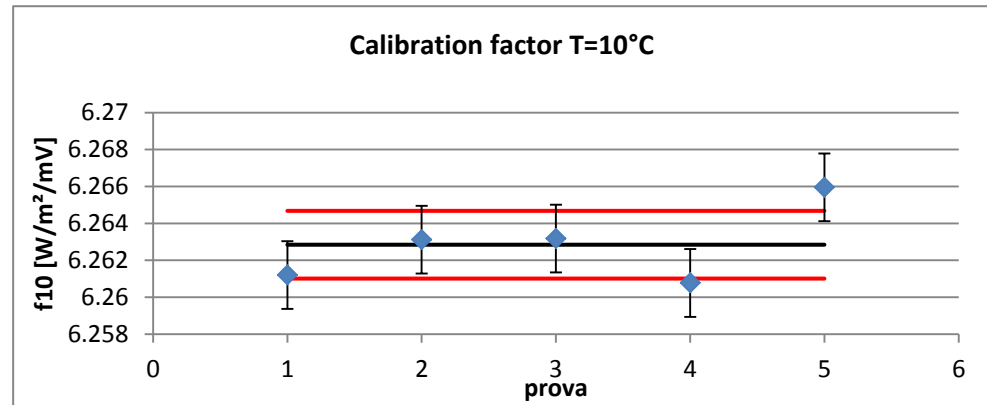




**TILE 2 - PROVA 1.a T=10°C ΔT= 10°C**

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 1 mV	f10 W/m <sup>2</sup> /mV
1	11,346	1,812101	6,261
2	11,350	1,812119	6,263
3	11,347	1,811775	6,263
4	11,345	1,812083	6,261
5	11,354	1,811995	6,266
		<b>fmedio</b>	<b>6,263</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,002</b>
		<b>u8</b>	<b>0,002</b>

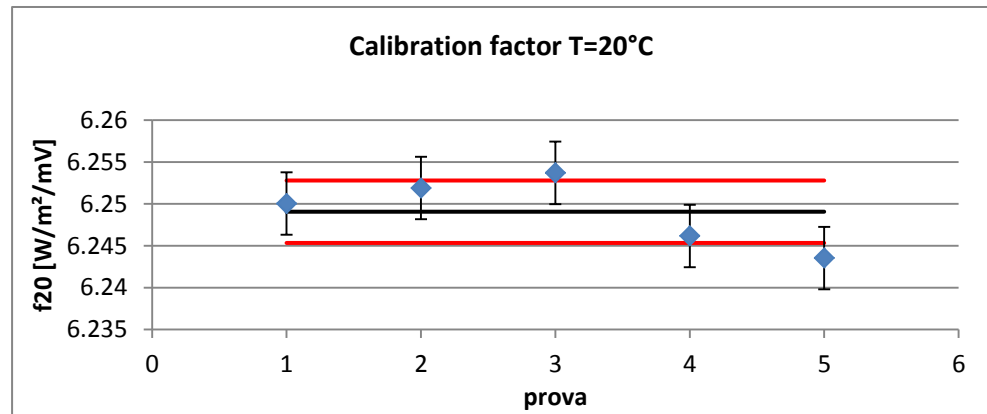
**f10=6,263±0,002**



**TILE 2 - PROVA 2.a T=20°C ΔT= 10°C**

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 2 mV	f20 W/m <sup>2</sup> /mV
1	11,7901	1,8864	6,250
2	11,7918	1,8861	6,252
3	11,7995	1,8868	6,254
4	11,7911	1,8877	6,246
5	11,7893	1,8882	6,244
		<b>fmedio</b>	<b>6,249</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,004</b>
		<b>u5</b>	<b>0,004</b>

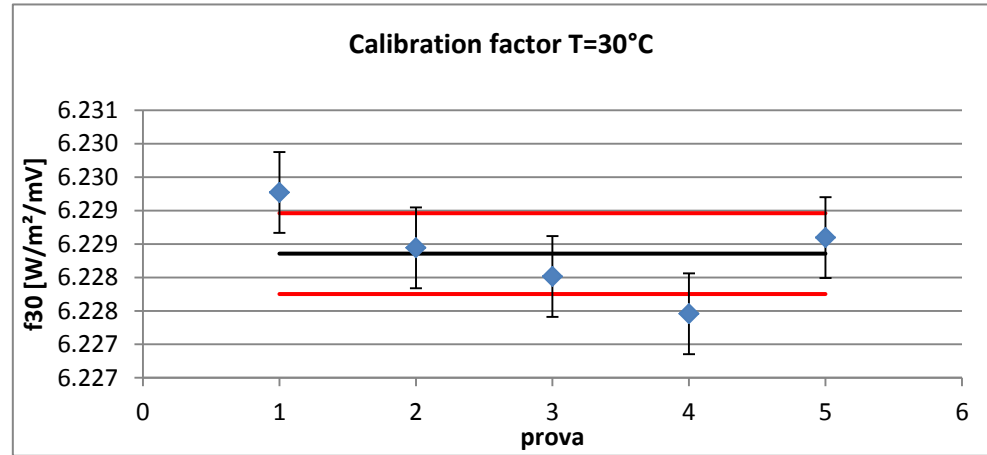
**f20=6,249±0,004**



**TILE 2 - PROVA 3.a T=30°C ΔT= 10°C**

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 2 mV	f30 W/m <sup>2</sup> /mV
1	12,241	1,965011	6,229
2	12,242	1,965550	6,228
3	12,243	1,965749	6,228
4	12,243	1,965925	6,227
5	12,243	1,965544	6,229
		<b>fmedio</b>	<b>6,228</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,001</b>
		<b>u5</b>	<b>0,001</b>

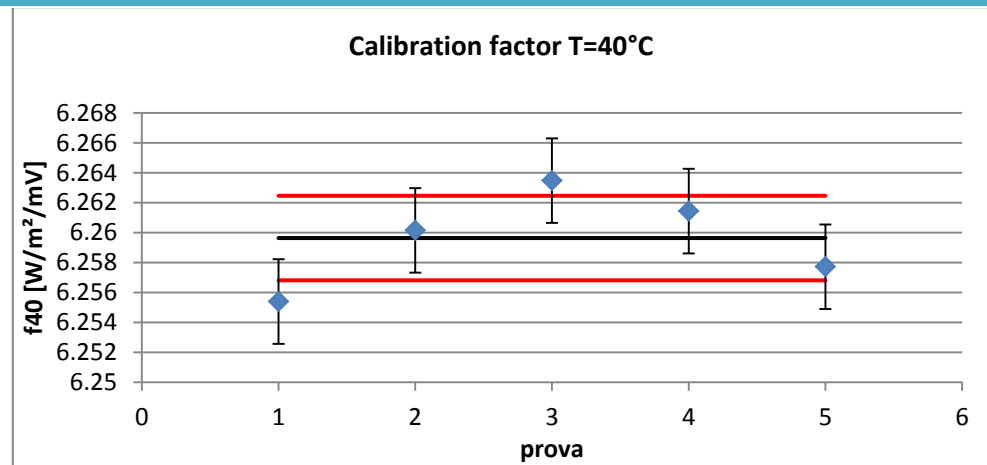
**f30=6,228±0,001**



**TILE 2 - PROVA 4.a T=40°C ΔT= 10°C**

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 2 mV	f40 W/m <sup>2</sup> /mV
1	12,810	2,047874	6,255
2	12,810	2,046275	6,260
3	12,810	2,045188	6,263
4	12,803	2,044762	6,261
5	12,798	2,045119	6,258
		<b>fmedio</b>	<b>6,260</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,003</b>
		<b>u5</b>	<b>0,003</b>

**f40=6,260±0,003**



## TILE 2 - SINTESI CICLO A T VARIABILE E $\Delta T$ COSTANTE - SUMMARY $f(T)$

	T	$\Delta T$	f	u
	°C	°C	W/m <sup>2</sup> /mV	W/m <sup>2</sup> /mV
1	10	10	6,263	0,002
2	20	10	6,249	0,004
3	30	10	6,228	0,001
4	40	10	6,260	0,003
	fmedio		6,250	
	dev.st		0,016	
	u4		0,016	<b>f=6,250±0,0016</b>

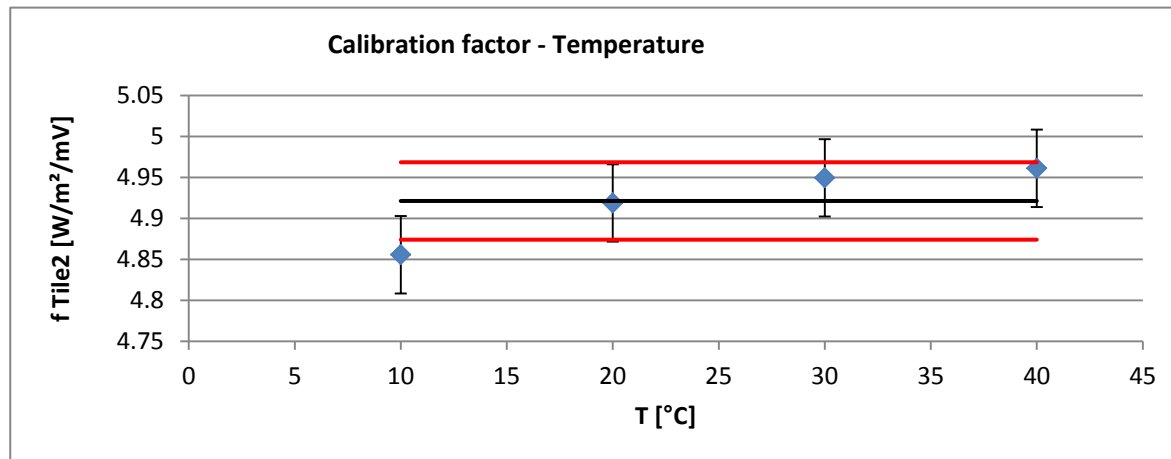
## Descrizione

In relazione al primo obiettivo della prova, dopo aver determinato il fattore di calibrazione del sensore a diversi livelli di temperatura, si è proceduto alla determinazione di un fattore medio globale di calibrazione per la tile 3 valido per l'intervallo di temperatura 10-40°C.

Il fattore di calibrazione della tile 2 è:

$$f_{\text{tile3}} = 6,250 \pm 0,0016$$

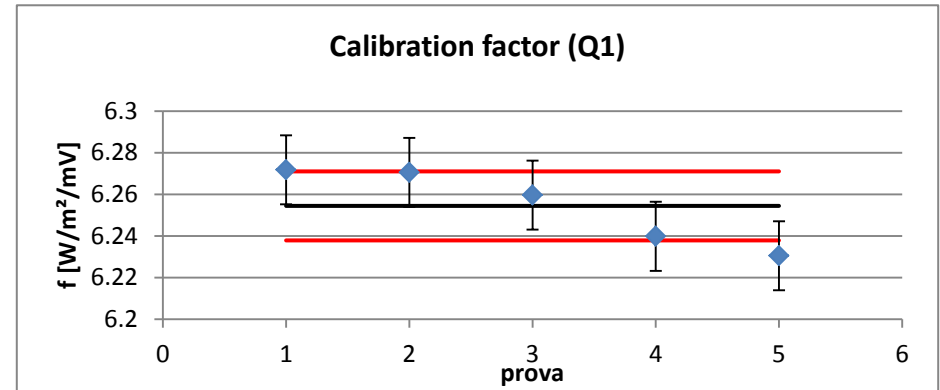
Contestualmente è stata verificata l'indipendenza di tale valore dal livello di Temperatura a cui è sottoposta la Tile. Difatti osservando il grafico che rappresenta il valore del fattore di calibrazione in funzione della Temperatura, tutte e quattro le misure ricadono con le proprie barre di errore all'interno del range di incertezza e l'errore che si commette nell'utilizzare il valore medio del fattore di calibrazione ottenuto dalle precedenti prove è dell'ordine di  $\pm 0,0016$  W/m<sup>2</sup>/mV. Entrambe queste due condizioni ci permettono di assumere  $f_{\text{Tile2}}$  e di poter affermare che tale fattore è un valore costante al variare della temperatura di esercizio della tile.



**TILE 2 - PROVA 1.b**  $T=30^{\circ}\text{C}$   $\Delta T= 10^{\circ}\text{C}$ +isolamento

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 2 mV	f W/m <sup>2</sup> /mV
1	4,1562	0,6627	6,272
2	4,1568	0,6629	6,271
3	4,1515	0,6632	6,260
4	4,1401	0,6635	6,240
5	4,1354	0,6637	6,230
		<b>fmedio</b>	<b>6,254</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,019</b>
		<b>u5</b>	<b>0,017</b>

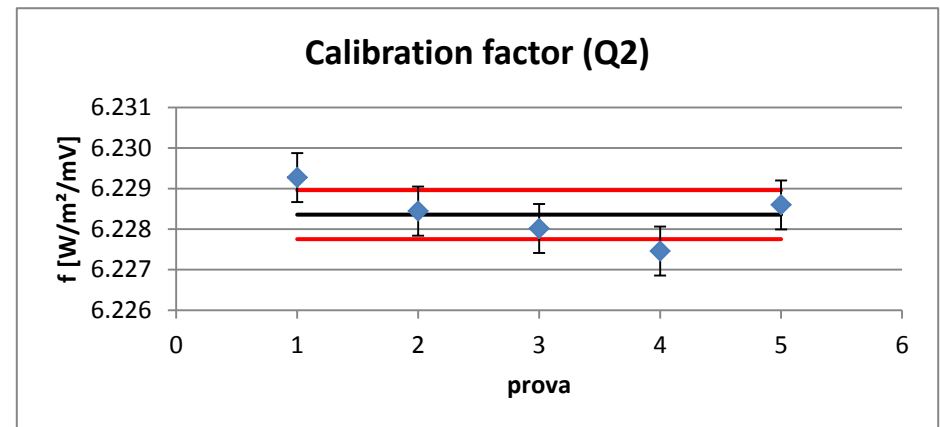
**f=6,254±0,017**



**TILE 2 - PROVA 2.b**  $T=30^{\circ}\text{C}$   $\Delta T= 10^{\circ}\text{C}$

	Q W/m <sup>2</sup>	Tile 2 mV	f W/m <sup>2</sup> /mV
1	12,241	1,965011	6,229
2	12,242	1,965550	6,228
3	12,243	1,965749	6,228
4	12,243	1,965925	6,227
5	12,243	1,965544	6,229
		<b>fmedio</b>	<b>6,228</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,001</b>
		<b>u5</b>	<b>0,001</b>

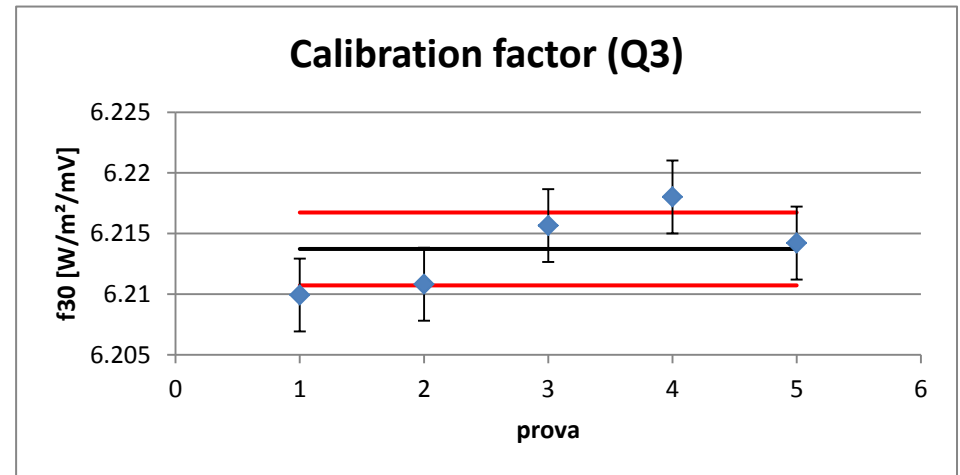
**f30=6,228±0,001**



**TILE 2 - PROVA 3.b**    **T=30°C ΔT= 20°C**

	<b>Q</b> <b>W/m<sup>2</sup></b>	<b>Tile 2</b> <b>mV</b>	<b>f30</b> <b>W/m<sup>2</sup>/mV</b>
<b>1</b>	24,6096	3,9629	6,210
<b>2</b>	24,6430	3,9677	6,211
<b>3</b>	24,6364	3,9636	6,216
<b>4</b>	24,6327	3,9615	6,218
<b>5</b>	24,6090	3,9601	6,214
		<b>fmedio</b>	<b>6,214</b>
		<b>dev.st</b>	<b>0,003</b>
		<b>u5</b>	<b>0,003</b>

**f30=6,214±0,003**



## TILE 2 - SINTESI CICLO A T VARIABILE E $\Delta T$ COSTANTE - SUMMARY $f(Q)$

**HFS TILE 2- SUMMARY  $f(Q)$**

	T °C	Q W/m <sup>2</sup>	f W/m <sup>2</sup> /mV	u W/m <sup>2</sup> /mV
1	30	4,148	6,254	0,017
2	30	12,242	6,228	0,001
3	30	24,626	6,214	0,003
		fmedio	<b>6,232</b>	
		dev.st	<b>0,021</b>	
		u3	<b>0,024</b>	

$$f=6,232\pm 0,024$$

## Descrizione

Al termine di entrambi i cicli di prove eseguiti sulla Tile 2, si è verificato il corretto funzionamento del sensore e la stabilità del segnale di output ( mV ) al variare delle condizioni di Temperatura e di Flusso termico.

In conclusione, per la Tile 2 , si assume un fattore di calibrazione medio pari a :

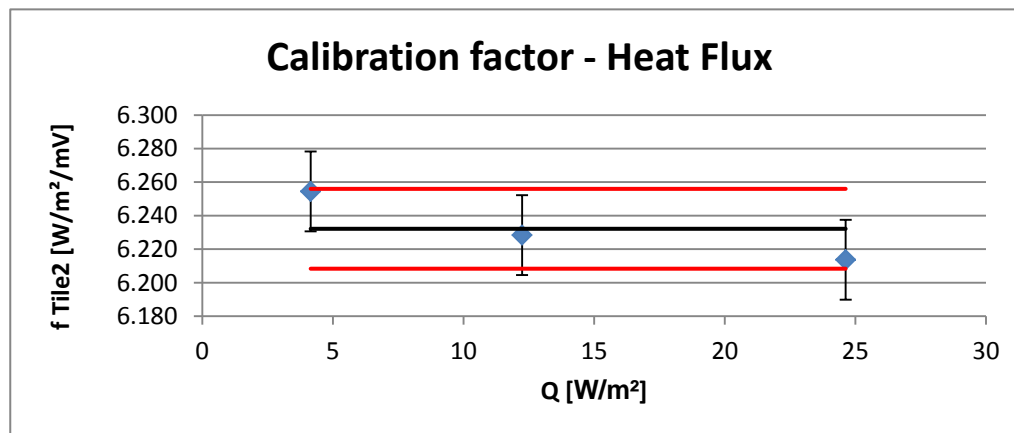
$$f_{\text{Tile2}}=6,232\pm 0,024$$

Tale valore può essere reputato il più rappresentativo del comportamento del sensore in ragione del fatto che :

Il fattore di calibrazione della tile 2 non dipende dal variare delle condizioni di temperatura media a cui il sensore è sottoposto, e per tale motivo è possibile ritenere tale valore costante essendo compreso all'interno del campo di errore ammissibile per ciascun punto di misura riportato nella .

È stato calcolato in riferimento a una popolazione di misure eseguite entro un range di temperatura di tra 10 e 40 °C, analogo alle condizioni di esercizio a cui sarà sottoposta la Test Room durante le prove.

Non risulta condizionato dagli effetti dovuti all'inerzia del sensore poiché i tempi di prova sono stati prolungati oltre i tempi normalmente necessari, in modo tale che il segnale di output fornito dal sensore si stabilizzasse in condizioni stazionari.



## **1. CONCLUSIONI**

Al termine di entrambi i cicli di prove eseguiti su tutti e tre i campioni Tile 1, Tile 2, Tile 3, si è verificato il corretto funzionamento del sensore e la stabilità del segnale di output ( mV ) al variare delle condizioni di Temperatura e di Flusso termico.

È possibile notare una risposta più rapida della Tile 3 rispetto alla Tile 1, difatti il segnale si stabilizza molto più rapidamente attorno ad un valore che può essere considerato costante. Le ragioni di questa stabilizzazione sono da ricondursi alle modalità con cui è stata eseguita la prova: il conduttivimetro prima della prova è stato sottoposto ad un preriscaldamento alla temperatura di 30°C affinché il ciclo di prove sulla Tile 3 iniziasse in condizioni molto vicine alle condizioni di stazionarietà.

In conclusione, per le tiles impiegate in test cell , si assume un fattore di calibrazione medio comune pari a :

$$f_{\text{Tile}}=5,376\pm 0,069 \text{ [W/m}^2\text{/mV]}$$

Tale valore può essere reputato il più rappresentativo del comportamento del sensore in ragione del fatto che :

- Il fattore di calibrazione della tile non dipende dal variare delle condizioni di temperatura media a cui il sensore è sottoposto, e per tale motivo è possibile ritenere tale valore costante essendo compreso all'interno del campo di errore ammissibile per ciascun punto di misura riportato nella fig. 6
- È stato calcolato in riferimento a una popolazione di misure eseguite entro un range di temperatura di tra 10 e 40 °C, analogo alle condizioni di esercizio a cui sarà sottoposta la Test Room durante le prove.
- Non risulta condizionato dagli effetti dovuti all'inerzia del sensore poiché i tempi di prova sono stati prolungati oltre i tempi normalmente necessari, in modo tale che il segnale di output fornito dal sensore si stabilizzasse in condizioni stazionarie.



**PARTE IV - APPENDICE B**  
*SCHEDA TECNICHE SENSORI IN TEST CELL*

---



## RAPPORTO DI TARATURA E COLLAUDO / CALIBRATION REPORT

**Date:** 14/12/2011

**Report N.** 5012

**Cliente:**  
**Customer:** THESAN PROJECT

### STRUMENTO / INSTRUMENT

<b>Modello Strumento:</b> <i>Model:</i>	<b>ANS-DV-B</b>	<b>Descrizione:</b> Sensore direzione vento <i>Description:</i>
<b>Numero di serie:</b> <i>Serial Number:</i>	<b>1003960</b>	
<b>Data di costruzione:</b> <i>Manufacturing date:</i>	<b>14/12/2011</b>	

**Range:** 0 ÷ 359°N  
*Range:*

**Uscita:** 4 ÷ 20mA  
*Signal Out:*

**Alimentazione:** 12Vdc  
*Power Supply:*

### Catena di riferibilità strumenti campione impiegati nelle tarature/calibrazioni: *Traceability of the instruments used in calibration*

<i>Tipo Sensore / Sensor type</i>	<i>Strumento Campione/Reference Instrument</i>
<b>Termometri</b> <i>Thermometers</i>	Misura per confronto con calibratore e generatore Pt100 mod. CA100-255701 Yokogawa mat. 27CC11836L, certificato SIT, e con analogo sensore Pt100 1/3DIN certificato SIT in cella climatica, entrambi con certificato valido alla data del presente rapporto. <i>Comparison with calibrator and generator Pt100 mod. CA100-255701 Yokogawa mat. 27CC11836L, and with 1/3DIN Pt100 RTD certified SIT in climatic camera. Both certificates are valid on the date of this report.</i>
<b>Barometri</b> <i>Barometers</i>	Verifica per confronto con barometro campione mod.HD9408TBARO mat.04023627 certificato SIT. Taratura effettuata su 5 punti in salita, 5 punti in discesa e 1 ciclo di misura nel range 800÷1100hPa. Certificato valido alla data del presente rapporto. <i>Comparison with reference barometer mod.HD9408TBARO mat. 04023627, certified SIT. Calibration carried out on 5 points up, 5 points down and 1 cycle of measurement in the range 800 ÷ 1100hPa. The certificate is valid on the date of this report.</i>
<b>Pluviometri</b> <i>Rain Gauge</i>	Misura effettuata per verifica del peso di una data quantità d'acqua distillata per mezzo di un sistema di calibrazione a bilancia di Precisione mod. KERN D-72336, mat. K03078, certificata DKD Balingen Germany. Campo 0-2000g, tolleranza 10mg. Certificato valido alla data del presente rapporto. <i>Measure carried out by checking the weight of a given quantity of distilled water through a calibration system with an high precision balance mod. KERN D-72336, mat. K03078, certificate DKD Balingen Germany. Field 0-2000g, tolerance 10mg. The certificate is valid on the date of this report.</i>
<b>Gonioanemometri</b> <i>Wind direction sensor</i>	Confronto con Goniometro di precisione mod. RUPAKGONIMETRO mat.003 certificato UKAS (riconosciuto SIT). Range 360° precisione 5' Certificato valido alla data del presente rapporto. <i>Comparison with precision Protractor mod. RUPAKGONIMETRO mat.003 certified UKAS (recognised SIT). Range 360 ° precision 5'. The certificate is valid on the date of this report.</i>
<b>Igrometri</b> <i>Humidity sensor</i>	Taratura per misura diretta in soluzioni sature al 33% e al 75% certificate SIT e per confronto con analogo strumento campione certificato SIT. Certificato valido alla data del presente rapporto. <i>Calibration for direct measure in saturated solutions to 33% and 75% certified SIT and with a same instrument SIT certified. The certificate is valid on the date of this report.</i>
<b>Tacoanemometri</b> <i>Wind speed sensor</i>	Taratura per confronto con anemometri campione a coppe Robinson mod.ANS-VV-N, certificati su 13 punti Measnet, Certificato valido alla data del presente rapporto. <i>Calibration for comparison with primary cups anemometers type Robinson mod.ANS-VV-N, certified on 13 points Measnet. The certificate is valid on the date of this report.</i>
<b>Radiometri</b> <i>Radiometers</i>	Verifica delle caratteristiche strumentale per confronto con strumento primario Mod. KippZonen CM22 mat.050109, certificato da K&Z Range 0-2000W/mq, costante sensibilità 9.36µV/W/mq, e con CM5 K&Z s.n 871281 certificato D.O. n.20102524F, K= 1.0.6mV(kW/mq). <i>Check of instrumental characteristics with primary instrument Mod. KippZonen CM22 mat.050109, Certified by K&amp;Z. Range 0-2000W/mq, sensitivity 9.36µV/W/mq (horizontal position), and with CM5 K&amp;Z s.n. 871281 certified D.O. n. 20102524F, K=10.6mV(kW/mq) .</i>
<b>Datalogger</b> <i>Datalogger</i>	Calibrazione sull'intera scala per mezzo di calibratore Mod. CA100-255701 Yokogawa mat. 27CC11836L, certificato SIT. Certificato valido alla data del presente rapporto. <i>Calibration on the full scale with calibrator Mod. CA100-255701 Yokogawa mat. 27CC11836L, certified SIT. The certificate is valid on the date of this report.</i>

**Temperatura di prova:**  
*Temperature condition:* 22.1 °C

**Umidità di prova:**  
*Humidity condition:* 38 %Rh

\*Revisione consigliata ogni:  
*\*Calibration suggested every:* 12 mesi

Collaudato  Conforme   
*Tested: Checked:*

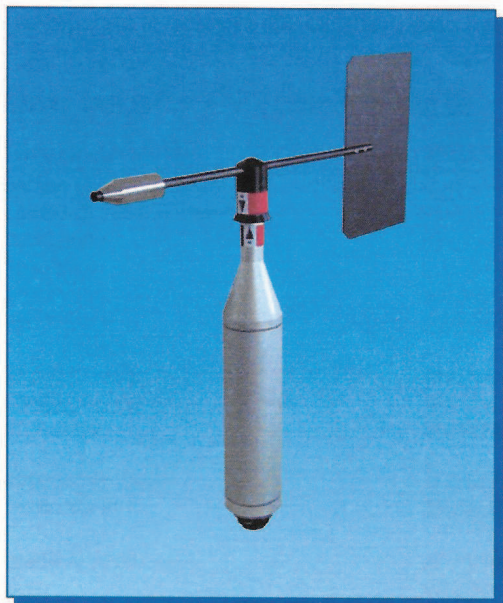
### Esito/Test result:

Lo strumento è risultato conforme alle specifiche allegate, parte integrante del presente documento.  
Lo strumento è inoltre conforme alle direttive WMO Annex.n8 ove previste  
*The instrument was found to comply with the specifications attached, an integral part of this document.  
The instrument is also in accordance to the WMO norms Annex.n8 where provided.*

Verificato da/calibrato da:  
Via Sante, 12 - 20139 Milano (TV)  
Cod. Fisc. e P.IVA: 01422830990

\*La durata della calibrazione è garantita per il periodo minimo indicato, in condizioni di normale utilizzo dello strumento  
\* The calibration is guaranteed for the minimum period indicated, in normal use of the instrument

## DV Sensore Direzione Vento / *Wind Direction Sensor*



- Sensore Direzione Vento lineare e preciso  
*High precision Wind Direction Sensor*
- Conforme allo standard **WMO**  
*According to **WMO** standards*
- Classificazione conforme alle norme **IEC 61400-12-1**  
*Classification in compliance with **IEC 61400-12-1***
- Struttura in alluminio robusta e compatta  
*Compact and light design in aluminium.*
- Range misura tipico / *Typical range 0÷359°N*
- Basso consumo / *low power consumption*
- Facile da installare / *easy to install*
- Elevata risposta dinamica al vento /  
*High dynamic response to wind*
- Segnale di uscita / *signal output:*  
4÷20mA, 0÷2Vdc

### Principio di misura

Il sensore è costituito da un **trasduttore potenziometrico** di elevata precisione e stabilità nel tempo. Il sensore è realizzato in conformità agli standard **WMO** (World Meteorological Organization) ed è disponibile anche nelle versioni con riscaldatore (cod. **DVR**) per le zone soggette a neve o ghiaccio. Il sensore è disponibile nelle versioni con uscita 0÷2Vdc o 4÷20mA (altre uscite su richiesta).

### Descrizione

Il sensore per la misura della direzione del vento è costruito con materiali ad alta affidabilità e durata che consentono di mantenere nel tempo le caratteristiche iniziali di sensibilità e precisione.

Il sensore impiega uno **speciale potenziometro ad alta precisione**, che assicura un'ottima risoluzione, un'elevata sensibilità e una notevole durata meccanica in un **angolo operativo di 360°**.

La robustezza meccanica consente al sensore di resistere a venti di forte intensità e ad improvvise raffiche (fino a 300km/h). Infine l'impiego di materiali quali **alluminio anodizzato e acciaio inossidabile**, garantisce un'ottima resistenza alla corrosione dovuta dagli agenti atmosferici, assicurando una lunga durata nel tempo. Il sensore è corredato di **protezioni elettriche**.

### Taratura del sensore

Le caratteristiche *statiche* dei sensori direzione vento vengono rilevate tramite un **sistema goniometrico**, al fine di confrontare l'angolo misurato dal sensore con la posizione fissa del **goniometro certificato**. La caratteristica *dinamica* è determinata dalla velocità di risposta del sensore direzione vento, a improvvisi cambi

### Measurement principle

*The sensor is made of an high precision and high stability **potentiometric transducer**.*

*This sensor is built according to the **WMO standards** (World Meteorological Organization). It's also available in the versions with heater for low temperature areas (**DVR** cod.). The sensor is available with analog output 0÷2Vdc or 4÷20mA (other outputs on request).*

### Description

*The sensor for the the wind direction measure, is manufactured with materials to high reliability and duration, that allow to maintain in long time the characteristics of sensibility and accuracy. The sensor uses a **special high precision potentiometer**, that assures high resolution, high sensibility and a long mechanical life, with **an operative angle of 360°**. The mechanical body shape allows to resist at high wind speed or squalls (up to 300km/h). Finally the use of materials like the **anodized aluminium and the stainless steel**, guarantees an optimal resistance to the corrosion due to the atmospheric agents, assuring therefore one long time duration. The sensor is equipped with **electrical protections**.*

### Calibration of the sensor

*The static characteristics of the wind direction sensors are measured through a **goniometric system**, that allows to compare the angle measured from the sensor with the fixed position of the **certified goniometer**. The dynamic characteristic, is determined by the answer time of the wind direction sensor at unexpected changes*

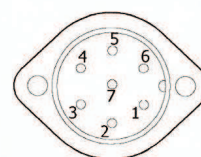
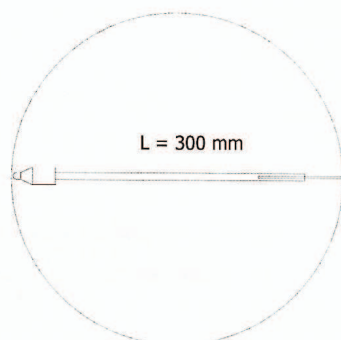
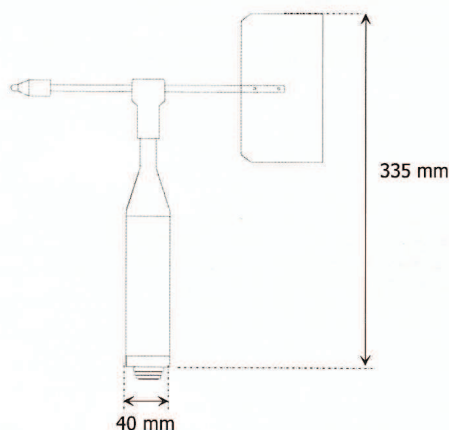
di direzione del vento. Per tale verifica, viene utilizzato un sistema a braccio rotante, il cui movimento simula improvvisi getti d'aria da diverse direzioni. I dati acquisiti da appositi sistemi vengono quindi elaborati per estrapolare le costanti che caratterizzano il sensore.

of wind direction. For such verification, is used a system with rotary arm, whose movement simulates unexpected air jets from various directions. Then the data acquired from specific systems come elaborates in order to extrapolate the constants that characterize the sensor.

## Dati tecnici / Technical Data

Direzione vento	Wind direction	
campo di misura tipico	typical measurement range	0 ÷ 359°
campo di funzionamento	operating range	raffiche/blasts 0 ÷ 100 m/s
risoluzione	resolution	0.1°
sensibilità	sensibility	0.25 m/s
precisione	accuracy	± 1°
trasduttore	transducer	Bandaruola con potenziometro di precisione Vane with high accuracy potentiometer
segnale di uscita standard	standard signal output	0÷2 Vdc ( Potenziometrico 10Kohm per la versione N)
condizioni operative	working conditions	-30 ÷ +70°C; 0 ÷ 80 m/s
protezioni	protections	contro corto circuiti e scariche atmosferiche polarity reverse and transient
impedenza uscita realizzato in	output resistance Made of	50 ohm per la versione amplificate A-B anodized aluminium and stainless steel
grado di protezione	IP Protection	IP67
peso	weight	<800g

## Dimensioni e collegamenti / Dimensions and connections



Pin	Uscita/Output		
	0÷2Vdc	4÷20mA	Naturale
1			
2	+ Out	+ Out	+ Signal.
3	- Out	- Out	- Signal.
4	Gnd	Gnd	Ground
5	Vdc(10÷28V)	Vdc(10÷28V)	+Us (Pot.)
6			
7			

## Come ordinare / Order Form

Sensore Sensor	Sensore direzione vento / Wind direction sensor	DV				Prezzo / Price
Uscita Output	0÷2Vdc 4÷20mA Naturale (10Kohm)	A B N				
Accessori Accessories	CS05 – Cavo 5m sensore-datalogger / Cable 5m sensor-datalogger CS10 – Cavo 10m sensore-datalogger / Cable 10m sensor-datalogger CSxx – Cavo lunghezza xx* m / Cable xx* m length sensor – datalogger SS1 – Supporto sensori l=400mm / Sensors support l=400mm		05 10 xx		S	
Doc.	Manuale d'uso / User manual				M	
<b>Totale / Total</b>						

Esempio di codice d'ordine / example of order code

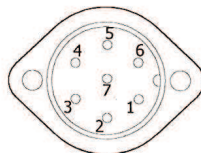
**DV A 10 S M**

\* per misure fuori standard specificare la lunghezza in metri / specify the length for no standard measures

## Cavo sensore DV-A-B-N con terminale per morsettiera

### Collegamenti connettore sensore

Pin	Uscita/Output		
	0÷2Vdc A	4÷20mA B	Naturale N
1			
2	Out +(1)	Out +(1)	Out + (Vref)
3	Out - (1)	Out - (1)	Out - (GND)
4	Gnd	Gnd	GND
5	Vdc(10÷30V)	Vdc(10÷30V)	V. ref Max 5V
6			
7			



Connettore sensore 7 poli maschio da pannello

### Cavo collegamenti versione DV-A DV-B

PIN	CS05----CS010----CSXX	CAVO
1		
2	OUT +	CAVO BIANCO
3	OUT-	CAVO VERDE
4	GND	CAVO GRIGIO/ARANCIO/GIALLO +SCHERMO
5	+ Vdc (10V÷30V)	CAVO ROSSO / MARRONE
6		
7		

### Cavo collegamenti versione DV-N

PIN	CS05----CS010----CSXX	CAVO
1		
2	OUT + (VRef a 360°) ( Vref/2 a 180°)	CAVO BIANCO
3	OUT-	CAVO VERDE
4	GND	CAVO GRIGIO/ARANCIO/GIALLO +SCHERMO
5	+ VRef Massimo 5Volt	CAVO ROSSO / MARRONE
6		
7		

10-11

## RAPPORTO DI TARATURA E COLLAUDO/ CALIBRATION REPORT

**Date:** 14/12/2011

**Report N.** **5010**

**Cliente:**  
**Customer:** THESAN PROJECT

### STRUMENTO/INSTRUMENT

<b>Modello Strumento:</b> <b>ANS-VV-B</b> <i>Model:</i> <b>Numero di serie:</b> <b>1003958</b> <i>Serial Number:</i> <b>Data di costruzione:</b> <b>14/12/2011</b> <i>Manufacturing date:</i>	<b>Descrizione:</b> <b>Sensore velocità del vento</b> <i>Description:</i>
--	--

**Range:** **0 ÷ 50 m/s**  
*Range:*

**Uscita:** **4 ÷ 20mA**  
*Signal Out:*

**Alimentazione:** **12Vdc**  
*Power Supply:*

### **Catena di riferibilità strumenti campione impiegati nelle tarature/calibrazioni:** *Traceability of the instruments used in calibration*

<i>Tipo Sensore /Sensor type</i>	<i>Strumento Campione/Reference Instrument</i>
<i>Termometri /Thermometers</i>	Misura per confronto con calibratore e generatore Pt100 mod. CA100-255701 Yokogawa mat. 27CC11836L, certificato SIT, e con analogo sensore Pt100 1/3DIN certificato SIT in cella climatica, entrambi con certificato valido alla data del presente rapporto. <i>Comparison with calibrator and generator Pt100 mod. CA100-255701 Yokogawa mat. 27CC11836L, and with 1/3DIN Pt100 RTD certified SIT in climatic camera. Both certificates are valid on the date of this report.</i>
<i>Barometri /Barometers</i>	Verifica per confronto con barometro campione mod.HD9408TBARO mat.04023627 certificato SIT. Taratura effettuata su 5 punti in salita, 5 punti in discesa e 1 ciclo di misura nel range 800 ÷ 1100hPa. Certificato valido alla data del presente rapporto. <i>Comparison with reference barometer mod.HD9408TBARO mat. 04023627, certified SIT. Calibration carried out on 5 points up, 5 points down and 1 cycle of measurement in the range 800 ÷ 1100hPa. The certificate is valid on the date of this report.</i>
<i>Pluviometri /Rain Gauge</i>	Misura effettuata per verifica del peso di una data quantità d'acqua distillata per mezzo di un sistema di calibrazione a bilancia di Precisione mod. KERN D-72336, mat. K03078, certificata DKD Balingen Germany. Campo 0-2000g, tolleranza 10mg. Certificato valido alla data del presente rapporto. <i>Measure carried out by checking the weight of a given quantity of distilled water through a calibration system with an high precision balance mod. KERN D-72336, mat. K03078, certificate DKD Balingen Germany. Field 0-2000g, tolerance 10mg. The certificate is valid on the date of this report.</i>
<i>Gonioanemometri /Wind direction sensor</i>	Confronto con Goniometro di precisione mod. RUPAKGONIMETRO mat.003 certificato UKAS (riconosciuto SIT). Range 360° precisione 5' Certificato valido alla data del presente rapporto. <i>Comparison with precision Protractor mod. RUPAKGONIMETRO mat.003 certified UKAS (recognised SIT). Range 360 ° precision 5'. The certificate is valid on the date of this report.</i>
<i>Igrometri /Humidity sensor</i>	Taratura per misura diretta in soluzioni sature al 33% e al 75% certificate SIT e per confronto con analogo strumento campione certificato SIT. Certificato valido alla data del presente rapporto. <i>Calibration for direct measure in saturated solutions to 33% and 75% certified SIT and with a same instrument SIT certified. The certificate is valid on the date of this report.</i>
<i>Tacoanemometri /Wind speed sensor</i>	Taratura per confronto con anemometri campione a coppe Robinson mod.ANS-VV-N, certificati su 13 punti Measnet, Certificato valido alla data del presente rapporto. <i>Calibration for comparison with primary cups anemometers type Robinson mod.ANS-VV-N, certified on 13 points Measnet. The certificate is valid on the date of this report.</i>
<i>Radiometri /Radiometers</i>	Verifica delle caratteristiche strumentale per confronto con strumento primario Mod. KippZonen CM22 mat.050109, certificato da K&Z Range 0-2000W/mq, costante sensibilità 9.36µV/W/mq, e con CM5 K&Z s.n 871281 certificato D.O. n.20102524F, K= 10.6mV(kW/mq). <i>Check of instrumental characteristics with primary instrument Mod. KippZonen CM22 mat.050109, Certified by K&amp;Z. Range 0-2000W/mq, sensitivity 9.36µV/W/mq (horizontal position), and with CM5 K&amp;Z s.n. 871281 certified D.O. n. 20102524F, K=10.6mV(kW/mq) .</i>
<i>Datalogger /Datalogger</i>	Calibrazione sull'intera scala per mezzo di calibratore Mod. CA100-255701 Yokogawa mat. 27CC11836L, certificato SIT Certificato valido alla data del presente rapporto. <i>Calibration on the full scale with calibrator Mod. CA100-255701 Yokogawa mat. 27CC11836L, certified SIT. The certificate is valid on the date of this report.</i>

**Temperatura di prova:** **21.2 °C**  
*Temperature condition:*

**Umidità di prova:** **38 %Rh**  
*Humidity condition:*

**\*Revisione consigliata ogni:** **12 mesi**  
**\*Calibration suggested every:**

**Collaudato**  **Conforme**   
**Tested:**  **Checked:**

### **Esito/Test result:**

Lo strumento è risultato conforme alle specifiche allegate, parte integrante del presente documento.

Lo strumento è inoltre conforme alle direttive WMO Annex.n8 ove previste

*The instrument was found to comply with the specifications attached, an integral part of this document.*

*The instrument is also in accordance to the WMO norms Annex.n8 where provided.*

**Verificato/Calibrated by**  
**Di Giacomo Nicola**  
Via Santori n. 6/8, 31020 Vidor (TV)  
Cod. Fisc. e P.IVA 01422830990

\*La durata della calibrazione è garantita per il periodo minimo indicato, in condizioni di normale utilizzo dello strumento

\* The calibration is guaranteed for the minimum period indicated, in normal use of the instrument

## VV Sensore Velocità Vento / Wind Speed Sensor

Gli anemometri a **basso consumo** della **serie VV** sono costruiti con materiali ad alta affidabilità e durata che consentono di mantenere nel tempo le caratteristiche iniziali di sensibilità e precisione, rendendoli adatti ad applicazioni di monitoraggio **meteorologico** e di **valutazione delle risorse energetiche del vento**.

*The **low power consumption** anemometers of **VV series**, are manufactured with materials to high reliability and duration, that allows to keep in long time the characteristics of sensibility and accuracy. The VV anemometers are suitable for applications such as **general meteorology** and **wind-power site surveying**.*

### Caratteristiche salienti / Highlighted specs



- Elevata precisione **0,1m/s**  
*0,1m/s High precision*
- Conforme allo standard **WMO**  
*According to **WMO** standards*
- Calibrazioni: gallerie del vento **MeasNet** e **SIT**  
*Calibrations: **MeasNet** and **SIT** wind tunnel.*
- Classificazione conforme alle norme **IEC 61400-12-1**  
*Classification in compliance with **IEC 61400-12-1***
- Versione riscaldata a basso consumo **4W@12Vdc**  
*Low power consumption Heated version (**4W@12Vdc**)*
- Rotore con cuscinetto a sfere ad alta velocità (**MIL-L-6085 C**) e lunga durata / *Rotor with high speed and long life ball bearing (**MIL-L-6085 C**)*
- Connessione **IP67** a innesto rapido  
**IP67** fast connection
- Segnale di uscita: impulsi (consigliato), 4÷20mA, 0÷2Vdc  
*Output: frequency of pulses (recommended), 4÷20mA, 0÷2Vdc*

### Dati tecnici / Technical Data

Mod. VV-N	Mod. VV-N	
Campo di misura tipico	<i>Typical measurement range</i>	0.3 ÷ 50 m/s (0...150Hz)
Campo di funzionamento	<i>Operating range</i>	raffiche/blasts > 80 m/s
Funzione di trasferimento tip.	<i>Typical Transfer function</i>	(Hz x 0.33) + 0.3 = m/s
Soglia	<i>Threshold</i>	stopping 0.2 m/s; starting 0.3 m/s
Precisione	<i>Accuracy</i>	0.1 m/s (0,4 ÷ 30m/s); ± 2% v.m. (>30 m/s)
Trasduttore	<i>Transducer</i>	a 3 coppe (mulinello di Robinson) con trasduttore magnetico a effetto hall <i>3 cups (robinson reel) with hall effect magnetic transducer</i>
Segnale di uscita standard	<i>Standard signal output</i>	onda quadra da open collector con pull-up esterno (max corrente di commutazione 20mA); impedenza di uscita 50 Ohm <i>square wave signal from open collector transistor with external pull-up resistor required (output skins up to 20mA); output resistance 50 Ohm</i>
Alimentazione	<i>Power supply</i>	10...30Vdc @ 2mA max
Riscaldatore anti ghiaccio (solo versione VVR)	<i>Anti icing heater (only VVR version)</i>	interno al corpo sensore, a basso consumo 4W@12Vdc <i>sensor body inside, low power consumption 4W@12Vdc</i>
Protezioni	<i>Protections</i>	contro corto circuiti e scariche atmosferiche/ <i>polarity reverse and transient</i>
Connessione	<i>Connection</i>	IP67 a innesto rapido / IP67 fast connection
Condizioni operative	<i>Working conditions</i>	-30 ÷ +70°C; 0 ÷ 85 m/s (max velocità rilevata/max speed measured)
Realizzato in	<i>Made of</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• coppe/cups: alluminio stampato nero/<i>molded black aluminium</i></li> <li>• rotore/rotor: alluminio e acciaio inox/<i>aluminium and stainless steel</i></li> <li>• cuscinetto/bearing: a sfere ad alta velocità/<i>high speed ball bearing</i></li> <li>• corpo/body: alluminio anodizzato anticorrosione/anti-corrosion anodized aluminium</li> </ul>
Peso	<i>Weight</i>	450g



**Taratura del sensore**

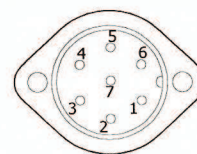
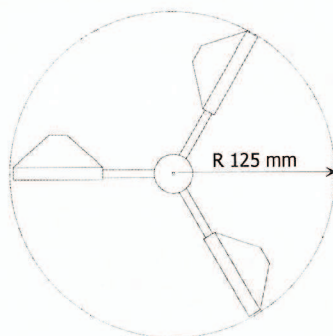
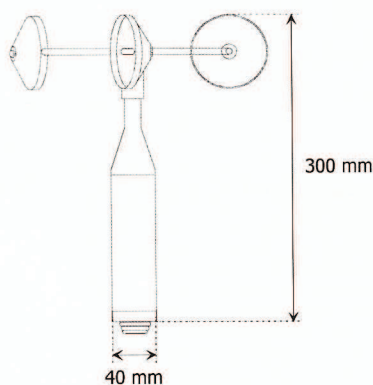
Per rilevare le caratteristiche dinamiche del sensore, viene utilizzata una **galleria del vento**. Il sensore viene inserito nella galleria dove la velocità dell'aria viene regolata tra 0 e 70m/s. La misura rilevata dal sensore viene poi confrontata con quella di un  **sensore a laser doppler**, che è  **tarato e certificato** per essere usato come riscontro, con una precisione di almeno un ordine di grandezza superiore a quella richiesta per la taratura dei sensori. Il campione del sensore viene poi utilizzato per la verifica funzionale in normale produzione. Il sensore è stato testato e certificato presso diverse gallerie europee **MeasNet** e presso uno dei principali centri **SIT** italiani.

**Calibration of the sensor**

*In order to find the dynamic characteristics of a wind speed sensor is used a **wind tunnel**. The sensor is inserted into the tunnel where the air speed comes regulated between 0 and 70m/s. Then the measure is confronted with the measure of a **laser doppler sensor**, that guarantees one precision higher than that need for the calibration of the speed sensors. The reference sensor then comes used for the checkout of the sensors in standard production.*

*The wind speed sensor was certified by several **MeasNET** european wind-tunnel and by one of the most important **SIT** Italian laboratories.*

**Mod. VV, VVR: Dimensioni e collegamenti / Dimensions and connections**



Pin	Uscita/Output		
	0÷2Vdc	4÷20mA	Naturale
1			
2	Out +	Out +	
3	Out -	Out -	Out o.c. (Hz)
4	Gnd	Gnd	Gnd
5	Vdc(10÷30V)	Vdc(10÷30V)	Vdc(10÷30V)
6 *	+ 12V Heat	+ 12V Heat	+ 12V Heat
7 *	Gnd Heat	Gnd Heat	Gnd Heat

\* Pin 6-7: collegati solo nella versione VVR  
 connected only with VVR version

**Come ordinare / Order Form**

Sensore Sensor	Sensore velocità vento / <i>Wind speed sensor</i> Sensore velocità vento riscaldato / <i>Heated Wind speed sensor</i>	<b>VV</b> <b>VVR</b>			Prezzo / <i>Price</i>
Uscita Outp	0÷2Vdc 4÷20mA Naturale/natural: Impulsi/ <i>Pulses</i>	A B N			
Accessori Accessories	CS05 – Cavo 5m sensore-datalogger / <i>Cable 5m sensor-datalogger</i>		05		
	CS10 – Cavo 10m sensore-datalogger / <i>Cable 10m sensor-datalogger</i>		10		
	CSxx – Cavo lunghezza xx* m / <i>Cable xx* m length sensor - datalogger</i>		xx		
	SS1 – Supporto sensori l=500mm / <i>Sensors support l=500mm</i> SS2 – Supporto sensori l=900mm / <i>Sensors support l=900mm</i> SS3 – Supporto sensori l=1500mm / <i>Sensors support l=1500mm</i>			SS1 SS2 SS3	
Doc.	Manuale d'uso/ <i>User manual</i>			M	
<b>Totale / Total</b>					

Esempio di codice d'ordine / *example of order code*

**VV A 10 SS1 M**

\* per misure fuori standard specificare la lunghezza in metri / *specify the length for no standard measures*

NESA Srl si riserva di apportare eventuali modifiche al presente prodotto senza obbligo di preavviso / NESA Srl intend to do any modifications to this product without warning obligation



# EE08 Series

## High-Precision Miniature Humidity / Temperature Transmitter

Accurate humidity / temperature measurement over a wide working range, fitted in a small-sized housing and high flexibility have been the main goals for the development of the EE08 series.

Low power consumption and short start-up time support efficient energy management for battery operated systems. For this application an additional version (V10) with supply voltage 4.5-15V DC has been developed.

Calibration data and other relevant functions like linearization or temperature compensation are stored in the probe. This feature, together with the optional connector, allows for easy replacement of the probe without a need for re-adjustment of the reading device (interchangeability).

The humidity and temperature measurement are available as analogue outputs (0-1/2.5/5V) and as a digital interface (E2-interface). Easy implementation and data processing is warranted. Humidity and temperature reading can be re-adjusted using the calibration software; available as an accessory. The configuration equipment allows humidity and temperature adjustment of the sensor.



### Typical Applications

- meteorology / weather stations
- humidity / temperature data logging
- incubators
- fermentation chambers
- green houses
- snow machines
- dry storage facilities

### Features

- small dimensions
- wide working range, high accuracy
- traceable calibration
- customer adjustment possible
- interchangeable in seconds
- low power consumption / short start-up time
- analogue outputs / digital interface

### Technical Data

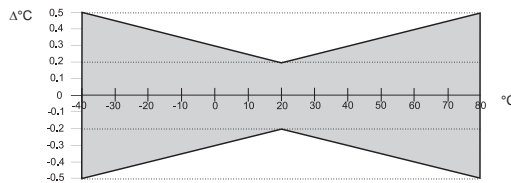
#### Measuring values

##### Relative Humidity

Sensor	HC101	
Working range <sup>1)</sup>	0...100% RH	
Digital output (2 wire) <sup>2)</sup>	output value: 0.00...100.00% RH	
Analogue output 0...100% RH	0-1/2.5/5/10V	-0.2mA < I <sub>L</sub> < 0.2mA
Accuracy at 20°C (68°F) and 12V DC	±2% RH (0...90% RH)	±3% RH (90...100% RH)
Temperature dependence	Traceable to intern. standards, administrated by NIST, PTB, BEV... typ. 0.03% RH/°C (typ. 0.02% RH/°F)	

##### Temperature

Sensor	Pt 1000 (DIN A)	
Digital output (2 wire) <sup>2)</sup>	output value: -40.00...+80.00°C (-40...176°F)	
Analogue output	0-1/2.5/5/10V	-0.2mA < I <sub>L</sub> < 0.2mA
Accuracy at 12/24V DC		



### General

Supply voltage	output 0-1V / 0-2.5V	4.5-15V DC or 7-30V DC
	output 0-5V	7-30V DC
	output 0-10V	12-30V DC
Current consumption	typ. < 1.3mA	
Digital interface	E2-interface	level = 3.3V / ±0.1V
Housing	polycarbonate / IP65	
Sensor protection	metal grid filter	
Electromagnetic compatibility	EN61326-1	EN61326-2-3
	Industrial Environment	
Temperature ranges	working temperature: -40...80°C (-40...176°F)	
	storage temperature: -40...80°C (-40...176°F)	

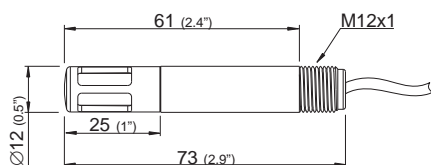
1) refer to the working range of the humidity sensor HC101

2) serial protocol refer to [www.epluse.com](http://www.epluse.com)

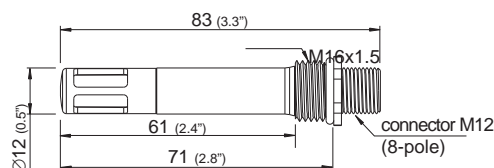


## Dimensions (mm)

EE08 with cable (Type E)



EE08 with connector (Type D)



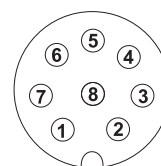
## Connection Diagram

### Type E:

	Temp. active	Temp. passive, 4-wire
T-passive	white (not connected)	white, black
T-passive	blue (not connected)	blue, violet
GND	pink	pink
T-out	grey	grey (not connected)
RH-out	yellow	yellow
SCL } E2- SDA } interface	green	green
	brown	brown
+UB	red	red

### Type D:

1	T-passive	} E2-interface
2	SDA	
3	SCL	
4	RH-out	
5	T-out	
6	GND	
7	T-passive	
8	+UB	



## Ordering Guide

HOUSING	MODEL	OUTPUT	SUPPLY	T-SENSOR (passive, 4-wire)	TYPE
polycarbonate (P)	humidity active / temperature active (FT) humidity active / temperature passive (FP)	0 - 1V <sub>1</sub> (1)	4.5 - 15V DC (V10)	Pt 100 DIN A (A)	with connector (D)
		0 - 2.5V <sub>1</sub> (7)	7 - 30V DC (V11)	Pt 1000 DIN A (C)	with cable (E)
		0 - 5V <sub>2</sub> (2)			
		0 - 10V <sub>2</sub> (3)			
<b>EE08-</b>					

1) possible with supply 4.5 - 15V DC (V10) or 7 - 30V DC (V11)  
2) possible with supply 7 - 30V DC (V11) only

FILTER	COATING	CABLE LENGTH (Type E only)	T-UNIT	T-SCALING
metal grid filter (6)	without coating (no code)	1m (3.3ft) (01)	metric (no code)	-40...80 (T22)
	with coating (HC01)	2m (6.6ft) (02)	non metric (E01)	-40...60 (T02)
		5m (16.4ft) (05)		-30...70 (T08)
				-20...80 (T24)
				-20...50 (T48)
				other (Txx)

## Order Example

### EE08-PFT2V11E602T22

housing: polycarbonate  
model: humidity active / temp. active  
output: 0 - 5V  
supply: 7 - 30V DC  
type: with cable

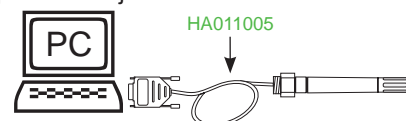
filter: metal grid filter  
coating: without  
cable length: 2m (6.6ft)  
T-unit: non metric  
T-scaling: -40...80°C

## Accessories / Replacement Parts

- M12 connection cable for type D, length 1,5m (5ft) (HA010322)
- M12 connection cable for type D, length 3m (10ft) (HA010323)
- M12 connection cable for type D, length 5m (16.4ft) (HA010324)
- M12 connection cable for type D, length 10m (32.8ft) (HA010325)
- radiation shield (HA010506)
- M12 female socket with wires (HA010703)
- M12 female cable connector assembly possible (HA010704)
- metal grid filter (HA010113)

**Configuration equipment:** The configuration equipment allows humidity and temperature adjustment of the sensor.

- configuration cable (HA011005)
- configuration software: free download under [www.epluse.com/EE08](http://www.epluse.com/EE08)



# LP PYRA 02



Our instruments' quality level is the results of the product continuous development. This can bring about differences between the information written in this manual and the instrument that you have purchased. We cannot entirely exclude errors in the manual, for which we apologize. The data, figures and descriptions contained in this manual cannot be legally asserted. We reserve the right to make changes and corrections without prior notice.

# LP PYRA 02

## **1 Introduction**

The LP PYRA 02 pyranometer measures the irradiance on a plane surface (Watt/ m<sup>2</sup>). Measured irradiance is the result of the sum of direct solar irradiance and of diffuse irradiance.

LP PYRA 02 is a First Class pyranometer in accordance with ISO 9060 standard and with the criteria of the WMO “Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation”, fifth edition (1983).

The pyranometer is produced in three versions:

LP PYRA 02	PASSIVE*
LP PYRA 02 AC	ACTIVE , 4..20mA CURRENT output
LP PYRA 02 AV	ACTIVE , 0..1** or 0..5 or 0..10 V VOLTAGE output, to be defined at the order.

\* Using SICRAM Module VP 472 it is possible to connect passive pyranometer to Indicator D09847.

\*\* 0..1 output version can be connected to indicator HD2302.0 using SICRAM Module VP 474. The indicator reads directly in W/m<sup>2</sup>.

## **2 Working Principle**

LP PYRA 02 pyranometer is based on a thermopile sensor. The thermopile sensitive surface is coated with a black matt paint, which allows the pyranometer not to be selective at different wave lengths. The pyranometer spectral range is determined by the transmittance of the two glass domes type K5.

Radiant energy is absorbed by the thermopile black surface, thus creating a difference of temperature between the center of the thermopile (hot junction) and the pyranometer body (cold junction). Thanks to the Seebeck effect, the difference of temperature between hot and cold junction is converted into a Difference of Potential. In order to grant the thermopile a proper thermal insulation from the wind and reduce the sensitivity to thermal irradiance, LP PYRA 02 is equipped with two concentric domes having a diameter of 50mm and 30mm, respectively. The domes protect the thermopile from the dust, which, laying down on the black surface, might change spectral sensitivity.

### 3 Installation and Mounting of the Pyranometer for the Measurement of Global Radiation:

Before installing the pyranometer, refill the cartridge containing silica-gel crystals. Silica gel absorbs humidity in the dome chamber and prevents (in particular climatic conditions) internal condensation forming on the internal walls of the domes and measurement alteration.

Do not touch the silica gel crystals with your hands while refilling the cartridge. Carry out the following instructions in an environment as drier as possible:

- 1- Loosen the three screws that fix the white shade disk
- 2- Unscrew the silica gel cartridge using a coin
- 3- Remove the cartridge perforated cap
- 4- Open the sachet containing silica gel (supplied with the pyranometer)
- 5- Replace the silica gel crystals
- 6- Close the cartridge with its own cap, paying attention that the sealing O-ring be properly positioned.
- 7- Screw the cartridge to the pyranometer body using a coin
- 8- Check that the cartridge is screwed tightly (if not, silica gel life will be reduced)
- 9- Position the shade disk and screw it with the screws
- 10- The pyranometer is ready for use

Figure N.1 shows the operations necessary to fill the cartridge with the silica gel crystals.

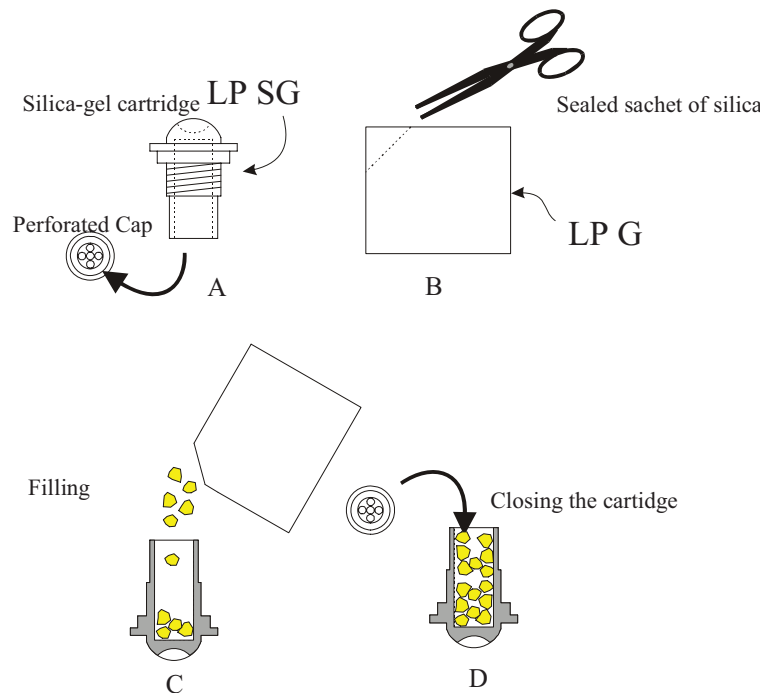


Fig. 1

- PYRA 02 pyranometer is to be mounted in an easy-to-reach location in order to clean the dome regularly and carry out maintenance. At the same time, make

sure that no buildings, constructions, trees or obstructions exceed the horizontal plane where the pyranometer lies. If this is not possible, select a site where obstructions in the path of the sun from sunrise to sunset do not exceed 5 degrees of elevation. **N.B The presence of obstructions on the horizon line affects significantly the measurement of direct irradiance.**

- The pyranometer is to be located far from any kind of obstruction, which might reflect sunlight (or sun shadow) onto the pyranometer itself.
- In compliance with ISO TR9901 standard and WMO recommendations, when the pyranometer is used without the white shade disk, it is to be positioned so that its connector is pointed to the North Pole, if the instrument is used in the Northern Hemisphere, and to the South Pole, if used in the Southern Hemisphere. In any case, it is better to follow this suggestion even when the shade disk is applied.
- LP PYRA 02 is provided with a spirit level for carrying out an accurate horizontal leveling. The adjustment is made by means of two leveling screws that allow to adjust the pyranometer inclination. Use the two 6mm-diameter holes and a 65mm interaxial distance to mount the instrument on a plane. Remove the shade disk to access the holes and reposition it after mounting (see fig. 2).
- In order to make the installation of pyranometer easier Delta Ohm supplies on request a series of fittings as per fig. 3. The operator shall take care that the mast height does not exceed the pyranometer plane to avoid measurement errors caused by any reflection or shadow of the mast itself. To fix the pyranometer to the mounting bracket, remove the shade disk loosening the three screws, fix the pyranometer, and mount the white shade disk again.
- It is suggested to thermally isolate the pyranometer from its mounting brackets, and to check that the electrical contact with the ground be done properly.



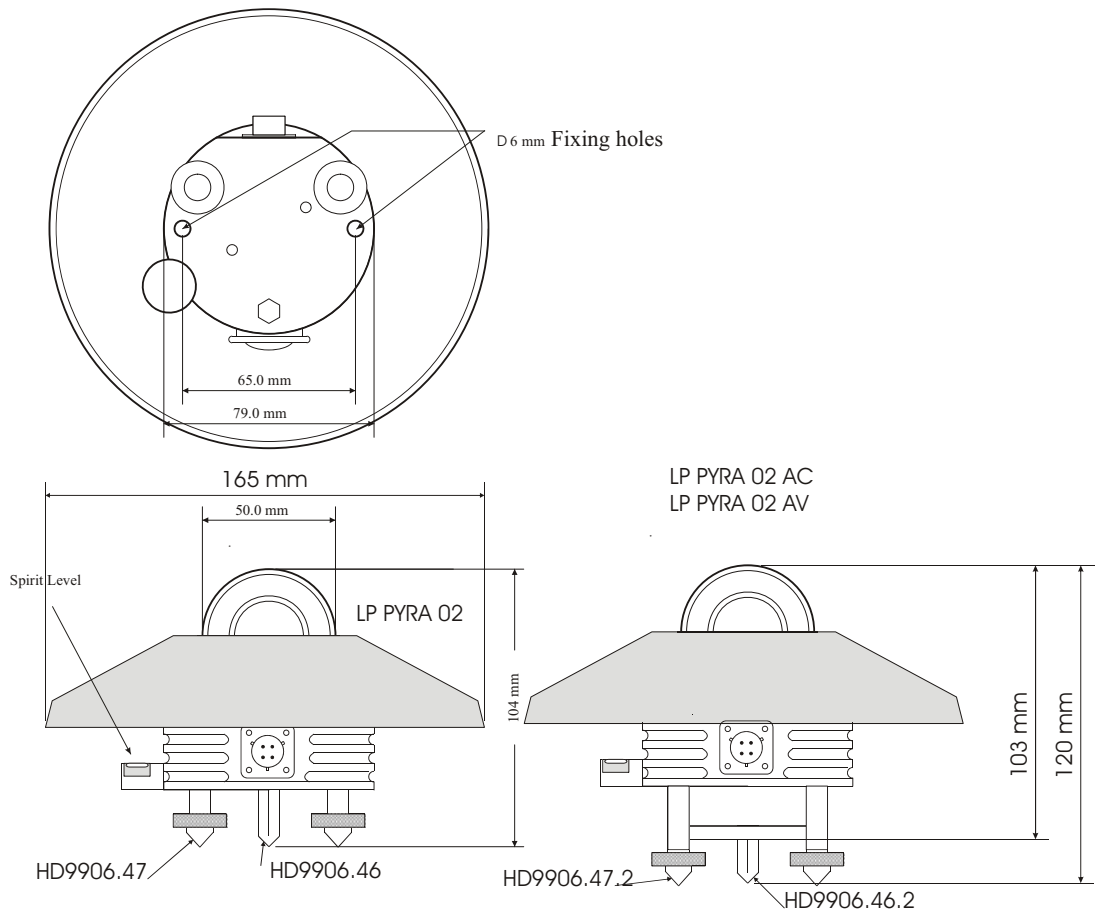


Fig 2

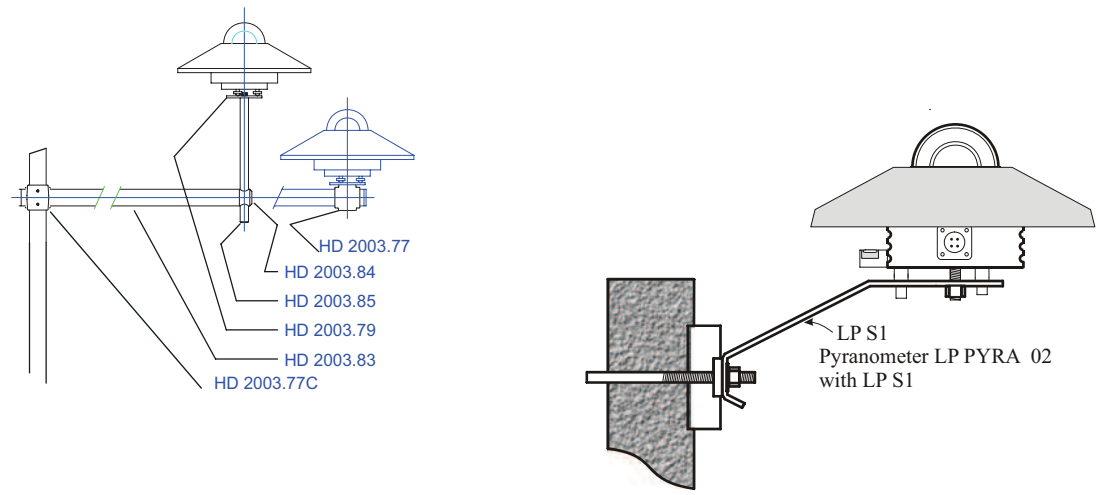


Fig. 3

## 4 Electrical Connection and Requirements for Electronic Readout Devices:

LP PYRA 02 is produced in 3 versions, LP PYRA 02, LP PYRA 02 AC and LP PYRA 02 AV.

- LP PYRA 02 pyranometer is passive and it does not require any power supply.
- LP PYRA 02 AC, AV are active and need power supply.

Required voltage is as follows:

8-30 Vcc for LP PYRA 02 AC and LP PYRA 02 AV with 0..1V and 0..5V output supply.

14-30 Vcc for LP PYRA 02 AV with 0..10 V output.

- All version are supplied with a 4 pole connector.
- The optional cable is terminated with a connector at one end and it is made of PTFE UV-proof. It is provided with 3 wires and a braided wire (shield). Cable colors and connector poles are matched as follow (figure 4):

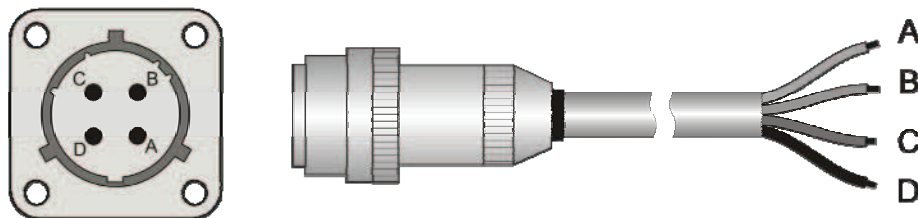


Fig.4

### LP PYRA 02

Connector	Function	Color
A	Shield ( $\frac{1}{2}$ )	Black
B	Vout (+)	Red
C	Vout (-)	Blue
D	Housing ( $\frac{1}{2}$ )	White

### LP PYRA 02 AC

Connector	Function	Color
A	Shield ( $\frac{1}{2}$ )	Black
B	Positive (+)	Red
C	Negative (-)	Blue
D	Housing ( $\frac{1}{2}$ )	White

### LP PYRA 02 AV

Connector	Function	Color
A	Shield ( $\frac{1}{2}$ )	Black
B	(+) Vout	Red
C	(-) Vout e (-) Vcc	Blue
D	(+) Vcc	White

- LP PYRA 02 pyranometer is to be connected either to a millivoltmeter or to a data acquisition system. Typically, the pyranometer output signal does not exceed 20 mV. In order to better exploit the pyranometer features, the readout instrument should have a 1 $\mu$ V resolution.

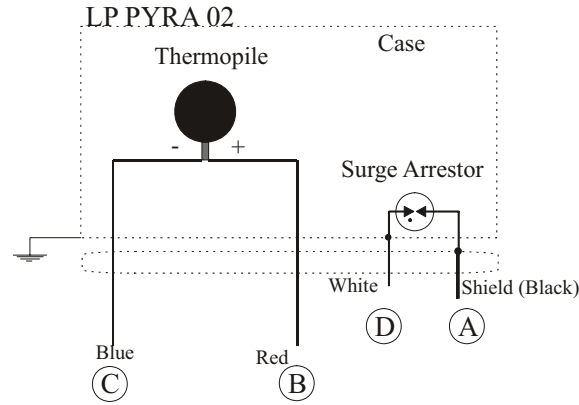


fig. 5

- LP PYRA 02 AC is to be connected to a DMM and a power supply as show below (Figure 5). To read the signal, the load resistance must be  $\leq 500\Omega$

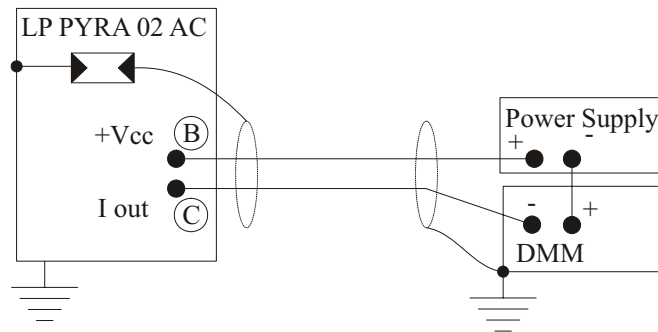


Fig. 6

- LP PYRA 02 AV is to be connected to a DMM and a power supply as show below (Figure 6). To read the signal, the load resistance must be  $\geq 100k\Omega$

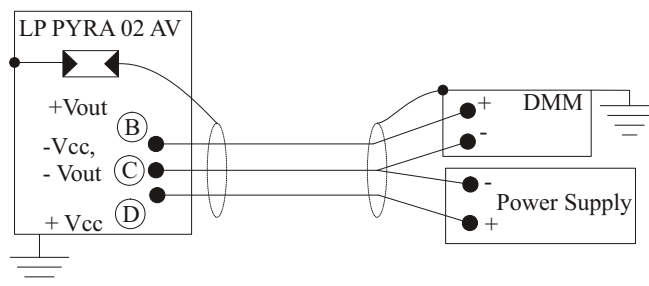


Fig. 7

## **5 Maintenance:**

In order to grant measurement high accuracy. It is important to keep the outer glass dome clean. Consequently, the more the dome will be kept clean, the more measurements will be accurate. You can wash it using water and standard papers for lens, and if necessary using pure ETHYL alcohol. After using alcohol, clean again the dome with water only.

Because of the high rise/fall in temperature between day and night, some condensation might appear on the pyranometer dome. In this case the performed reading is highly over-estimated. To minimize the condensation growth, the pyranometer is provided with a cartridge containing dessicant material: Silica gel. The efficiency of the Silica gel crystals decreases in the course of time while absorbing humidity. Silica gel crystals are active when their color is **yellow**, while they turn **blue** as soon as they loose their power. Read instructions at paragraph “3” about how to replace them. Silica gel typical lifetime goes from 2 to 6 months depending on the environment where the pyranometer works.

## **6 Calibration and Measurements:**

### **LP PYRA 02**

The pyranometer **S** sensitivity (or calibration factor) allows to determine global irradiance by measuring a signal in Volts at the thermopile ends. The **S** factor is measured in  $\mu\text{V}/(\text{Wm}^{-2})$ .

- Once the difference of potential (DDP) has been measured at the ends of the sensor, the  $E_e$  irradiance is obtained applying the following formula:

$$E_e = \text{DDP}/S$$

where;

$E_e$ : is irradiance expressed in  $\text{W}/\text{m}^2$ ,

DDP: is the difference of potential expressed in  $\mu\text{V}$  measured by the multimeter,

S: is the calibration factor in  $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$  shown on the pyranometer label (and mentioned in the calibration report).

### **LP PYRA 02 AC**

The pyranometer sensitivity is set so that:

$$4..20 \text{ mA} = 0..2000 \text{ W}/\text{m}^2$$

To obtain irradiance the following procedure is to be applied:

-once you know the current ( $I_{out}$ ) absorbed by the instrument and measured with the DMM, following formula must be applied:

$$E_e = 125 \cdot (I_{out} - 4\text{mA})$$

where;

$E_e$ : Irradiance in  $\text{W}/\text{m}^2$ ,

$I_{out}$ : current in mA absorbed by the pyranometer

## LP PYRA 02 AV

The pyranometer sensitivity is set so that according to the version:

$$0..1 \text{ V} = 0..2000 \text{ W/m}^2$$

$$0..5 \text{ V} = 0..2000 \text{ W/m}^2$$

$$0..10 \text{ V} = 0..2000 \text{ W/m}^2$$

To obtain irradiance the following procedure is to be applied:

-once you know the instrument output voltage ( $V_{out}$ ) measured with the DMM, following formula must be applied:

$$E_e = 2000 \cdot V_{out} \text{ for the version } 0..1 \text{ V}$$

$$E_e = 400 \cdot V_{out} \text{ for the version } 0..5 \text{ V}$$

$$E_e = 200 \cdot V_{out} \text{ for the version } 0..10 \text{ V}$$

where;

$E_e$ : Irradiance in  $\text{W/m}^2$ ,

$V_{out}$ : Output voltage (in Volt) measured by the voltmeter

Each Pyranometer is factory calibrated it is marked by its own calibration factor. To exploit all LP PYRA 02 Features it is highly recommended that the calibration be checked annually.

The instruments and the equipment of Delta Ohm Photometry-Radiometry meteorological laboratory grant the calibration of pyranometers according to the WMO specifications and ensure that measurements are traceable to the international standards.

## 7 Technical Specifications:

sitivity:

Typical Sensitivity:	10 $\mu\text{V}/(\text{W/m}^2)$	LP PYRA 02
	4..20 mA (0-2000 $\text{W/m}^2$ )	LP PYRA 02AC
	0..1,5,10V (0-2000 $\text{W/m}^2$ )	LP PYRA 02AV

Impedance:	33 $\Omega$ $\div$ 45 $\Omega$
Measuring range:	0-2000 $\text{W/m}^2$
Viewing angle:	2 $\pi$ sr
Spectral range: (dome transmission)	305 nm $\div$ 2800 nm (50%) 335 nm $\div$ 2200 nm (95%)
Operating temperature:	-40 $^\circ\text{C}$ $\div$ 80 $^\circ\text{C}$
Dimensions:	Figure 1
Weight:	0.90 Kg

## Technical Specifications According to ISO 9060

1- Response time: (95%)	<28 sec
2- Zero Off-set:	
a) response to a 200W/m <sup>2</sup> thermal radiation:	<15 W/m <sup>2</sup>
b) response to a 5K/h change in ambient temperature:	< ±4  W/m <sup>2</sup>
3a- Long-term non-stability: (1 year)	< ±1.5  %
3b- Non-linearity:	< ±1  %
3c- Cosine response:	< ±18  W/m <sup>2</sup>
3d- Spectral selectivity:	< ±5  %
3e- Temperature response:	<4 %
3f- Tilt response:	< ±2  %

# SINEAX M561 / M562 / M563

## Convertisseur de mesure multiple programmable pour utilisation industrielle, avec 1, 2 resp. 3 sorties analogiques

pour la mesure de grandeurs courant fort

### Application

Le **SINEAX M 561 / M 562 / M 563** (Fig. 1) est un convertisseur de mesure programmable avec une **interface RS 232 C** pour le captage **simultané** de 1 (M561), 2 (M562) resp. 3 (M563) grandeurs librement choisies d'un réseau électrique et fournissant 1 (M561), 2 (M562), resp. 3 (M563) grandeurs de sortie galvaniquement séparées.

L'interface **RS 232** du convertisseur de mesure sert à l'aide d'un logiciel et d'un PC à la programmation et permet en plus de réaliser certaines fonctions additionnelles intéressantes.

Voici un aperçu des possibilités de programmation les plus importantes: tous les systèmes de raccordement usuels, les grandeurs de mesure, les valeurs des grandeurs d'entrée, la caractéristique de transmission pour chaque grandeur de sortie etc.

Parmi les fonctions additionnelles: Indication et enregistrement des valeurs mesurées sur le moniteur d'un PC avec mémorisation et traitement des informations, simulation des sorties ainsi qu'impression de plaquettes signalétiques.

Le convertisseur de mesure satisfait aux exigences et prescriptions en ce qui concerne la **compatibilité électromagnétique EMC** et de **Sécurité** (CEI 1010 resp. EN 61 010). Il est développé, fabriqué et contrôlé selon la **norme de qualité ISO 9001**.

### Points particuliers

#### ● Mesure simultanée de plusieurs valeurs d'un réseau courant fort

Grandeurs mesurées	Courant nominal d'entrée	Tension nominale d'entrée
Courant, tension (rms), puissance active/réactive/apparente $\cos\phi$ , $\sin\phi$ , facteur de puissance Valeur effective de l'intensité avec temps de réglage prolongé (fonction de mesure bilame) Fonction d'aiguille entraînée pour la mesure de la valeur effective IB Fréquence Valeur moyenne des intensités avec signe de polarité de la puissance efficace (seulement du réseau)	1 à 6 A	57,7 à 400 V (tension de phase) resp. 100 à 693 V (tension composée)

- Pour tous les rés. courant fort et toutes les grandeurs de mesure
- Sorties analogiques universelles (programmables)
- Jusqu'à 693 V de tension d'entrée (tension composée)
- Précision: classe 0,2 (U, I) resp. 0,5 (autres grandeurs)
- Logiciel compatible pour Windows avec protection par mot clé pour la programmation, l'analyse de données, simulation
- Bloc d'alimentation CC, CA avec alimentation auxiliaire à large tolérance / Utilisation universelle

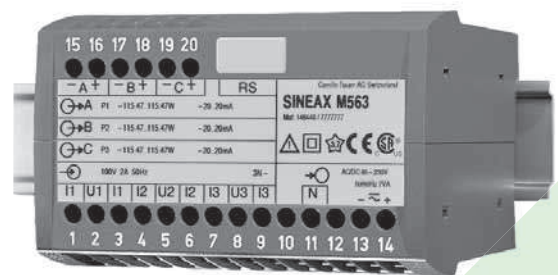


Fig. 1. Convertisseur de mesure SINEAX M 563 en boîtier P20/105 encliqueté sur rail «à chapeau».

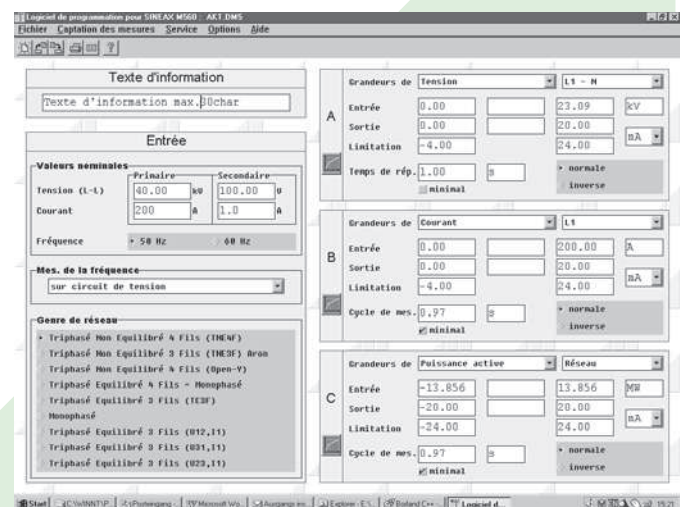
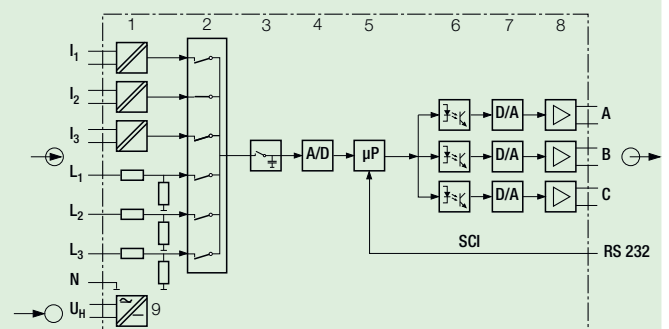


Fig. 2. Présentation imprimée du logiciel de configuration (M563).



- 1 = Transformateurs d'entrée (I1, I2, I3)
- 1 = Diviseur de tension (L1, L2, L3)
- 2 = Multiplexeur
- 3 = Mémoire
- 4 = Convertisseur A/D
- 5 = Microprocesseur
- 6 = Séparation galvanique
- 7 = Convertisseurs D/A
- 8 = Etage de sortie
- 9 = Bloc d'alimentation CC/CA

Fig. 3. Schéma fonctionnel (M563).

# SINEAX M561 / M562 / M563

## avec 1, 2 resp. 3 sorties analogiques

### Symboles et leur signification

Symboles	Signification
X	Grandeur mesurée
X0	Valeur initiale de la grandeur mesurée
X1	Point d'inflexion de la grandeur mesurée
X2	Valeur finale de la grandeur mesurée
Y	Grandeur de sortie
Y0	Valeur initiale des grandeurs de sortie
Y1	Point d'inflexion des grandeurs de sortie
Y2	Valeur finale des grandeurs de sortie (Hardware)
Y2 SW	Valeur finale des grandeurs de sortie programmée
U	Tension d'entrée
Ur	Paramètre de mesure de la tension d'entrée
U 12	Tension alternative entre les phases externes L1 et L2
U 23	Tension alternative entre les phases externes L2 et L3
U 31	Tension alternative entre les phases externes L3 et L1
U1N	Tension alternative entre la phase externe L1 et le point neutre N
U2N	Tension alternative entre la phase externe L2 et le point neutre N
U3N	Tension alternative entre la phase externe L3 et le point neutre N
I	Courant d'entrée
I1	Courant alternatif dans la phase externe L1
I2	Courant alternatif dans la phase externe L2
I3	Courant alternatif dans la phase externe L3
Ir	Paramètre de mesure du courant d'entrée
IM	Valeur moyenne des intensités $(I1 + I2 + I3)/3$
IMS	Valeur moyenne des intensités avec signe de polarité de la puissance efficace (P)
IB	Valeur effective de l'intensité avec temps de réglage prolongé (fonction de mesure bilame)
IBT	Temps de réponse de IB
BS	Fonction d'aiguille entraînée pour la mesure de la valeur effective IB
BST	Temps de réponse de BS
$\varphi$	Angle de déphasage entre courant et tension
F	Fréquence de la grandeur d'entrée
Fn	Valeur nominale de fréquence
P	Puissance active du réseau $P = P1 + P2 + P3$
P1	Puissance active, branche 1 (phase L1 et point neutre N)

Symboles	Signification
P2	Puissance active, branche 2 (phase L2 et point neutre N)
P3	Puissance active, branche 3 (phase L3 et point neutre N)
Q	Puissance réactive du réseau $Q = Q1 + Q2 + Q3$
Q1	Puissance réactive, branche 1 (phase L1 et point neutre N)
Q2	Puissance réactive, branche 2 (phase L2 et point neutre N)
Q3	Puissance réactive, branche 3 (phase L3 et point neutre N)
S	Puissance apparente du réseau
S1	Puissance apparente, branche 1 (phase L1 et point neutre N)
S2	Puissance apparente, branche 2 (phase L2 et point neutre N)
S3	Puissance apparente, branche 3 (phase L3 et point neutre N)
Sr	Valeur de référence de la puissance apparente du réseau
PF	Facteur actif $\cos\varphi = P/S$
PF1	Facteur actif, branche 1 $P1/S1$
PF2	Facteur actif, branche 2 $P2/S2$
PF3	Facteur actif, branche 3 $P3/S3$
QF	Facteur réactif $\sin\varphi = Q/S$
QF1	Facteur réactif, branche 1 $Q1/S1$
QF2	Facteur réactif, branche 2 $Q2/S2$
QF3	Facteur réactif, branche 3 $Q3/S3$
LF	Facteur de puissance du réseau $LF = \text{sgn}Q \cdot (1 -  PF )$
LF1	Facteur de puissance, branche 1 $\text{sgn}Q1 \cdot (1 -  PF1 )$
LF2	Facteur de puissance, branche 2 $\text{sgn}Q2 \cdot (1 -  PF2 )$
LF3	Facteur de puissance, branche 3 $\text{sgn}Q3 \cdot (1 -  PF3 )$
c	Facteur de l'écart type
R	Charge de sortie
Rn	Valeur nominale de la charge de sortie
H	Alimentation auxiliaire
Hn	Valeur nominale de la tension d'alimentation
CT	Rapport de transformation du transformateur de courant
VT	Rapport de transformation du transformateur de tension



# SINEAX M561 / M562 / M563

## avec 1, 2 resp. 3 sorties analogiques

### Réglementation et normes applicables

CEI 688 resp. EN 60 688	Convertisseur de mesure destiné à convertir des grandeurs de courant alternatif en signaux analogiques ou binaires
CEI 1010 resp. EN 61 010	Prescriptions de sécurité pour appareils électriques de mesure, de commande, de régulation et de laboratoire
CEI 529 resp. EN 60 529	Type de protection par boîtier (code IP)
CEI 1000-4-2/-3/-4/-5/-6	Compatibilité électromagnétique pour équipements de mesure de processus industriels et équipements de commande
EN 55011	Compatibilité électromagnétique des installations de traitement de l'information et de télécommunications Valeurs limites et méthodes de mesure pour les parasites en provenance des installations informatiques
CEI 68-2-1/-2/-3/-6/-27 resp. EN 60 068-2-1/-2/-3/-6/-27	Tests d'environnement -1 froid, -2 chaleur sèche, -3 chaleur humide, -6 vibrations, -27 chocs
DIN 40 110	Grandeurs de courant alternatif
DIN 43 807	Désignation des connexions
UL 94	Essais d'inflammabilité des matières plastiques pour parties incorporées et appareils)

### Caractéristiques techniques

#### Entrée de mesure

Tension nominale d'entrée:	57,7 à 400 V (tension de phase) resp. 100 à 693 V (tension composée)
Courant nominal d'entrée:	1 à 6 A
Valeurs finales admissibles:	Voir page 4, sous «Caractéristiques de transmission» colonne «Condition», et page 9 et 10 sous «Caractéristique 13 et 14»
Forme de la courbe:	Sinusoïdale
Fréquence nominale:	50 ou 60 Hz
Consommation propre [VA]:	Circuit de tension: $U^2 / 400 \text{ k}\Omega$ en alimentation auxiliaire externe Circuit d'intensité: $\leq I^2 \cdot 0,01 \Omega$

### Augmentation admissible des grandeurs d'entrée

Grandeur d'entrée augmentée	Nombre d'augmentations de valeur	Durée des augmentations	Intervalle entre deux augmentations successives
<b>Circuit d'intensité</b>	à 400 V dans réseau de courant alternatif monophasé à 693 V dans réseau de courant triphasé		
12 A	—	en perman.	—
120 A	10	1 s	100 s
120 A	5	3 s	5 min.
250 A	1	1 s	1 heure
<b>Circuit de tension</b>			
480 V/831 V <sup>1</sup>	—	en perman.	—
600 V/1040 V <sup>1</sup>	10	10 s	10 s
800 V/1386 V <sup>1</sup>	10	1 s	10 s

<sup>1</sup> Toutefois max. 264 V avec alimentation auxiliaire par le circuit de mesure et bloc d'alimentation 85...230 V CC/CA, resp. max. 69 V avec bloc d'alimentation 24...60 V CC/CA.

### Sorties analogiques

Caractéristiques applicables à sortie A, B et C:

Grandeur de sortie Y	Courant continu appliqué	Tension continue appliqué
Valeurs finales Y2	$1 \leq Y2 \leq 20 \text{ mA}$	$5 \leq Y2 \leq 10 \text{ V}$
Valeurs max. grandeurs de sortie à des grandeurs d'entrée supérieures		
et/ou $R = 0$	$1,2 \cdot Y2$	40 mA
$R \rightarrow \infty$	30 V	$1,2 Y2$
Plage d'utilisation nominale de la charge de sortie	$0 \leq \frac{7,5 \text{ V}}{Y2} \leq \frac{15 \text{ V}}{Y2}$	$\frac{Y2}{2 \text{ mA}} \leq \frac{Y2}{1 \text{ mA}} \leq \infty$
Plage alternative de la grandeur de sortie (crête à crête)	$\leq 0,02 Y2$	$\leq 0,02 Y2$

Les sorties A, B et C peuvent être court-circuitées ou ouvertes. Elles sont séparées galvaniquement (sans mise à terre) entre elles et de tous les autres circuits.

A l'aide du logiciel de programmation, toutes les valeurs de sortie peuvent après coup être réduites, toutefois, il en résulte une erreur additionnelle.

# SINEAX M561 / M562 / M563

## avec 1, 2 resp. 3 sorties analogiques

### Conditions de référence

Température ambiante:	15 ... 30 °C
Conditionnement préalable à la mise en service:	30 min. selon EN 60 688
Grandeur d'entrée:	Plage nominale d'utilisation
Alimentation auxiliaire:	H = H <sub>n</sub> ± 1%
Facteur actif/réactif:	cos φ = 1 resp. sin φ = 1
Fréquence:	50 ou 60 Hz
Forme de la courbe:	Sinusoïdale, facteur de forme 1,1107
Charge de sortie:	pour une grandeur de sortie courant continu: $R_n = \frac{7,5 V}{Y_2} \pm 1\%$ pour une grandeur de sortie tension continue: $R_n = \frac{Y_2}{1 mA} \pm 1\%$
Divers:	EN 60 688

### Caractéristiques de transmission

Classe de précision: (Valeur de référence: valeur finale Y2)

Grandeur mesurée X	Condition	Classe de protection <sup>1)</sup>
<b>Réseau:</b> Puissance active, réactive et apparente	$0,5 \leq X_2/S_r \leq 1,5$ $0,3 \leq X_2/S_r < 0,5$	0,5 c 1,0 c
<b>Branche:</b> Puissance active, réactive et apparente	$0,167 \leq X_2/S_r \leq 0,5$ $0,1 \leq X_2/S_r < 0,167$	0,5 c 1,0 c
Facteur de puissance, facteur actif et facteur réactif	$0,5 S_r \leq S \leq 1,5 S_r$ , $(X_2 - X_0) = 2$	0,5 c
	$0,5 S_r \leq S \leq 1,5 S_r$ , $1 \leq (X_2 - X_0) < 2$	1,0 c
	$0,5 S_r \leq S \leq 1,5 S_r$ , $0,5 \leq (X_2 - X_0) < 1$	2,0 c
	$0,1 S_r \leq S < 0,5 S_r$ , $(X_2 - X_0) = 2$	1,0 c
	$0,1 S_r \leq S < 0,5 S_r$ , $1 \leq (X_2 - X_0) < 2$	2,0 c
	$0,1 S_r \leq S < 0,5 S_r$ , $0,5 \leq (X_2 - X_0) < 1$	4,0 c
Tension alternative	$0,1 U_r \leq U \leq 1,2 U_r$	0,2 c
Courant alternatif/valeur moyenne	$0,1 I_r \leq I \leq 1,2 I_r$	0,2 c
Fréquence	$0,1 U_r \leq U \leq 1,2 U_r$ resp. $0,1 I_r \leq I \leq 1,2 I_r$	0,15 + 0,03 c

<sup>1)</sup> Précision de base 1,0 c pour applications avec phase artificielle

Durée du cycle de mesure:	Env. 0,6 à 1,6 s avec 50 Hz, selon grandeur mesurée et programmation
Temps de réponse:	1 ... 2 durées du cycle de mesure
Facteur c (valeur maximale applicable):	

Courbes linéaires:	$c = \frac{1 - \frac{Y_0}{Y_2}}{1 - \frac{X_0}{X_2}}$ ou c = 1
Courbes brisées: $X_0 \leq X \leq X_1$	$c = \frac{Y_1 - Y_0}{X_1 - X_0} \cdot \frac{X_2}{Y_2}$ ou c = 1
$X_1 < X \leq X_2$	$c = \frac{1 - \frac{Y_1}{Y_2}}{1 - \frac{X_1}{X_2}}$ ou c = 1

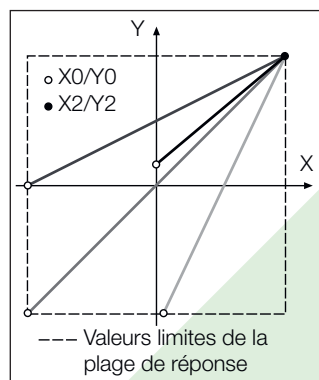


Fig. 4. Exemple des possibilités de réglage avec un ligne linéaire.

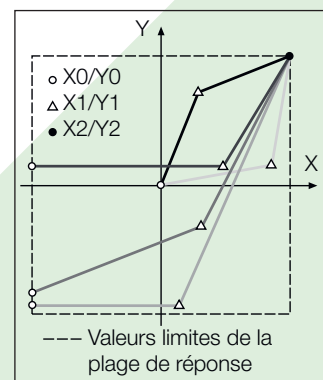


Fig. 5. Exemple des possibilités de réglage avec une ligne brisée.

(Caractéristique de transmission inverse peut être configurée)

### Effets et grandeurs d'influence

Selon EN 60 688

### Sécurité

Classe de protection:	II (isolé de protection, EN 61010-1)
Protection:	IP 40, boîtier (fil d'essai, EN 60 529) IP 20, bornes de raccordement (doigt d'épreuve, EN 60 529)
Degré d'encrassement:	2
Catégorie de surtension:	III (à ≤ 300 V contre la terre) II (à > 300 V contre la terre)
Tension nominale d'isolement (contre la terre):	Entrées: 300 V <sup>2)</sup> 600 V <sup>3)</sup> Alimentation auxiliaire: 230 V Sorties: 40 V

<sup>2)</sup> Catégorie de surtension III

<sup>3)</sup> Catégorie de surtension II

# SINEAX M561 / M562 / M563

## avec 1, 2 resp. 3 sorties analogiques

Résistance aux tensions transitoires: 5 kV; 1,2/50 µs; 0,5 Ws

Tension d'essai: 50 Hz, 1 min. selon EN 61 010-1  
 3700 V, entrées contre tous les autres circuits et la surface extérieure  
 2200 V, circuits d'entrée entre eux  
 3700 V, alimentation auxiliaire contre les sorties et la surface extérieure  
 490 V, sorties entre eux et contre la surface extérieure

### Alimentation auxiliaire →○

Bloc d'alimentation CC, CA (CC ou 50 ... 60 Hz)

Tableau 1: Tensions nominales et tolérances

Tension nominale $U_N$	Tolérance
24 ... 60 V CC/CA	CC – 15 ... + 33%
85 ... 230 V CC/CA	CA ± 15%

Consommation: ≤ 5 W resp. ≤ 7 VA

### Connecteur de programmation du convertisseur de mesure

Le connecteur de programmation du convertisseur de mesure est raccordé à l'interface RS-232 du PC à l'aide du câble de programmation PRKAB 560 qui assure en même temps la séparation galvanique.

### Présentation, montage, raccordement

Construction: Boîtier **P20/105**  
 Dimensions voir paragraphe «Croquis d'encombrement»

Matériau du boîtier: Lexan 940 (polycarbonate), classe d'inflammabilité V-0 selon UL 94, à auto-extinction, ne gouttant pas, exempt d'halogène

Montage: Pour fixation sur rail à profil à chapeau (35 × 15 mm ou 35 × 7,5 mm) selon EN 50 022

Position d'utilisation: Quelconque

Poids: Env. 0,35 kg

### Bornes de raccordement

Éléments de raccordement: Bornes à vis pour pression indirecte des fils

Section admissible pour fils de connexion: ≤ 4,0 mm<sup>2</sup> monoconducteur ou 2 × 2,5 mm<sup>2</sup> conducteur souple

### Tests d'environnement

EN 60 068-2-6: Vibrations

Accélération: ± 2 g

Etendue de fréquence: 10 ... 150 ... 10 Hz, à cyclage complet à une allure de 1 octave/minute

Nombre de cycles: 10 dans chacun des 3 axes perpendiculaires

EN 60 068-2-27: Chocs

Accélération: 3 × 50 g, 3 chocs dans 6 directions

EN 60 068-2-1/-2/-3: Froid, chaleur sèche, chaleur humide

### Ambiance extérieure

Variations dues à la température ambiante: ± 0,2% / 10 K

Domaine nominal d'utilisation pour la température: 0...15...30...45 °C (groupe d'utilisation II)

Température de fonctionnement: – 10 à + 55 °C

Température de stockage: – 40 à + 85 °C

Humidité relative en moyenne annuelle: ≤ 75%

Altitude: 2000 m max.

Utiliser seulement dans les intérieurs

### Croquis d'encombrement

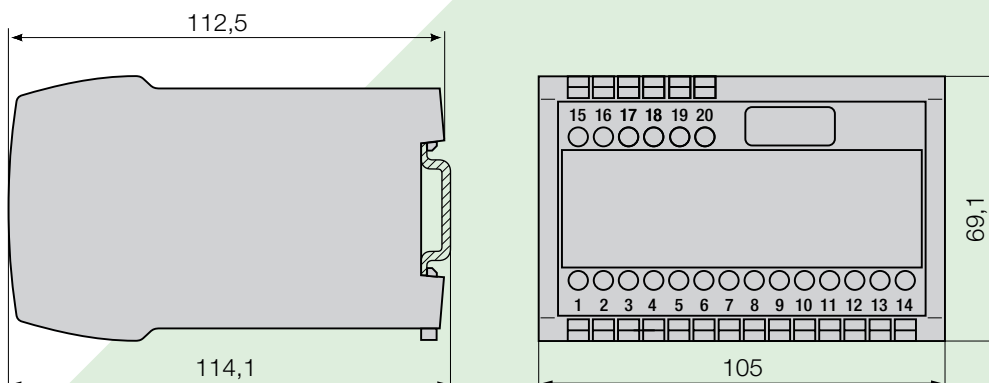


Fig. 6. SINEAX M 563 en boîtier **P20/105** encliqueté sur rail «à chapeau» (35 × 15 mm ou 35 × 7,5 mm, selon EN 50 022).

# SINEAX M561 / M562 / M563

## avec 1, 2 resp. 3 sorties analogiques

**Tableau 2: SINEAX M 561 (1 sortie analogique)  
SINEAX M 562 (2 sorties analogiques)  
SINEAX M 563 (3 sorties analogiques) sous forme de modèle standard**

Les versions suivantes de convertisseur de mesure programmées à configuration de **base** sont livrables du stock. Pour commander, il suffit d'indiquer le **numéro de commande**:

Caractéristiques / Configuration de base		Désignation	Numéro de commande		
			M 561	M 562	M 563
1. Construction:	Boîtier P20/105 pour montage sur rail	561 - 4			
	Boîtier P20/105 pour montage sur rail	562 - 4			
	Boîtier P20/105 pour montage sur rail	563 - 4			
2. Fréquence nominale d'entrée:	50 Hz	1			
<b>3. Alimentation aux. / Raccordement (standard):</b>	<b>24... 60 V CC/CA</b>	<b>1</b>	<b>158 411</b>	<b>158 437</b>	<b>146 458</b>
	<b>85...230 V CC/CA</b>	<b>2</b>	<b>158 429</b>	<b>158 445</b>	<b>146 440</b>
4. Valeur finale du signal de sortie, sortie A:	Y2 = 20 mA	1			
5. Valeur finale du signal de sortie, sortie B:	Y2 = 20 mA	1			
6. Valeur finale du signal de sortie, sortie C:	Y2 = 20 mA	1			
7. Procès-verbal d'essai:	Sans procès-verbal d'essai	0			
8. Configuration:	Configuration de base	0			
Voir tableau 3 «Références de commande»					
<b>Configuration de base</b>					
<b>Caractéristiques d'entrée</b>					
9. Application:	Courant triphasé 4 fils à charges déséquilibrées	H			
10. Tension nominale d'entrée:	Valeur mesurée $U_r = 100$ V	A			
11. Courant nominal d'entrée:	Valeur mesurée $I_r = 2$ A	9			
12. Valeurs primaires:	Sans indication des valeurs primaires	0			
<b>Sortie A</b>					
13. Grandeur mes./étendue de mesure (part 1):	P1; X0 = 115,47 W; X2 = 115,47 W	2			
14. Grandeur mes./étendue de mesure (part):	Non utilisé	0			
15. Etendue de signalisation/ caractéristiques de transmission:	Y0 = - 20 mA; Y2 = 20 mA	1			
16. Caractéristique:	Linéaire	1			
17. Limitation:	Standard	1			
<b>Sortie B</b>					
18. Grandeur mes./étendue de mesure (part 1):	P2; X0 = 115,47 W; X2 = 115,47 W	2			
19. Grandeur mes./étendue de mesure (part 2):	Non utilisé	0			
20. Etendue de signalisation/ caractéristiques de transmission:	Y0 = - 20 mA; Y2 = 20 mA	1			
21. Caractéristique:	Linéaire	1			
22. Limitation:	Standard	1			
<b>Sortie C</b>					
23. Grandeur mes./étendue de mesure (part 1):	P3; X0 = 115,47 W; X2 = 115,47 W	2			
24. Grandeur mes./étendue de mesure (part 2):	Non utilisé	0			
25. Etendue de signalisation/ caractéristiques de transmission:	Y0 = - 20 mA; Y2 = 20 mA	1			
26. Caractéristique:	Linéaire	1			
27. Limitation:	Standard	1			

D'autres exécutions doivent être commandées en précisant les code de commande selon «Tableau 3: Références de commande».

## **PARTE V - APPARATI CONCLUSIVI**

---



## V.1 BIBLIOGRAFIA GENERALE

AA.VV., *Advanced Building Skins Conference Proceedings*, 14 -15 June 2012 International Conference on Building Envelope Design and Technology, Institute of Building Construction Graz University of Technology, Austria

AA. VV., *Annual Report 2013*, IEA, 2014.

AA. VV., *Energy-efficient buildings multiannual roadmap for the contractual PPP under HORIZON 2020*, Publications Office of the European Union, 2013.

AA. VV., *Energia Efficiente per l'edificio. Normativa e Tecnologie*, ENEA, Roma, 2008.

AA. VV., *Primo rapporto sullo stato dell'innovazione nel settore delle costruzioni*, Federcostruzioni, 2011.

AA. VV., *Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2015*, ENEA, Roma, 2014.

AA.VV., *Rapporto sul mercato italiano dell'involucro edilizio*, numero 1, Ufficio Studi UNICMI, 2014.

AA. VV., *Technology Roadmap Energy-efficient buildings*, IEA, 2014.

Ariaudo F., Balsamelli, L., Corgnati S.P.. *Evoluzione delle attività di monitoraggio energetico – ambientale di lungo periodo: uno strumento per la consulenza energetica*, Politecnico di Torino, Dipartimento di Energetica, TEBE, 2010.

Ariaudo F., Balsamelli, L., Corgnati S.P. *Monitoraggio ambientale per la diagnosi energetica* in Casa&Clima, n.27/2010, pag. 62-65.

Buonomano , A. *Diagnosi energetica strumentale la certificazione energetica*, Corso di formazione per certificatore energetico, Napoli, 2012.

Baratta A. F. L., Venturi L., *Prestazioni termiche di pareti perimetrali in regime dinamico*, Costruire in Laterizio, Business Media Sole 24 Ore, n. 122, pp. 62-67.

Buratti C., Moretti E., *Lighting and Energetic Characteristics of Transparent Insulating Materials: Experimental Data and Calculation* Department of Industrial Engineering, Indoor and Built Environment, 2011, p. 400-411.

Cammarata , G. *Fisica Tecnica Ambientale*, Editore Mc. Graw Hill Italia, vol.1-2-3, 2007.

Cammarata, G. *Impianti Termotecnici – Energetica degli edifici*, vol.1a , Dipartimento Ingegneria Industriale, Università di Catania, 2013.

Campoli, A. *Qualità dell'architettura: innovazione, ricerca tecnologica e progetto*, in *Techne 01*, FUP, 2011, p.62-69.

Elvin, G. *Nanotechnology for Green Buildings*, Green Technology Forum, 2008.

Ferrari S., Baldinazzo M., *Valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici: dalle norme semplificate all'analisi dinamica*, Atti Convegno AICARR, Certificazione energetica: normative e modelli di calcolo per il sistema edificio-impianto posti a confronto. Bologna 16/10-Torino 25/11/2008, Napoli 16/01/2009.

Gallo P., Calcagno G. *Obiettivo Nzeb: dalla progettazione, all'innovazione tecnologica, al mercato. Il caso Italia*, in *Ingenio* n.30, 2015.

Girardi C., *La produzione industrializzata eco-innovativa per il retrofit edilizio*, in *Esempi di Architettura*, International Journal of Architecture and Engineering, ISSN online 2035-7982.

Gorgone J.G., Messina G., Russo F., *Progettare e riqualificare le pareti per l'efficienza energetica. Chiusure verticali opache e trasparenti*, Maggioli Editore, 2015.

Klems, J.H. *A calibrated hot box for testing window systems – Construction calibration and measurements on prototype high-performance windows*, in: Proceedings of ASHRAE/DOE-ORNL Conference on Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings, Kissimmee (Florida), 1979, pp. 338–346..

Lanzoni, D. *Diagnosi e certificazione energetica: prove strumentali sugli edifici. Termografia - Blower door - Termoflussimetro*, Maggioli Editore, 2012.

Latorre, C. *Alla ricerca del Superisolante perfetto*, in *Casa & Clima* n.39, 2012, p.26-36.

Losasso, M. *Il progetto come prodotto di ricerca scientifica*, in *Techne 02*, FUP, 2011, p.78-85

Mann, S. *Nanoforum report: nanotechnology and construction*, Institute of Nanotechnology, 2006.

Sala, M. (a cura di) *I percorsi della progettazione per la sostenibilità ambientale*, Alinea editrice, Firenze, 2004.

Sinopoli, N. *“La normativa tecnica”*, in ZAFFAGNINI, M. (a cura di) *Progettare nel processo edilizio*. Bologna, Luigi Parma, 1980.



Sinopoli, N. *La tecnologia invisibile. Il processo di produzione dell'architettura e le sue regie*. Milano, Franco Angeli, 2002.

Torricelli M. Chiara, Del Nord Romano, Felli Paolo, *Materiali e tecnologia dell'architettura*, Laterza, Bari-Roma, 2001.

## V.2 TESI DI DOTTORATO

G. Alcamo, *Sistemi per valutare e comparare in opera le prestazioni energetiche di componenti edilizi. Progetto di una Test Cell per il clima mediterraneo*, tesi di Dottorato Di Ricerca in Tecnologia XXIII Ciclo, Università degli Studi di Firenze.

G. Archetti, *Involucri evoluti a comportamento dinamico: tecnologie e modelli applicativi nel contesto geografico, normativo e imprenditoriale della Regione Emilia Romagna*, tesi di Dottorato Di Ricerca in Tecnologia XXII Ciclo, Università degli Studi di Ferrara.

A. Erkoreka, *Gonzales Modelling and testing of green roof using the Paslink methodology for characterization of its energy behavior*, PhD thesis, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Bilbao, UPV/EHU , 2012.

M.F. Leone, *Innovazione tecnologica e materiali avanzati alte prestazioni ed eco-efficienza: nanotecnologie per l'evoluzione dei materiali cementizi*, tesi di Dottorato Di Ricerca in Tecnologia XXI Ciclo, Università degli Studi di Napoli "Federico II".

R. Romano, *Smart Skin Envelope: Sistemi Di involucro "Intelligente". Integrazione Architettonica Di Tecnologie Dinamiche e Innovative Per Il Risparmio Energetico*, tesi di Dottorato Di Ricerca in Tecnologia XXII Ciclo, Università degli Studi di Firenze.

M. Rossi, *Prodotti e sistemi di involucro innovativi per il progetto di edifici energeticamente efficienti. Procedure, simulazioni termodinamiche e criteri progettuali per un'applicazione nel Sud Europa*, Tesi di Dottorato Di Ricerca in Tecnologia XXI Ciclo, Università degli Studi di Napoli "Federico II".

### V.3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

**Direttiva 2002/91/CE** del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 *\_Energy Performance of Buildings Directive sul rendimento energetico nell'edilizia*

**DIRETTIVA 2006/32/CE** del Parlamento europeo e del Consiglio del 5 aprile 2006 *concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e recante abrogazione della direttiva 93/76/CEE del Consiglio*

**Direttiva 2010/31/UE** del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 *sulla prestazione energetica nell'edilizia\_ EPBD recast*

**Direttiva 2012/27/UE** del Parlamento Europeo e del Consiglio del 25 ottobre 2012 *sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE Efficienza Energetica*

**Legge 373/76** *Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale Italiana n°148 del 07/06/1976*

**Legge 10/91** *Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.*

**DPR 412/93** *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4 della legge 9 Gennaio 1991, n. 10".*

**DPR 551/99** *Regolamento recante modifiche al decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia.*

**D.Lgs. 192/05** *Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.*

**D.Lgs. 311/06** *Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia.*

**DPR 59/09** *Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia*

**D.M. 26/06/09** *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.*

**D.Lgs. 28/11** *Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.*

**Legge 90/13** Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63 Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale.

**D.Lgs. 102/14** del 4 luglio 2014, n. 102. Attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica, che modifica le direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE e abroga le direttive 2004/8/CE e 2006/32/CE.

**DM 26/06/15** Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.

**DM 26/06/15** - Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 - Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

**DM 26/06/15** - Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici.

Normativa tecnica su risparmio energetico negli edifici e prestazioni termiche materiali e componenti edilizia mediante prove di laboratorio.

**UNI TS 11300-Parte 1: 2014**, Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.

**UNI TS 11300-Parte 2: 2014**, Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.

**UNI TS 11300-Parte 3: 2012**, Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.

**UNI TS 11300-Parte 4: 2012**, Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.

**UNI EN ISO 7345:1999**, Isolamento termico - Grandezze fisiche e definizioni. Versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN ISO 7345 (edizione dicembre 1995).

**UNI EN ISO 9288:2000**, Isolamento termico - Scambio termico per radiazione - Grandezze fisiche e definizioni. Versione ufficiale in lingua italiana della norma europea EN ISO 9288 (edizione maggio 1996).

**UNI EN ISO 8990:1999**, Isolamento termico - Determinazione delle proprietà di trasmissione termica in regime stazionario - Metodo della doppia camera calibrata e della doppia camera con anello di guardia.

**UNI EN ISO 12567-1:2010**, Isolamento termico di finestre e porte - Determinazione della trasmittanza termica con il metodo della camera calda - Parte 1: Finestre e porte complete.

**UNI EN 12412-2:2004**, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - Determinazione della trasmittanza termica con il metodo della camera calda - Telai.

**ISO 8301:1991**, Thermal insulation -- Determination of steady-state thermal resistance and related properties -- Heat flow meter apparatus

**ISO 8302:1991**, Thermalinsulation – Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Guarded hot plate apparatus.

**UNI EN 1946-2:2001**, Prestazioni termiche di prodotti e componenti per l'edilizia - Criteri specifici per la valutazione di laboratori di misura delle proprietà di scambio termico - Misurazioni mediante l'apparecchiatura a piastra calda con anello di guardia.

**UNI EN 12939:2002**, Prestazione termica dei materiali e dei prodotti per edilizia - Determinazione della resistenza termica per mezzo della piastra calda con anello di guardia e del metodo del termoflussimetro - Prodotti spessi con resistenza termica elevata e media.

**UNI EN 12667:2002**, Prestazione termica dei materiali e dei prodotti per edilizia - Determinazione della resistenza termica con il metodo della piastra calda con anello di guardia e con il metodo del termoflussimetro - Prodotti con alta e media resistenza termica.

**UNI EN 12664:2002**, Prestazione termica dei materiali e dei prodotti per edilizia - Determinazione della resistenza termica con il metodo della piastra calda con anello di guardia e con il metodo del termoflussimetro - Prodotti secchi e umidi con media e bassa resistenza termica.

**UNI EN 1934:2000**, Prestazione termica degli edifici - Determinazione della resistenza termica per mezzo del metodo della camera calda con termoflussimetro - Muratura

Normativa tecnica su analisi termiche agli elementi finiti bidimensionali e tridimensionali mediante calcolo

**UNI EN ISO 6946:2008**, Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo

**UNI EN 1745:2012**, Muratura e prodotti per muratura - Metodi per determinare le proprietà termiche

**UNI EN ISO 10211:2008**, Ponti termici in edilizia - Flussi termici e temperature superficiali - Calcoli dettagliati

**UNI EN ISO 10077-1:2007**, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 1: Generalità

**UNI EN ISO 10077-2:2012**, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 2: Metodo numerico per i telai

**UNI EN 13947:2007**, Prestazione termica delle facciate continue - Calcolo della trasmittanza termica .

**UNI EN ISO 13786:2008**, Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo.

**UNI EN ISO 13786:2008**, Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche - Metodi di calcolo

Normativa tecnica su prove in situ per la valutazione delle prestazioni dell'involucro

**UNI EN 13187:2000**, Prestazione termica degli edifici - Rivelazione qualitativa delle irregolarità termiche negli involucri edilizi - Metodo dell'infrarosso.

**ISO 9869-1:2014**, In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance - Part 1: Heat flow meter method

**UNI EN 13829:2002**, Prestazione termica degli edifici - Determinazione della permeabilità all'aria degli edifici - Metodo di pressurizzazione mediante ventilatore.

#### V.4 DOCUMENTI E MANUALI PASSYS E PASLINK

J.J. Bloem, *The PASSYS Test Sites. Status Report Autumn 1992*, JRC. CEC DG XII, Brussels, 1993.

E. Maldonado, *PASSYS Operations Manual*, FEUP, CEC DGXII, Brussels, 1993.

B. Stanzel, *PASSYS Calibration Manual*, ITW University of Stuttgart. CEC DG XII, Brussels, 1993.

A. Guy, *PASSYS Test Components Descriptions*, Pilkington, CEC DG XII, Brussels, 1993.

H.A.L. van Dijk, *PASSYS Test Procedures*. TNO. CEC DG XII, Brussels, 1993.

H.A.L. van Dick, *Development of the PASSYS Test Method, Research Report PASSYS Subgroup Test Methodologies*, TNO Building and Construction Research. CEC DG XII Brussels, 1993.

P. Wouters, L. Vandaele, *PASLINK EEIG: The Grouping of Outdoor Test Centres. Final Report of the PASLINK Project*, BBRI, EC DG XII, Brussels, 1995.

P. Wouters, L. Vandaele, *PASLINK FINAL ACTIVITY REPORT*, BBRI, EC DG XII, Brussels, 1995.

Ed. B. Saxhof, *PASLINK calibration Manual*, TIL-DTU Lyngby, EC DG XII, Brussels, 1995. (aggiornamento di B. Stanzel, ITW University of Stuttgart).

H. A. L. van Dijk and G. P. van der Linden, *PASLINK Calibration and Component Test Procedures. Final Report*. TNO Building and Construction Research. February 1995.

H. A. L . van Dijk, *COMPASS Measurement and data analysis procedures*, TNO Building and Construction Research, F. Tellez , CIEMAT. EC DG XII, Brussels, December 1995

G.P. van der Linden, H.A.L. van Dijk, A.J. Lock, F. van der Graaf, *COMPASS Installation guide HFS Tiles for the PASSYS Test cells*. TNO. JOULE2 Programme, Brussels, 1995.

E. Maldonado, *COMPASS Upgrading PASSYS test cells with a Pseudo-adiabatic shell, construction manual*. University of Porto. JOULE2 Programme, Brussels, 1995.

## V.5 ARTICOLI SCIENTIFICI (relativi a Test Cells Paslink )

AA.VV., *Inventory of full scale test facilities for evaluation of building energy performances*, IEA EBC Annex 58 Subtask 1, 2015.

Alcamo, G. *Test facilities for evaluation of building component energy performances - TEST CELL in Florence*. In: S. Roels, L. Vandaele, etc. *Full scale test facilities for evaluation of energy and hygrothermal performances*, 2011. pp. 75-79, Gent: A. Janssens.

Alcamo G., De Lucia M. *A new test cell for the evaluation of thermo-physical performance of facades building components*. *International Journal Of Sustainable Energy*, vol. 33, pp. 954-962,2013.

Baker, PH. *Evaluation of round-robin testing using the PASLINK test facilities*. *Build Environ* 2008;43:181-8.

Baker, P. *IQ-test—improving quality in testing and evaluation of solar and thermal characteristics of building components*. *Energy Build* 2004;36:435-41.

Baker PH., van Dijk HAL. *PASLINK and dynamic outdoor testing of building components*. *Build Environ* 2008;43:143-51.

Bloem, J.J. *Dynamic Methods for Building Performance Assessment*, Conference Proceedings PALENC, Rhodes 29 September -1 October 2010.

Bloem J.J., *System identification competition*, Office for Official Publications of The European Communities, Luxemburg, 1996.

Bloem J.J., Baker P. H., Strachan P., Madsen H., Vandaele L.. (2010) *DYNASTEE – Dynamic Testing, Analysis and Modelling*. In: Papaglastra and Wouters. Ed. 2010. Brussels: INIVE EEIG. pp. 473-496.

(Yan) Chen Q. *Building and Environment is heading towards the next level of excellence*. *Build Environ* 2009;44:229-30.

Erkoreka, A., Escudero, C., Flores, I., Garcia, C., Sala, J.M. *Upgrading and calibration of two PASLINK test cells. Evaluation through the "IQ-TEST" round-robin test*. In: DYNASTEE workshop on Dynamic Methods for Building Energy Assessment Proceedings. Brussels: DYNASTEE, 2010.

Erkoreka, A., Escudero, C., Flores, I., Dr. Koldo M., Sala, J.M. *Importance of testing the thermal performance of façades and roofs under real conditions*. In: I European Conference on Energy Efficiency and Sustainability in architecture and Planning Proceedings. Universidad del País Vasco, Donostia, 2010.

Gutschker O. LORD – *Modelling and identification software for thermal systems, user manual*. Germany: BTU Cottbus., 2004.

Hahne E., Pfluger R. *Improvements on PASSYS test cells*. Solar Energy 1996;58:239-46.

Strachan PA. *Model validation using the PASSYS Test cells*. Build Environ 1993;28:153-65.

Strachan P. A., Baker P. H. , *Special issue on Outdoor testing, analysis and modelling of building components*, Building and Environment, 43, 2008, p. 127-128.

Strachan P., Vandaele L. *Case studies of outdoor testing and analysis of building components*. Build Environ 2008;43:129-42.

Vandaele L. and Wouters P. 1994. *The PASSYS Services, Summary Report*. BBRI and EC DG XII. Brussels, EUR 15113 EN.

Van Dijk HAL, Van der Linden GP. *The PASSYS method for testing passive solar components*. Build Environ 1993;28:115-26.

Wouters P. and Vandaele L. 1994. *PASSYS, COMPASS, PASLINK: a European approach for the full-scale evaluation of thermal and solar performances of building components*. Proc. Of the European Conf. on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings, Lyon, pp. 29-36.

Wouters P, Vandaele L, Voit P, Fisch N. *The use of outdoor test cells for thermal and solar building research within the PASSYS project*. Build Environ,28, 1993, p.107-113.



## V.6 RIFERIMENTI SITOGRAFICI

[www.abitaremediterraneo.eu/](http://www.abitaremediterraneo.eu/)  
[www.aerocoins.eu/](http://www.aerocoins.eu/)  
[www.aicarr.org/](http://www.aicarr.org/)  
[www.anit.it/](http://www.anit.it/)  
[www.apre.it](http://www.apre.it)  
[www.arup.com](http://www.arup.com)  
[www.casaclima.com](http://www.casaclima.com)  
[www.cnr.it/](http://www.cnr.it/)  
[www.cordis.europa.eu/fp7](http://www.cordis.europa.eu/fp7)  
[www.cti2000.it/](http://www.cti2000.it/)  
[www.direttiva27.it/](http://www.direttiva27.it/)  
[www.ec.europa.eu/dgs/jrc/](http://www.ec.europa.eu/dgs/jrc/)  
[www.ec.europa.eu/programmes/horizon2020/](http://www.ec.europa.eu/programmes/horizon2020/)  
[www.ecofys.com/en/](http://www.ecofys.com/en/)  
[www.edilteco.it/](http://www.edilteco.it/)  
[www.ehu.es/enedi/](http://www.ehu.es/enedi/)  
[www.empa.ch/web/empa](http://www.empa.ch/web/empa)  
[www.enea.it/](http://www.enea.it/)  
[www.energy-forum.com/](http://www.energy-forum.com/)  
[www.esttp.org](http://www.esttp.org)  
[www.eurac.edu](http://www.eurac.edu)  
[www.glassxpcm.com](http://www.glassxpcm.com)  
[www.greentechforum.net](http://www.greentechforum.net)  
[www.hipin.eu/](http://www.hipin.eu/)  
[www.hok.com](http://www.hok.com)  
[www.iea.org/](http://www.iea.org/)  
[www.just-pm.eu/dynastee/](http://www.just-pm.eu/dynastee/)  
[www.nanofoam.eu/](http://www.nanofoam.eu/)  
[www.nanoinsulate.eu/](http://www.nanoinsulate.eu/)  
[www.nanopcm-eu.net/](http://www.nanopcm-eu.net/)  
[www.paslink.org](http://www.paslink.org)  
[www.pcmproducts.net](http://www.pcmproducts.net)  
[www.pilkington.net](http://www.pilkington.net)  
[www.technicalglass.com](http://www.technicalglass.com)  
[www.uncsaal.it](http://www.uncsaal.it)  
[www.upc.edu/aie/](http://www.upc.edu/aie/)  
[www.uni.com/](http://www.uni.com/)  
[www.variotec.de](http://www.variotec.de)  
[www.wacotech.de/](http://www.wacotech.de/)



La tesi si colloca all'interno di un programma di ricerca congiunto tra il Dipartimento di Architettura DIDA e il Dipartimento di Ingegneria Industriale DIEF dell'Università di Firenze. Si tratta di un'attività sperimentale che prevede la realizzazione di prove di laboratorio e outdoor test per la caratterizzazione termofisica di materiali e sistemi tecnologici di parete mediante la Test Cell UNIFI, un laboratorio all'aperto per prove a regime dinamico realizzato dal Centro ABITA all'interno del Progetto ABITARE MEDITERRANEO.

L'industria delle costruzioni si trova oggi a confrontarsi con una riorganizzazione del proprio know-how in funzione delle disposizioni normative comunitarie sull'efficienza energetica e delle forti spinte all'innovazione nel campo degli Smart Materials. La valutazione delle performance termofisiche di tali sistemi mediante outdoor test può contribuire in maniera significativa all'implementazione tecnologica di componenti innovativi di parete e alla diffusione di questi prodotti sul mercato dell'edilizia.

A tale scopo la tesi si propone di fornire un contributo allo sviluppo del sistema di monitoraggio attraverso la definizione di una procedura di acquisizione, analisi e verifica dei dati sperimentali derivanti da outdoor test a regime dinamico mediante Test Cell UNIFI.

*The thesis is part of a joint research program between the Department of Architecture DIDA and the Department of Industrial Engineering DIEF at University of Florence. The experimental activities concern the development of the Test Cell UNIFI, an outdoor laboratory to measure thermal properties and dynamic behaviour of innovative technological systems for facade under real conditions. The project of the Test Cell UNIFI is part of a largest project Abitare Mediterraneo developed by Centro ABITA .*

*Nowadays building industry is focusing on reorganization of its know-how according with European energy directives and technological innovation in the field of Smart Materials. Evaluation of the thermal properties of these systems using outdoor tests can significantly spread these products in the construction market.*

*The research aims to contribute to the development of Test Cell UNIFI monitoring system by establishing a procedure for acquisition, analysis and validation of output data acquired from outdoor tests in dynamic conditions.*

Alessandra Donato (Messina, 1982).

Laureata con lode in Ingegneria edile-architettura presso l'Università di Pisa (2009). Nel 2010 è vincitrice di una borsa di studio presso l'Università di Pisa sulla valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici ospedalieri della Regione Toscana.

Nel 2012 consegue il Master ABITA presso l'Università di Firenze con la tesi dal titolo: *“Diagnosi energetica e simulazione dinamica di un edificio per uffici, il caso dell'Assessorato di Aosta”*. Dal 2012 collabora con il Centro Interuniversitario ABITA su progetti di ricerca internazionali nell'ambito dell'architettura sostenibile e dell'efficienza energetica degli edifici.



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE  
**DIDA**  
DIPARTIMENTO DI  
ARCHITETTURA