UNIVERSITÀ DEGLI STUDI FIRENZE

FLORE
Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

SISTEMI PER VALUTARE E COMPARARE IN OPERA LEPRESTAZIONI ENERGETICHE DI COMPONENTI EDILIZIPROGETTO DI UNA TEST-CELL

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

Original Citation:

SISTEMI PER VALUTARE E COMPARARE IN OPERA LEPRESTAZIONI ENERGETICHE DI COMPONENTI EDILIZIPROGETTO DI UNA TEST-CELL PER IL CLIMA MEDITERRANEO / G. Alcamo. - (2011).

Availability:

This version is available at: 2158/684341.1 since:

Terms of use:

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf)

Publisher copyright claim:

(Article begins on next page)

12 October 2024

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE

DIPARTIMENTO DI TECNOLOGIE DELL'ARCHITETTURA E DESIGN

"PIERLUIGI SPADOLINI"

Corso di Dottorato di Ricerca in Tecnologia dell'Architettura e Design – ***Ciclo XXIII***

Giuseppina Alcamo

SISTEMI PER VALUTARE E COMPARARE IN OPERA LE PRESTAZIONI ENERGETICHE DI COMPONENTI EDILIZI

PROGETTO DI UNA TEST-CELL PER IL CLIMA MEDITERRANEO

Settore disciplinare prevalente: ICAR12

Dottorando
Dott. Giuseppina Alcamo

Tutor
Prof. Marco Sala

Coordinatore
Prof. Antonio Laurìa

Giuseppina Alcamo
e-mail: giuseppina.alcamo@taed.unifi.it

Università degli Studi di Firenze
Dipartimento di Tecnologie dell'Architettura e Design "Pierluigi Spadolini"
Via San Niccolò, 93 - I - 50125 FIRENZE
Telefono: +39 055 205 5500
Fax: +39 055 205 5599
http://www.unifi.it/dptaed

Tutti i diritti riservati Università degli Studi di Firenze 2011

Coordinatore del Dottorato di Ricerca: prof. Antonio Laurìa

INDICE

INTRODUZIONE V
PAROLE CHIAVE IX
COLLOCAZIONE SCIENTIFICA DELLA RICERCA X

PARTE I: QUADRO CONOSCITIVO 1
PREMESSA ALLA PARTE I 2

CAPITOLO I.1 LE TEST-CELL: LO STATO DELL'ARTE IN EUROPA 3

I.1.1 COSA È UNA TEST CELL E A COSA SERVE 5

I.1.2 IL QUADRO NORMATIVO EUROPEO DI RIFERIMENTO 9
I.1.2.1 ENERGY PERFORMANCE OF BUILDING DIRECTIVE 2002/91/CE 16
I.1.2.2 LA DIRETTIVA EUROPEA 2010/31/UE 20
I.1.2.3 NORMATIVE CEN EUROPEE SUI PRODOTTI 23
I.1.2.4 TEST-CELL E RELAZIONI CON IL QUADRO NORMATIVO EUROPEO 27

I.1.3. ESPERIENZE EUROPEE 29
I.1.3.1 PASSATO E PRESENTE: RACCOLTA DI PROGETTI E DI ESPERIENZE EUROPEE. 29
I.1.3.2 CRITERI DI VALUTAZIONE 35
I.1.3.3 CASO STUDIO 1: TEST SITE PRESSO IL BBRI, BELGIO 38
I.1.3.4 CASO STUDIO 2: TEST SITE PRESSI IL VTT, FINLANDIA 40
I.1.3.5 CASO STUDIO 3: TEST SITES PRESSO JRC, ITALIA 42
I.1.3.6 CASO STUDIO 4: TEST SITES PRESSO CONPHOEBUS, ITALIA 44
I.1.3.7 CASO STUDIO 5: TEST SITES PRESSO DIENCA, ITALIA 46
I.1.3.8 CASO STUDIO 6: TEST SITES PRESSO PERMASTEELISA, ITALIA 48
I.1.3.9 CASO STUDIO 7: TEST SITES AD ANCONA, ITALIA 50
I.1.3.10 CASO STUDIO 8: TEST SITE PRESSO CRES, GRECIA 52
I.1.3.11 CASO STUDIO 9: TEST SITE PRESSO NKUA, GRECIA 54
I.1.3.12 CASO STUDIO 10: TEST SITE PRESSO VITORIA-GASTEIZ 56
I.1.3.13 CASO STUDIO 11: TEST SITE PRESSO CIMENET, SPAGNA 58
I.1.3.14 CASO STUDIO 12: TEST SITE PRESSO ESRU-BRE, IN UK 60
I.1.3.15 CASO STUDIO 13: TEST SITE PRESSO BRE-INNOVATION PARK 62
I.1.3.16 CASO STUDIO 14: TEST SITE IN UNIVERISTY OF SALFORD 64
I.1.3.17 CASO STUDIO 15: TEST SITE PRESSO NAPIER UNIVERISTY 66
I.1.3.18 CASO STUDIO 16: TEST SITE IN PORTOGALLO 68
I.1.3.19 CASO STUDIO 17: TEST SITE IN GERMANIA 70
I.1.3.20 CASO STUDIO 18: TEST SITE PRESSO FRAUNHOFER 72
I.1.3.21 CASO STUDIO 19: TEST SITE NEI PAESI BASSI 74
I.1.3.22 CASO STUDIO 20: TEST SITE PRESSO INCAS 76

CAPITOLO I.2 AMBITO GEOGRAFICO DI RIFERIMENTO 78

I.2.1.PERCHÈ UNA TEST CELL PER IL CLIMA MEDITERRANEO 78
I.2.1.1 IL CLIMA MEDITERRANEO 79
I.2.1.2 IL COMFORT TERMO-IGROMETRICO 81
I.2.1.3 SOLUZIONI TECNOLOGICHE TRADIZIONALI IN CLIMA MEDITERRANEO 84
I.2.1.3.1 IL DAMMUSO DI PANTELLERIA E IL GIARDINO ARABO 88
I.2.1.3.2 I TRULLI PUGLIESI 89
I.2.1.3.3 I GIARDINI DELL'ALAMBRA, GRANADA 90
I.2.1.3.4 TORRI DEL VENTO IN IRAN 91
I.2.1.3.5 ISTITUTO DEL MONDO ARABO 92
I.2.1.3.6 CASA DI CAMPAGNA IN SICILIA 93

I.2.2. COSA MISURARE E CONTROLLARE TRAMITE LA TEST-CELL 94
I.2.2.1 IL CONTROLLO DEL SURRISCALDAMENTO TRAMITE I COMPONENTI 94
I.2.2.2 RIDURRE IL SURRISCALDAMENTO TRAMITE LA VENTILAZIONE NATURALE 97
I.2.2.3 RIDURRE IL SURRISCALDAMENTO DOVUTO ALL'EFFETTO SERRA 102

CAPITOLO I.3. CONCLUSIONI ALLA PARTE I 105

PARTE II: PROGETTO DELLA TEST CELL 111
PREMESSA ALLA PARTE II 112

CAPITOLO II.1 IL PROGETTO DI UNA TEST CELL PER IL CLIMA MEDITERRANEO 113

II.1.1 I REQUISITI TECNOLOGICI E AMBIENTALI DA SODDISFARE 114
II.1.1.1 CAMERA DI PROVA NON ADIABATICA 114
II.1.1.2 CONTENIMENTO DEI PONTI TERMICI 115
II.1.1.3 CONTROLLO DELLE INFILTRAZIONI 115
II.1.1.4 CONTROLLO DEL FLUSSO TERMICO 116
II.1.1.5 CAMERA DI PROVA ORIENTABILE 116

II.1.2 LA LOCALIZZAZIONE 117

II.1.3 IL PROGETTO 120
II.1.3.1 PIANTE 120
II.1.3.2 SEZIONE TRASVERSALE DELLA TEST CELL 122
II.1.3.3 SEZIONE LONGITUDINALE 124
II.1.3.4 PROSPETTI 125
II.1.3.5 SOLAIO DI COPERTURA 126
II.1.3.6 SOLAIO DI CALPESTIO 128
II.1.3.7 PARETI VERTICALI 130
II.1.3.8 APPOGGIO TEST CELL – STRUTTURA DI BASE 132

II.1.3.9 LA PORTA TRA LA CAMERA DI PROVA E LA SERVICE ROOM 133
II.1.3.10 BINARIO E RALLA CENTRALE 135
II.1.3.11 LA PARETE DI PROVA 139
II.1.3.12 COMPONENTI DA TESTARE 143
II.1.3.13 LA PROPOSTA DI UNA TEST-CELL SU DUE PIANI 150

II.1.4 VERIFICHE STRUTTURALI 152
II.1.4.1 LA STRUTTURA IN LEGNO 152
II.1.4.2 LA STRUTTURA METALLICA 157

II.1.5 STRUMENTAZIONE DI MISURA 161
II.1.5.1 SENSORI DI FLUSSO TERMICO 162
II.1.5.2 TERMOCOPPIE 164
II.1.5.3 TERMORESISTENZE 165
II.1.5.4 PIRELIOMETRO 166
II.1.5.5 SONDE FOTOMETRICHE 167
II.1.5.6 GLOBOTERMOMETRO 168
II.1.5.7 SONDE PER LA VELOCITÀ E LA DIREZIONE DEL VENTO 170

II.1.6 IL CONTROLLO DEI DATI MISURATI 172
II.1.6.1 POSTAZIONE PC E BABUC DATI 172

CAPITOLO II.2 VALIDAZIONE DELLA PROPOSTA TRAMITE SOFTWARE DI SIMULAZIONE 174

II.2.1 PREMESSA 174
II.2.1.1 COSTRUZIONE DEL MODELLO DI ANALISI 174
II.2.1.2 RECUPERO FILE CLIMATICO DEL SITO 175
II.2.1.3 CARATTERISTICHE DELL'INVOLUCRO 176
II.2.1.4 ANALISI DEI RISULTATI 177

II.2.2 I SOFTWARE DI SIMULAZIONE IN REGIME STATICO VS I SOFTWARE DI SIMULAZIONE IN REGIME DINAMICO 178
II.2.2.1 DESIGN BUILDER 183
II.2.2.2 DOE-2 184
II.2.2.3 ECOTECT 185
II.2.2.4 ENERGY PLUS 186
II.2.2.5 ESP-R 187
II.2.2.6 LAMAS 188
II.2.2.7 PASSPORT 189
II.2.2.8 PHOENICS 190
II.2.2.9 RADIANCE 191
II.2.2.10 RELUX 192
II.2.2.11 SUMMER 193
II.2.2.12 TRNSYS 194
II.2.2.13 FLUENT 195

II.2.4 I SOFTWARE PER VALIDARE LA TEST-CELL 196

CAPITOLO II.3. CONCLUSIONI ALLA PARTE II 207

PARTE III. CONCLUSIONI 209

PREMESSA ALLA PARTE III 210

CAPITOLO III.1 RIEPILOGO SULLO SVOLGIMENTO DELLA RICERCA 211

III.1.1 AREE SCIENTIFICO-DISCIPLINARI INTERESSATE DALLA RICERCA 211
III.1.2 SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI INTERESSATI DALLA RICERCA 212
III.1.2.1 ICAR 12 TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA 212
III.1.2.2 ING-IND 11 FISICA TECNICA AMBIENTALE 212
III.1.3 BASE DI PARTENZA SCIENTIFICA NAZIONALE E INTERNAZIONALE 214
III.1.4 SCAMBI E CONTATTI CON STUDIOSI E ISTITUTI DI RICERCA 217

CAPITOLO III.2 CONCLUSIONI 220

III.2.1 I RISULTATI 222
III.2.2 RILEVANZA SCIENTIFICA 223
III.2.3 INNOVAZIONE 223
III.2.4 PROMOZIONE DEL PROGETTO A LIVELLO INTERNAZIONALE 223

CAPITOLO III.3 DESTINATARI E FUTURO DELLA RICERCA 228

III.3.1 DESTINATARI PRIVILEGIATI E SPENDIBILITÀ DELLA RICERCA 228
III.3.2 POSSIBILI SVILUPPI FUTURI DELLA RICERCA 228

PARTE IV. APPARATI 231
IV.1 BIBLIOGRAFIA GENERALE 232
IV.2 BIBLIOGRAFIA SPECIFICA 235
IV.3 ARTICOLI SU RIVISTE 239
IV.4 TESI DI DOTTORATO 241
IV.5 ARTICOLI SU RIVISTE SCIENTIFICHE 242
IV.6 RIFERIMENTI SITOGRAFICI 246
IV.7 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 247

INTRODUZIONE

L'architettura mediterranea, prevalentemente rappresentata dalle domus dell'architettura romana, è originariamente legata al territorio e al clima. Il clima mediterraneo ha indubbiamente condizionato le scelte degli architetti del passato che, in assenza di tecnologia e di impianti di climatizzazione, hanno tentato di elaborare forme e di usare materiali atti a mitigare gli estremi climatici invernali ed estivi.

Il clima mediterraneo, caratterizzato più dalle estati calde che dagli inverni rigidi, si rivela oggi per i progettisti una grande sfida che si manifesta nell'esigenza di soddisfare il comfort termico degli occupanti non solo in inverno ma anche in estate cercando nella tecnologia soluzioni innovative sia di involucro che di impianto per ottimizzare il comfort e ridurre i consumi energetici.

Recenti studi[1] condotti tramite sistemi di simulazione in regime dinamico[2] su edifici residenziali localizzati in ambito Mediterraneo[3] dimostrano che non solo la tecnologia ma anche opportune strategie di ventilazione diurna e notturna consentono un notevole miglioramento del comfort indoor, riducendo le

[1] "Summer indoor comfort levels in the Mediterranean area: the impact of different window configurations, natural ventilation and solar shading strategies on the indoor comfort level in simple rooms. Simulation with ESP-r" e
"Spanish house summer indoor comfort levels: the impact of different usage of roof space and roof windows, natural ventilation and solar shading strategies on the indoor comfort level in simple models." I risultati scientifici sono disponibili press oil Centro ABITA, Dipartimento TAD, Università degli studi di Firenze. Le ricerche sono state condotte in collaborazione con ESRU, University of Strathclyde e con il supporto di VELUX DK. Autori: G. Alcamo, S. Murgia, M. Sala – 2004-2006

[2] ESP-r, strumento di simulazione in regime dinamico elaborato dall'ESRU, University of Glasgow. /http://www.esru.strath.ac.uk

[3] Gli studi sono stati condotti sulle località climatiche Roma e Madrid.

temperature massime, abbattendo il valore del PPD[4] e ottenendo un controllato e moderato numero di ricambi di aria. Lo studio, mirato a controllare il surriscaldamento estivo, è stato condotto tenendo in considerazione gli internal gains[5], gli apporti solari, e gli effetti dell'inerzia termica dell'involucro[6]. Quest'ultima risulta essere oggi di particolare interesse tanto che in ambito europeo, la Commissione Europea ha recentemente promosso progetti tecnologici innovativi[7] che prevedono l'utilizzo delle nanotecnologie per ottimizzare il comportamento isolante di componenti opachi e finestrati in edilizia, e contemporaneamente controllare il fattore di attenuazione con l'obiettivo di contenere il più possibile i consumi energetici nel settore edilizio; la stessa Commissione Europea ha recentemente emanato una nuova direttiva[8] sul contenimento dei consumi energetici degli edifici obbligando tutti i paesi membri a ridurre ulteriormente i consumi in edilizia, considerando in maniera opportuna le specificità climatiche di ogni regione, tenendo quindi conto non solo delle problematiche invernali –investigate principalmente in regime stazionario- ma mirando ad edifici ad energia zero, con enfasi all'integrazione delle energie rinnovabili e al contenimento dei consumi energetici anche durante la stagione estiva.

Ma come si comportano i nuovi componenti edilizi quali per esempio le pareti ventilate, i PCM cioè i materiali a cambiamento di fase, i nuovi componenti che adottano nanomateriali e aerogels, soggetti a regime dinamico? Ne consegue

---

[4] PPD: Percentage of Person Dissatisfaid, cioè percentuale delle persone insoddisfatte.

[5] ESP-r, strumento di simulazione in regime dinamico elaborato dall'ESRU, University of Glasgow. /http://www.esru.strath.ac.uk

[6] G. Alcamo, S. Murgia, M. Sala, *The impact of different window configurations, natural ventilation and solar shading strategies on the indoor comfort level in simple rooms, in Mediterranean area*, pp. 22-25, 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.

[7] FP7, call NANOSCIENCES, NANOTECHNOLOGIES, MATERIALS AND NEW PRODUCTION TECHNOLOGIES, www.cordis.europa.eu/fp7

[8] DIRETTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia

la necessità di testare e monitorare il comportamento termico di nuovi componenti edilizi tramite laboratorio all'aperto, in condizioni outdoor, cioè condizioni climatiche esterne, variabili, reali, una test-cell che consenta di estrapolare parametri quali il fattore di attenuazione e il coefficiente di sfasamento termico, il fattore solare che possano poi essere utilizzati con appositi algoritmi di calcolo da software di simulazione in regime dinamico, consentendo di prevedere il comportamento termico del componente a scala complessa di edificio.

L'attuale attenzione al contenimento dei consumi energetici e alla certificazione delle prestazioni dei componenti di un edificio, ha spinto molte Amministrazioni Pubbliche Italiane a individuare nei modelli della "Passive House", di "Casa Clima" e in altre tipologie sviluppate in Paesi Centro-europei – quali, per esempio, Austria e Germania - il riferimento per sviluppare le normative locali ed orientare le azioni dimostrative di costruzioni pubbliche.

Questa prevalente presenza della cultura architettonica "conservativa" in termini energetici si esprime con modelli di edifici altamente isolati, con ridotte possibilità di ventilazione e con la perdita del rapporto con il clima esterno se non attraverso l'azione di effetto serra delle finestre e delle serre.

Sono poche e poco scientificamente indagate le soluzioni del cosiddetto "abitare mediterraneo" legato a modelli tradizionali di abitazione, dove il rapporto proporzionato di finestre e pareti opache, la presenza di una forte massa termica (conseguenza della funzione portante svolta dalle chiusure), l'uso della ventilazione trasversale e delle schermature mobili o transitorie (persiane, pergole di piante a foglie caduche, tende, ecc.) permette un confort termico migliore in periodo estivo.

In clima Mediterraneo si è poco investigato sul tema del surriscaldamento estivo, tema che oggi risulta essere di particolare interesse visti i sempre crescenti consumi legati all'utilizzo di macchine frigorifere e condizionatori climatici e alle urgenti richieste di abbattimento dei consumi energetici esplicitati dalla EU attraverso il recast della Energy Performance of Building Directive che imporrà fra pochi anni la progettazione di edifici a consumi energetici pari a zero.

In Europa le aziende di componenti opachi e trasparenti stanno cercando soluzioni tecnologiche innovative che richiedono test in condizioni climatiche

esterne, cioè variabili e controllate, in particolare per studiare il comportamento termico in regime estivo. Ecco che il progetto di una test-cell -camera di prova- per testare componenti da sviluppare per il clima Mediterraneo risulta di particolare interesse.

In Italia, apparecchiature simili esistono in centri di ricerca come la Conphebus (Enel) a Catania, presso il Centro di ricerca europeo di Ispra, presso il Dipartimento DIENCA dell'Università degli Studi di Bologna, e anche presso l'Università Politecnica delle Marche, oltre che presso alcune grandi aziende, che però le utilizzano per mettere a punto i loro prodotti e non con un programma esteso ed aperto ai componenti di altri produttori.

La tesi si propone di sviluppare il progetto di una test cell per le prove in regime dinamico su componenti nuovi di involucro, componenti sui quali lo studio in regime estivo risulta particolarmente interessante per il controllo energetico dell'edificio e per il confort indoor.

La tesi si propone quindi di conseguire il seguente obiettivo principale:
realizzare un laboratorio di prova controllato e all'aperto per materiali e soluzioni tecnologiche legate al concetto dell'edificio ad alta massa termica, all'uso di sistemi di infissi avanzati, di rivestimenti di facciata, di sistemi di schermatura solare come frangisole, tende, persiane, etc.

La tesi è stata strutturata in quattro parti:

Parte I - Stato dell'arte: Analisi diretta e indiretta finalizzata ad investigare sul tema del surriscaldamento estivo dovuto ai componenti di involucro e ad analizzare criticamente le test-cell realizzate in Europa individuando di ognuna plus e minus;

Parte II - Progetto della test-cell: Definizione dei requisiti di progetto secondo l'impostazione esigenziale-prestazionale; progetto della test-cell; validazione del progetto tramite strumenti di simulazione in regime dinamico: Indagine sugli strumenti di simulazione dinamici per individuare quello che può con maggior precisione prevedere il comportamento della test-cell. Quindi studiare il programma e validare il progetto.

Parte III – Conclusioni e destinatari della ricerca

Parte IV – Riferimenti bibliografici

PAROLE CHIAVE

TEST CELL

COMFORT TERMICO

ABITARE MEDITERRANEO

COLLOCAZIONE SCIENTIFICA DELLA RICERCA

Aree scientifico-disciplinari interessate dalla ricerca

Area 08 - Ingegneria civile e Architettura

Qualità della vita e dell'abitare; Tutela delle risorse e trasformazione dell'ambiente

Settori scientifico-disciplinari interessati dalla ricerca

ICAR 12-ING-IND 11

A Marta e Matilde

Ringraziamenti

Non posso dimenticare le persone che mi hanno incoraggiato e supportato in questi anni. Ringrazio in particolare i miei amici e colleghi Alfredo, Milly, Rosa e Silvia, che come una vera famiglia, non mi hanno permesso di abbattermi aiutandomi nei momenti più difficili.
Ringrazio Lucia, amica e collega di stanza, che mi ha incoraggiato e si è fatta carico delle mie incombenze di assegnista di ricerca durante il periodo relativo alla consegna della tesi. Grazie a Paola, per avermi sostenuto con tenacia e grinta nei momenti di sconforto.
Un ringraziamento al Dott. Hans Bloem che durante il triennio mi ha guidato con esperienza e fiducia . Ringrazio il prof. Marco Sala e il prof. Simone Secchi che mi hanno spronato alla ricerca delle soluzioni più interessanti per una test cell innovativa e a regola d'arte.
Ringrazio il prof. Antonio Laurìa per il tempo dedicato a revisionare indice e abstract e per avermi incoraggiato con sincera umanità.
Un caloroso ringraziamento alla segreteria del TAeD, in particolare a Lucia e Grazia per il buon umore.
Ringrazio mamma e papà che, anche se a distanza, hanno trovato le parole giuste per incoraggiarmi.
E... grazie a Gaspare per avermi sopportato, soprattutto negli ultimi mesi, sostituendomi con amore ed energia.

PARTE I: QUADRO CONOSCITIVO

"La qualità dell'innovazione si misura in termini di corrispondenza o coerenza fra le innovazioni tecnologiche, processuali e oggettuali proposte e introdotte con la strategia di cambiamento che si vuole indurre, o favorire."
L. Matteoli, 2008

PREMESSA ALLA PARTE I

La prima parte della tesi è relativa allo Stato dell'arte. Viene analizzata la normativa Europea e quindi la normativa nazionale sulla performance energetica degli edifici, le relazioni con le direttive Europee sui prodotti e come la test cell, in qualità di strumento di misura, si relaziona con la normativa.

E' stata quindi fatta una indagine a livello Europeo sulle test facilities che sono state realizzate, con particolare attenzione a quelle realizzate per testare in condizioni climatiche esterne. E' sta condotta una analisi diretta e indiretta finalizzata ad investigare sul tema del surriscaldamento estivo dovuto ai componenti di involucro e ad analizzare criticamente le test-cell realizzate in Europa individuando di ognuna plus e minus.

Con riferimento quindi alle condizioni climatiche tipiche del Mediterraneo, viene definito l'ambito geografico investigando sulle misure che possono essere condotte tramite la test cell.

La prima parte si chiude con una breve conclusione.

CAPITOLO I.1 LE TEST-CELL: LO STATO DELL'ARTE IN EUROPA

La Commissione Europea ha finanziato negli anni '80 e '90 una serie di progetti[1] mirati alla realizzazione di test cells allo scopo di misurare il fattore solare e la trasmittanza termica di elementi opachi e trasparenti e validare alcuni software di simulazione in regime dinamico a supporto dei progettisti, quali per esempio ESP-r.

Sono state quindi realizzate test cell in Francia, Spagna, Finlandia, Belgio, Grecia, Svizzera, Portogallo, Regno Unito, Germania, Italia che sono state prevalentemente utilizzate fino all'esaurimento dei finanziamenti europei: oggi la maggior parte delle test cell a quel tempo realizzate sono in disuso o utilizzate principalmente per monitorare l'efficienza di sistemi solari passivi, quali pannelli fotovoltaici e pannelli solari termici.

Fig.I.1 Immagini di test cell in Europa

La sperimentazione a livello europeo ha messo in evidenza diversi punti deboli sulla realizzazione e gestione delle test cell ovvero sulle misure condotte. Nonostante in Italia e in Europa siano presenti laboratori sperimentali di prove all'aperto[2], l'esperienza dei test-sites realizzati negli anni '80, è la più significativa dal punto di vista scientifico[3] ed è proprio con particolare riferimento a quelle esperienze e agli insuccessi e carenze rivelati da esse che si vuole oggi proporre una test cell innovativa dal punto di vista tecnologico e progettuale.

---

[1] PASSYS, PASSLINK, ROOF-Soil, COMPASS, Solar COOL, IQ-Test, DAME-BC.

[2] Si fa riferimento alle test cell del Politecnico delle Marche, del Politecnico di Milano, dell'Università di Bologna.

[3] P.A. Strachan, L. Vandaele, *Case studies of outdoor testing and analysis of building component,* Science Direct, Building and Environment 43 (2008) 129–142

Perché l'esigenza di una test cell? Perché non avvalersi di valutazioni da calcolo teorico o da laboratorio? I laboratori per il test sui componenti -per esempio per misurare la trasmittanza termica o condurre test spettrofotometrici sulle proprietà ottiche dei vetri- danno la possibilità di effettuare i test in maniera accurata e ripetibile ma si tratta di prove condotte in regime stazionario, senza considerare la variabilità del comportamento del materiale che dipende dalla variabilità delle condizioni al contorno e quindi dalle condizioni reali cui si trova soggetto[4]. Sembra quindi che la soluzione più ovvia risulti essere quella di controllare e misurare il comportamento del nuovo componente su un edificio reale: ciò comporta però una notevole difficoltà di controllo dell'intero edificio - per esempio i dettagli costruttivi, la messa in opera, il comportamento dei ponti termici, il movimento dell'aria, la variabilità degli occupanti, i sistemi di riscaldamento e raffrescamento e la variabilità delle condizioni interne legate a quelle del clima esterno[5]; numerosi studi condotti su edifici esistenti hanno dimostrato che i risultati cercati sul comportamento di uno specifico componente non sono attendibili e non consentono quindi di definirne correttamente le caratteristiche termo fisiche specifiche di un singolo componente, ma consentono di valutare l'edificio nel suo complesso[6].

Le test cell realizzate per le misure all'aperto e con un alto controllo delle caratteristiche termo-fisiche interne, con struttura ben definite e con strumentazione di alto livello consentono di sostenere le esigenze del nuovo mercato di componenti edilizi che oggi e sempre più si sta sviluppando per far fronte alle necessità di contenimento energetico degli edifici tramite involucri sempre più performanti.

Altro motivo per utilizzare le misure su test cells all'aperto è strettamente connesso al sistema delle simulazioni energetiche: i programmi di simulazione dinamica sono ad oggi stati migliorati in potenzialità di calcolo e sono stati validati nei risultati sulle performance energetiche degli edifici grazie proprio all'utilizzo

---

[4] M.J. Jime´nez, H. Madsen, *Models for describing the thermal characteristics of building components,* Science Direct, Building and Environment 43 (2008) 152–162

[5] P.A. Strachan, *Outdoor testing, analysis and modelling of building components*, Science Direct, Building and Environment 43 (2008) 127–128

[6] Bloomfield D. BRE house empirical validation study. Report v2-bre18a, BRE, Watford, UK, 1999.

delle misure condotte su test cells all'aperto: infatti quando si ha a che fare con un nuovo componente edilizio, le misure condotte sul componente in condizioni climatiche dinamiche e reali consente prima di interpretare e poi di simulare il comportamento del componente a scala di edificio.

Utilizzare una camera di prova all'aperto che abbia un alto grado di controllo delle condizioni interne, con un sistema costruttivo specifico e con una buona strumentazione di misura può essere quindi la soluzione in grado di superare le criticità pre-dette consentendo di avere dei parametri identificativi e caratteristici del componente soggetto a condizioni esterne.

I.1.1 COSA È UNA TEST CELL E A COSA SERVE

Oggi a livello normativo in Italia, il controllo energetico dell'edifico è regolamentato dal Decreto Legislativo 192/2005 e 311/2006 e successive modifiche e integrazioni, decreti di recepimento della Direttiva Europea "Energy Performance of Buildings" del 2002 che il prossimo febbraio 2012 verrà sostituita dalla revisione emanata in Luglio 2010 con la Direttiva Europea 2010-31-UE.

La direttiva Europea "Energy Performance of Buildings" 2002/91/CE ha obbligato gli stati membri al recepimento della stessa imponendo in taluni casi che l'edificio rispondesse a specifici valori di trasmittanza termica al di sotto di prefissati valori limite sia per i componenti opachi che per i componenti trasparenti dell'involucro.

Ciò ha conseguentemente richiesto da parte di progettisti e costruttori una revisione degli standard costruttivi utilizzati negli ultimi decenni; contemporaneamente le esigenze dell'architettura contemporanea fanno sì che la progettazione dell'involucro edilizio sia sempre più sofisticata e caratterizzata dall'introduzione di una tale complessità talvolta di sistemi di facciata che combinati con la necessità di ridotti spessori e di alte prestazioni energetiche e acustiche e sismiche e di antincendio portano oggi alla obbligata necessità di ricerca da parte di centri europei e aziende specializzate, di nuovi prodotti di facciata e lo studio di involucri edilizi innovativi.

Fig.I.2

Fig.I.3

Fig.I.4

Esempi di test facilities in condizioni climatiche esterne: dall'alto verso il basso, Fig.I.2 PERMASTEELISA, Fig. I.3 BRE Innovation Park, Fig. I.4 Vitora-Gasteiz.

Basti pensare che nel periodo 2007-2013, la Commissione Europea ha finanziato milioni di Euro[7] per promuovere lo sviluppo di nuovi componenti di involucro innovativi, mirati al risparmio energetico degli edifici e al soddisfacimento di pre-determinate trasmittanze termiche.

Fig. I.5 Pannello VIP confrontato con lana minerale: i due materiali hanno eguale resistenza termica.

E' quindi in atto, in Europa, la ricerca del comportamento di sistemi di involucro innovativi e la conseguente valutazione delle prestazioni termiche con particolare riferimento alle condizioni reali del comportamento dello specifico componente[8]. La verifica sui componenti infatti non ha il solo scopo di certificare la rispondenza a specifici valori prestazionali misurati in condizioni stazionarie definite dalla normativa, ma si propone di valutare le prestazioni energetiche in uso, misurate o monitorate in regime dinamico, sia per i sistemi di involucro opachi sia per i sistemi di involucro trasparenti, prima ancora della loro immissione sul mercato. Basti pensare agli ultimi prodotti per l'involucro edilizio ad elevate prestazioni energetiche sviluppati in Europa, quali i VIP[9], PCM[10], TIM[11] dei quali risulta oggi necessario identificare il comportamento del componente in condizioni climatiche variabili, tramite test-cell.

Fig. I.6

Fig.I.7
Esempi di PCM. Fonte: www.pcmproducts.net

Il termine test cell viene tradotto dall'Inglese all'Italiano con il termine Camera di Prova; in lingua anglosassone con questo termine si definisce un laboratorio per condurre delle prove normalmente su componenti edilizi. Nello specifico, una test cell è caratterizzata dal fatto che è un oggetto sperimentale di volta in volta progettato per soddisfare le necessità relative alle misurazioni da condurre. Una test cell può essere progettata per fare delle misurazioni in ambiente controllato - hot-box - conducendo delle prove standard su componenti orizzontali o verticali, opachi o trasparenti, ovvero se le prove sul componente non sono standardizzate, allora queste possono essere condotte all'aperto tramite test cells.

---

[7] Si fà riferimento ai progetti promossi in ambito FP7.EeB.NMP.2010-1 "New nanotechnology-based high performance insulation systems for energy efficiency"

[8] Bakker EJ. Ecobuild research: full-scale testing of innovative technologies for energy efficient houses. Report ECN RX-04-005, 2004, ECN, The Netherlands, 2004.

[9] Vacuum Insulation Panels

[10] Phase Changing Materials

[11] Transparent Insulation Materials

Si distinguono infatti le test cell installate all'aperto da quelle installate all'interno di laboratori controllati.

Quale è la differenza tra le due suddette categorie? Le test cell installate all'aperto hanno lo scopo di testare il comportamento di un componente in regime dinamico, cioè in condizioni climatiche esterne e variabili, il componente su cui si effettuano le prove subisce e si confronta con la variazione climatica oraria, giornaliera, con variabili temporali sia in termini di radiazione solare che di temperatura, direzione e velocità del vento, umidità relativa. I dati registrati quindi devono essere messi in relazione con la variabilità climatica registrata e opportunamente monitorata.

Fig. I.8

Le hot-box sono invece dei veri e propri laboratori controllati che consentono di effettuare sui componenti delle prove standardizzate in regime stazionario, non dando quindi la possibilità di testare il componente in regime dinamico, includendo la variabile tempo, relazionata alle condizioni climatiche variabili esterne. Questo consente di caratterizzare il componente dal punto di vista per esempio della trasmittanza termica, ma non consente la valutazione del coefficiente di attenuazione e quindi l'effetto legato alla eventuale inerzia termica.

Fig. I.9. Hot-box per misure in regime stazionario: in alto per le misure su componenti opachi, in basso per le misure su componenti finestrati. Vitoria, Spain.

Le condizioni dinamiche infatti risultano essere di particolare interesse quando si vuole investigare su componenti che vengono messi in opera in regioni climatiche in cui la variabilità stagionale ovvero tra giorno e notte è di tale importanza da far sì che gli effetti inerziali risultano essere di particolare interesse. La variabile tempo, t, risulta in questi ultimi casi una variabile non trascurabile nella valutazione termo fisica di un componente edilizio. Basti pensare all'architettura del Mediterraneo tradizionalmente caratterizzata da elementi opachi particolarmente massivi con poche finestre. Le esigenze dell'architettura contemporanea, residenziale e non, sono spesso dettate da mode sulla trasparenza dell'involucro e dalla possibilità di controllo del clima interno totalmente a carico degli impianti, con consumi energetici esagerati e spesso poco giustificati. L'introduzione di nuovi componenti per l'involucro edilizio, quali anche le facciate ventilate, necessitano di studi approfonditi in opera per potere dall'esperienza diretta tradurre il comportamento termo-fisico di un componente in relazioni matematiche in grado di simularne poi il comportamento in qualsiasi contesto climatico e a scala di edificio.

Monitorare il comportamento di un nuovo componente edilizio risulta oggi di particolare interesse soprattutto nei casi in cui si ha a che fare con componenti di difficile simulazione energetica. Le simulazioni energetiche infatti vengono condotte su componenti dei quali si conosce il comportamento energetico e per i quali è possibile scrivere un algoritmo di calcolo che verosimilmente riproduca il comportamento del componente in opera. In passato numerosi progetti supportati economicamente dalla comunità europea hanno consentito l'indagine in regime dinamico su materiali da costruzione e dai risultati ottenuti sono stati realizzati software di simulazione energetica in regime dinamico che prendono in considerazione il calcolo agli elementi finiti ovvero ai volumi finiti.

Oggi vengono introdotti in edilizia nuovi materiali taluni caratterizzati dall'uso di nanotecnologie o nanogels, altri caratterizzati da proprietà che cambiano a seconda delle condizioni al contorno, altri il cui comportamento dipende principalmente dalla ventilazione all'interno degli strati del componente quali le pareti ventilate; oggi simulare il comportamento di uno dei suddetti risulta particolarmente difficile perché le simulazioni si effettuano su formule matematiche teoriche che necessitano oggi però di essere verificate.

Lo scopo della test cell è quindi quello di consentire il monitoraggio del comportamento termo-fisico di nuovi componenti edilizi, estrapolare il comportamento energetico in regime dinamico, trasferire queste informazioni su opportuni software di simulazione energetica per calibrare il software e renderlo in grado, con opportuni algoritmi, di simulare il comportamento energetico del componente edilizio oggetto di studio anche su altri orientamenti, a scala di edificio, su altre zone climatiche.

Da questo punto di vista quindi la test cell avrà un ruolo catalizzante consentendo ai produttori di nuovi componenti edilizi di testare i propri prodotti e metterli a punto con le specificità prefissate, prima ancora di brevettarli.

Fig.I.10
In sequenza muratura da testare in guarded hot box.
Credits. I. Flores

Spesso vengono condotti studi sul comportamento energetico di componenti edilizi messi in opera cercando di identificare il componente in opera in merito alle prestazioni energetiche specifiche: in realtà il componente edilizio avrà una sua caratterizzazione solo se monitorato e misurato in ambiente controllato, senza interferenza di altri componenti edilizi e senza l'influenza di fattori legati all'uso del sistema edilizio specifico.

I.1.2 IL QUADRO NORMATIVO EUROPEO DI RIFERIMENTO

Il tema energetico è oggi a livello mondiale un tema che suscita numerose discussioni e innumerevoli preoccupazioni sia ambientali che politiche ed è quindi indubbia la necessità di adottare strumenti normativi che obblighino al contenimento dei consumi energetici sia in ambito industriale che dei trasporti sia nell'ambito edile.

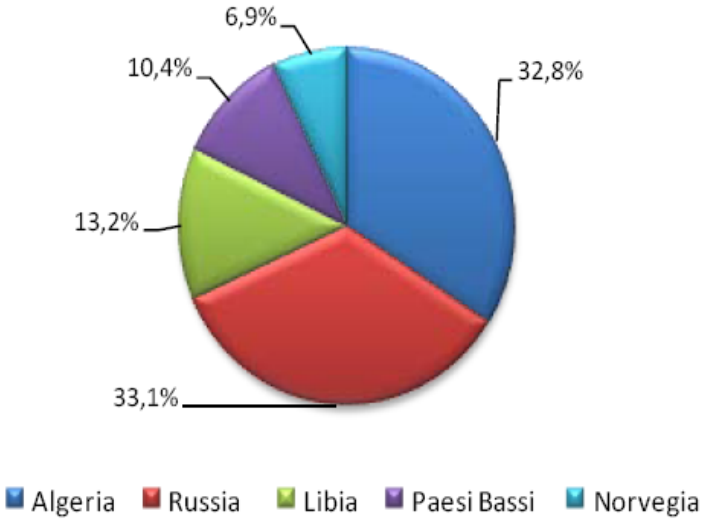


Fig. I.11. Importazioni lorde di gas naturale per paese di provenienza. Valori %. Anno 2008. Fonte AEEG 2010

La gestione del fabbisogno energetico è un importante strumento che può consentire all'Unione Europea di influenzare il mercato mondiale dell'energia e quindi la sicurezza dell'approvvigionamento energetico nel medio e lungo termine.

A livello Europeo numerosi infatti i progetti promossi dalla Commissione in ambito di contenimento energetico[12] in particolare nel settore delle nuove

[12] Sono in corso di istituzione o di adeguamento strumenti finanziari dell'Unione e altri provvedimenti con l'obiettivo di incentivare misure legate all'efficienza energetica. Tali

costruzioni e con particolare riferimento ai programmi educativi sul risparmio energetico negli edifici e ai progetti mirati allo studio e alla produzione di nuovi componenti edilizi che consentano una buona performance energetica dell'involucro.

In Europa, nell'ultimo decennio, gli stati membri sono stati invitati ad adottare strumenti efficienti per il contenimento dei consumi energetici in ambito edilizio proprio perché si tratta di un comparto in cui la riduzione dei consumi energetici è possibile ed è quindi importante che oggi tutti i progettisti d'Europa si confrontino con il tema energetico già in fase preliminare di progettazione.

I progettisti devono però prima di tutto prendere consapevolezza del problema energetico ed essere poi in grado di analizzare un edificio dal punto di vista della performance energetica, essere in grado quindi di esprimere un giudizio consapevole sulle caratteristiche energetiche sia dell'involucro sia

---

strumenti finanziari a livello dell'Unione comprendono, tra l'altro, il regolamento (CE) n. 1080/2006 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 5 luglio 2006, relativo al Fondo europeo di sviluppo regionale, modificato per consentire maggiori investimenti a favore dell'efficienza energetica nell'edilizia abitativa; il partenariato pubblico-privato su un'iniziativa europea per «edifici efficienti sul piano energetico», volta a promuovere le tecnologie verdi e lo sviluppo di sistemi e materiali ad alta efficienza energetica in edifici nuovi o ristrutturati; l'iniziativa CE-Banca europea per gli investimenti (BEI) per il finanziamento dell'energia sostenibile nell'Unione europea, volta a consentire, tra l'altro, investimenti per l'efficienza energetica, e il «fondo Marguerite» guidato dalla BEI: fondo europeo 2020 per l'energia, il cambiamento climatico e le infrastrutture; la direttiva 2009/47/CE del Consiglio, del 5 maggio 2009, recante modifica della direttiva 2006/112/CE per quanto riguarda le aliquote ridotte dell'imposta sul valore aggiunto; lo strumento dei fondi strutturali e di coesione Jeremie (risorse europee congiunte per le micro, le piccole e le medie imprese); il programma quadro per la competitività e l'innovazione, comprendente il programma «Energia intelligente per l'Europa II» incentrato specificamente sull'eliminazione di barriere di mercato connesse all'efficienza energetica e all'energia da fonti rinnovabili mediante ricorso, per esempio, allo strumento di assistenza tecnica ELENA (assistenza energetica europea a livello locale); il Patto dei sindaci; il programma per l'innovazione e l'imprenditorialità; il programma 2010 di sostegno alle politiche in materia di TIC, il settimo programma quadro di ricerca. La Banca europea per la ricostruzione e lo sviluppo fornisce altresì finanziamenti allo scopo di incentivare misure legate all'efficienza energetica.

dell'impianto ad esso connesso per studiare soluzioni possibilmente più appropriate a seconda del contesto territoriale in cui si progetta.

La presa di coscienza da parte dei progettisti di oggi è però ancora tutta da strutturare perché nonostante a livello normativo siano entrate in giuoco delle prescrizioni importanti sul comportamento energetico dei componenti edilizi, tali normative ad oggi in particolare nel Sud del Mediterraneo sono ancora o disattese o in attesa di decreti attuativi.

Dal punto di vista delle politiche energetiche taluni stati cercano soluzioni mirando all'utilizzo di fonti di energia rinnovabile, altri ricorrendo all'energia nucleare. In qualsiasi modo, si cercano soluzioni alternative anche perché la forte dipendenza da stati che detengono il potere energetico (in termini di materia prima) è oggi un tema di ampia attualità e risulta una emergenza che coinvolge l'intero pianeta.

Dal punto di vista dei consumi energetici, la situazione in Italia è monitorata dall'ENEA. In particolare sul Rapporto Ambiente 2010, il documento individua le priorità di intervento per l'Europa nei prossimi dieci anni: la costituzione di un sistema energetico più efficiente, un mercato integrato a prezzi competitivi e forniture sicure, il consolidamento della leadership tecnologica e l'avvio di negoziati con i partner internazionali.

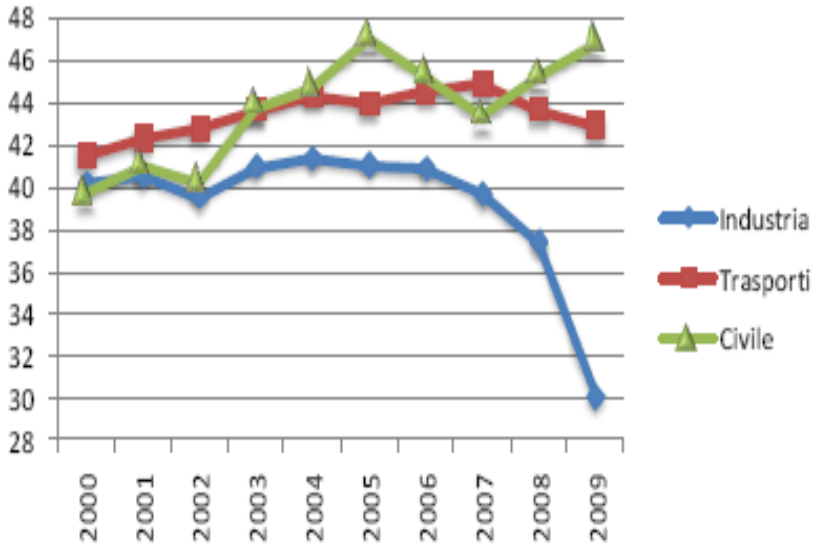


Fig. I.16. Consumi finali di energia per settore in Italia. Anni 2000 – 2009 (Mtep)
Fonte: elaborazione ENEA su dati MSE

Uno sguardo ai consumi energetici nei settori di uso finale dell' energia evidenzia:

Fig. I. 12. Serbatoi geotermici naturali

Fig. I. 13. pale eoliche

Fig. I. 14. impianti fotovoltaici

Fig. I. 15. Impianto fotovoltaico a Sesto Fiorentino. Credits. G. Alcamo. Secondo gli esperti di SINTEF, University of Bergen, Norwegian University of Science and Tecnology e NGU, l'energia geotermica eolica e fotovoltaica ha tutti i requisiti per soddisfare il fabbisogno energetico dell'intero globo.

- una flessione ridotta ma significativa dei consumi del settore trasporti (-1,8%);
- una variazione di segno inverso nel settore Civile (+3,5%) collegata alla variabilità climatica (gas +5% ed energia elettrica a +3%, rinnovabili a +9%);
- la rilevante contrazione dei consumi dell'industria (-20%) in accordo con la forte flessione della produzione industriale(-13,3%).

Un'analisi sintetica dei consumi finali per fonte e per settore mostra come le variazioni più rilevanti riguardino in particolare:

- la contrazione dei consumi di energia elettrica e combustibili solidi nell'industria dovuti principalmente alla crisi che il settore industriale sta attraversando;

- il trend di riduzione dei consumi di prodotti petroliferi nei trasporti;

- l'incremento dei consumi di gas nel settore civile.

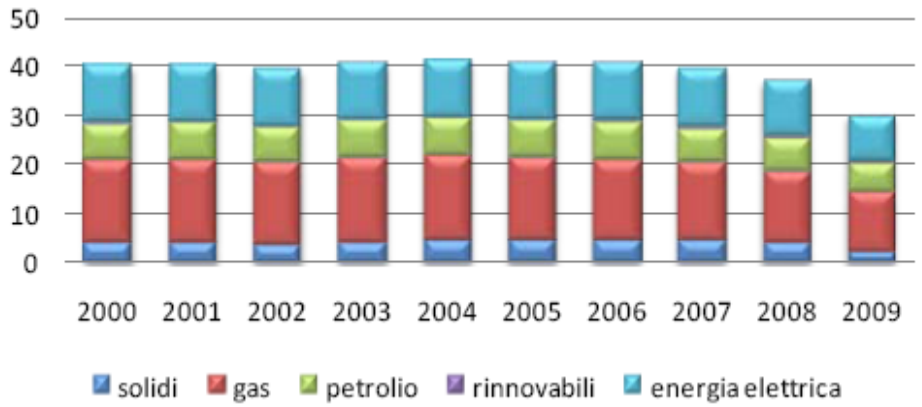


Fig.I. 17. Italia, settore Industria. *Consumi finali di energia per fonte e per settore. Anni 2000 – 2009 (Mtep). Elaborazione su dati MSE.*

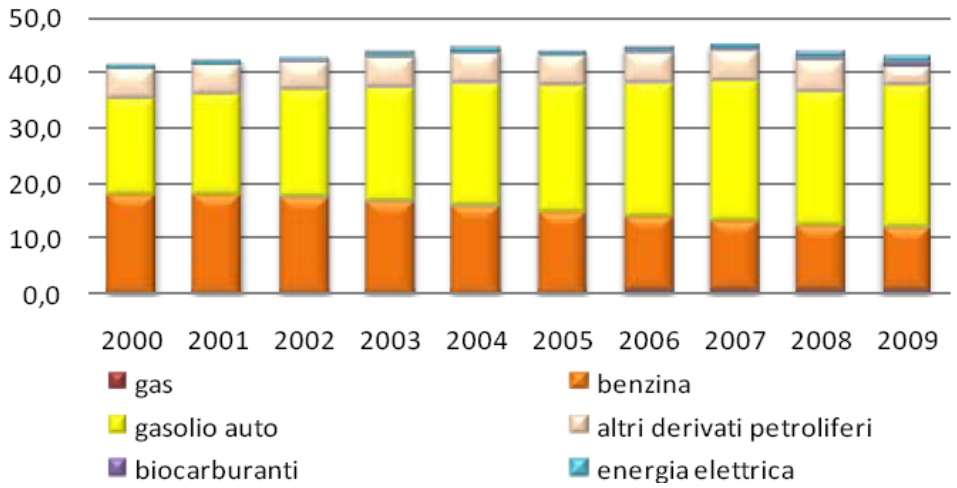


Fig. I.18. Italia, settore Trasporti*. Consumi finali di energia per fonte e per settore. Anni 2000 – 2009 (Mtep). Elaborazione su dati MSE.*

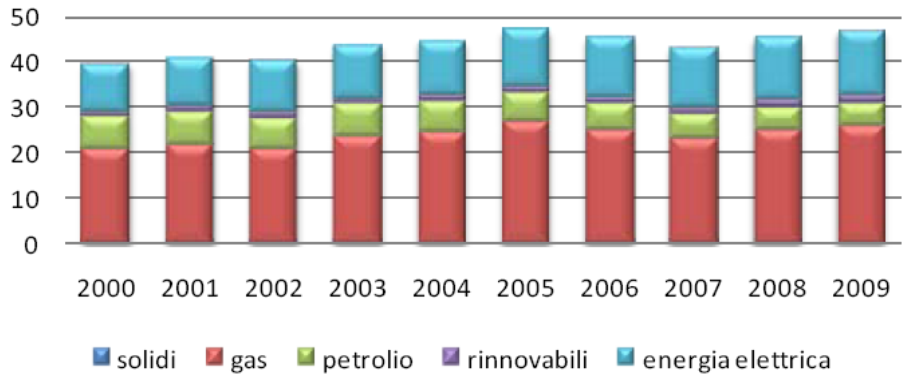
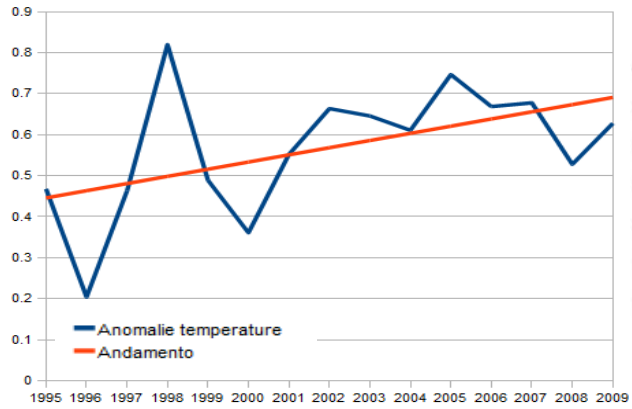


***Fig. I.19. Italia, settore Civile**. Consumi finali di energia per fonte e per settore. Anni 2000 – 2009 (Mtep). Elaborazione su dati MSE.*

Il riscaldamento climatico globale, negli ultimi anni, è tendenzialmente salito senza mostrare segni di rallentamento, evidenziando al contrario una rapida accelerazione rilevata da numerosi monitoraggi e studi[13].



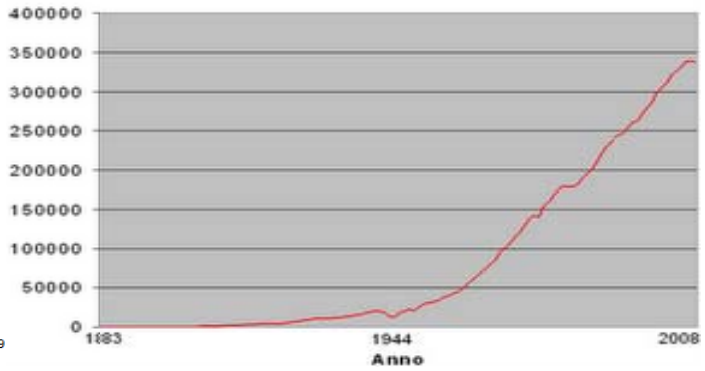


Fig. I.20. A sinistra: in rosso l'andamento delle temperature e in blu le variazioni anomale registrate.

Fig. I.21. Sulla destra, relativo aumento di richiesta di energia.

Gli edifici sono responsabili del 40% del consumo globale di energia nell'Unione Europea[14].

[13] The Copenhaghen diagnosis: updating the world on the latest Climate Science. I. Allison, N.L. Bindoff, etc. o vedi anche gli studi condotti dalla The University of New South Wales Climate Change Research Centre, Sidney, Australia.

[14] Cfr. Direttiva 2002/91/CE del Parlamento e del Consiglio Europeo

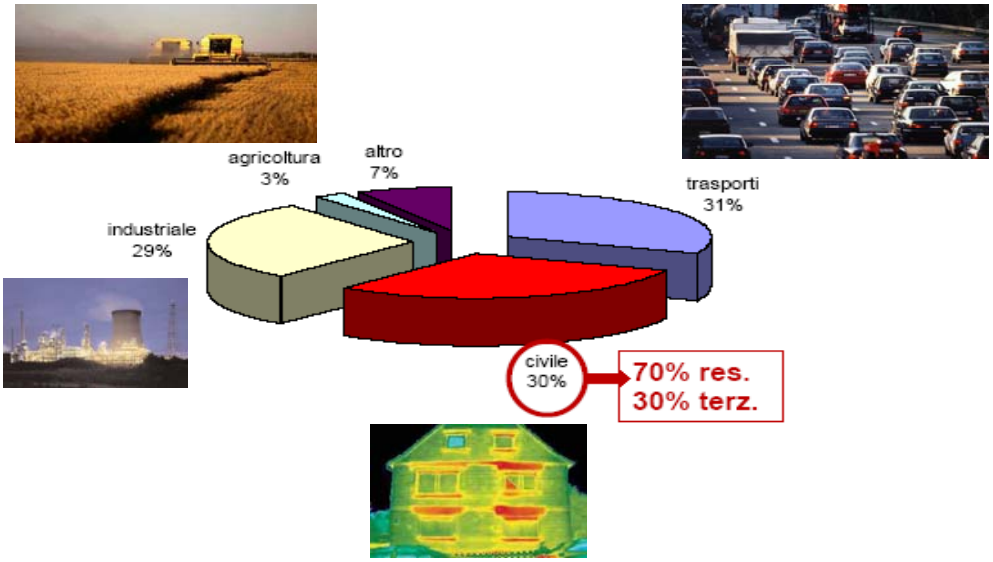


Fig. I.22. Consumi energetici per macrosettori in Italia. Elaborazione dati da fonti Enea, 2004

Il settore è in espansione, e ciò è destinato ad aumentarne il consumo energetico. Pertanto, la riduzione del consumo energetico e l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili nel settore dell'edilizia costituiscono misure importanti necessarie per ridurre la dipendenza energetica dell'Unione e le emissioni di gas a effetto serra.

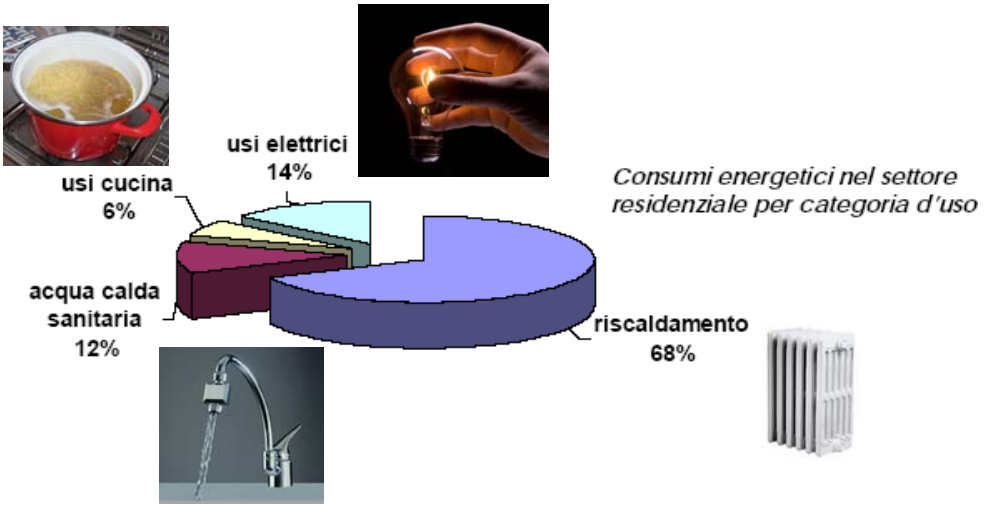


Fig. I.23. Consumi energetici nel settore residenziale in Italia: il riscaldamento è responsabile del 68%, a seguire i consumi elettrici 14%, acqua calda sanitaria 12%, usi di cucina 6%. Elaborata su dati ENEA 2004.

Per avere un confronto con altri stati del mondo, negli USA, gli edifici rappresentano circa il 40% dell'intero consumo energetico. In particolare gli edifici residenziali rappresentano il 22% dell'intero consumo energetico degli USA. Gli edifici commerciali rappresentano il 18% dell'intero consumo energetico. In

dettaglio se analizziamo meglio i dati ecco come l'energia viene impiegata negli edifici:

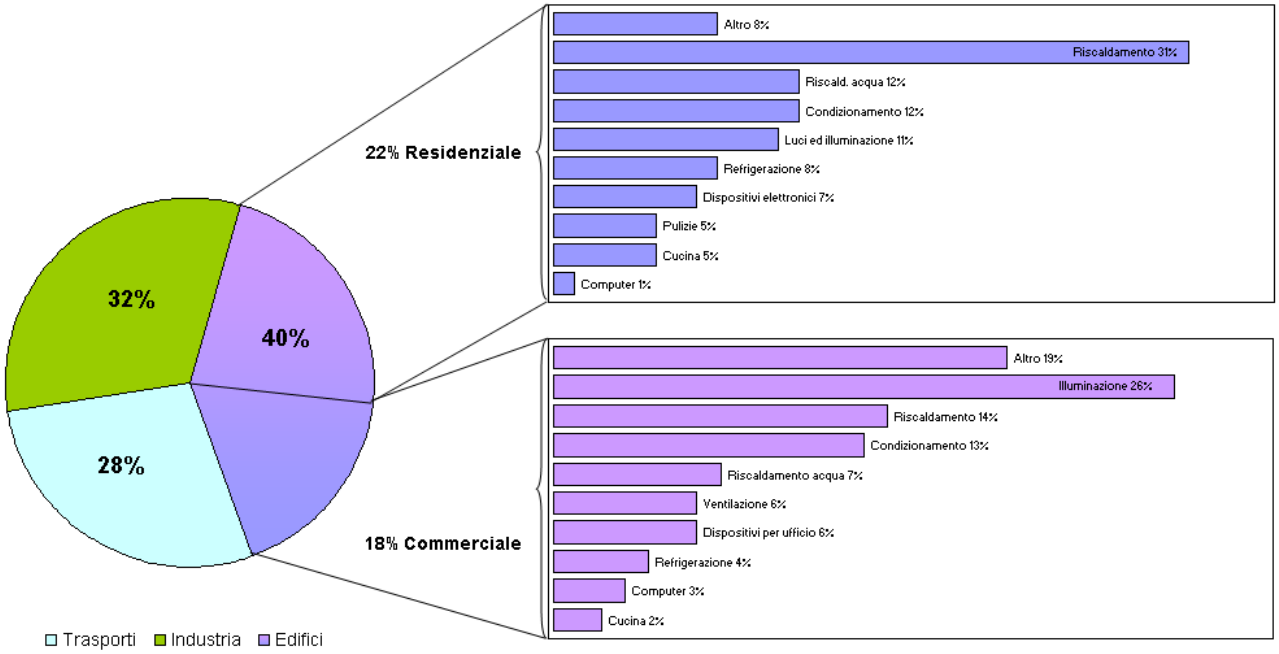


Fig. I.24. Consumi energetici in USA con distinta dei consumi in edifici residenziali e in edifici commerciali.

La situazione dei consumi a livello mondiale è pertanto preoccupante. Unitamente ad un maggior utilizzo di energia da fonti rinnovabili, le misure adottate per ridurre il consumo di energia nell'Unione consentirebbero a quest'ultima di conformarsi al protocollo di Kyoto allegato alla convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) e di rispettare sia l'impegno a lungo termine di mantenere l'aumento della temperatura globale al di sotto di 2 °C, sia l'impegno di ridurre entro il 2020 le emissioni globali di gas a effetto serra di almeno il 20% al di sotto dei livelli del 1990 e del 30% qualora venga raggiunto un accordo internazionale.

La riduzione del consumo energetico e il maggior utilizzo di energia da fonti rinnovabili rappresentano inoltre strumenti importanti per promuovere la sicurezza dell'approvvigionamento energetico e gli sviluppi tecnologici e per creare posti di lavoro e sviluppo regionale, in particolare nelle zone rurali[15].

[15] Cfr. Direttiva Europea 2010/30/UE

I.1.2.1 ENERGY PERFORMANCE OF BUILDING DIRECTIVES 2002/91/CE

La norma europea in ambito di contenimento dei consumi energetici nel settore edile-civile e quindi anche il decreto legislativo italiano chiedono ai progettisti il controllo del surriscaldamento dell'involucro facendo attenzione all'orientamento, alle schermature solari, alla massa superficiale, facendo quindi riferimento all'inerzia termica delle costruzioni laddove è necessario.

Le differenze climatiche in Italia sono infatti notevoli e mentre nel nord dell'Italia è prevalente il problema del controllo energetico invernale, in Sud Italia è invece prevalente il tema del surriscaldamento estivo e ancora nel centro Italia le problematiche invernali ed estive coesistono e sono quindi da attenzionare e risolvere entrambi gli aspetti.

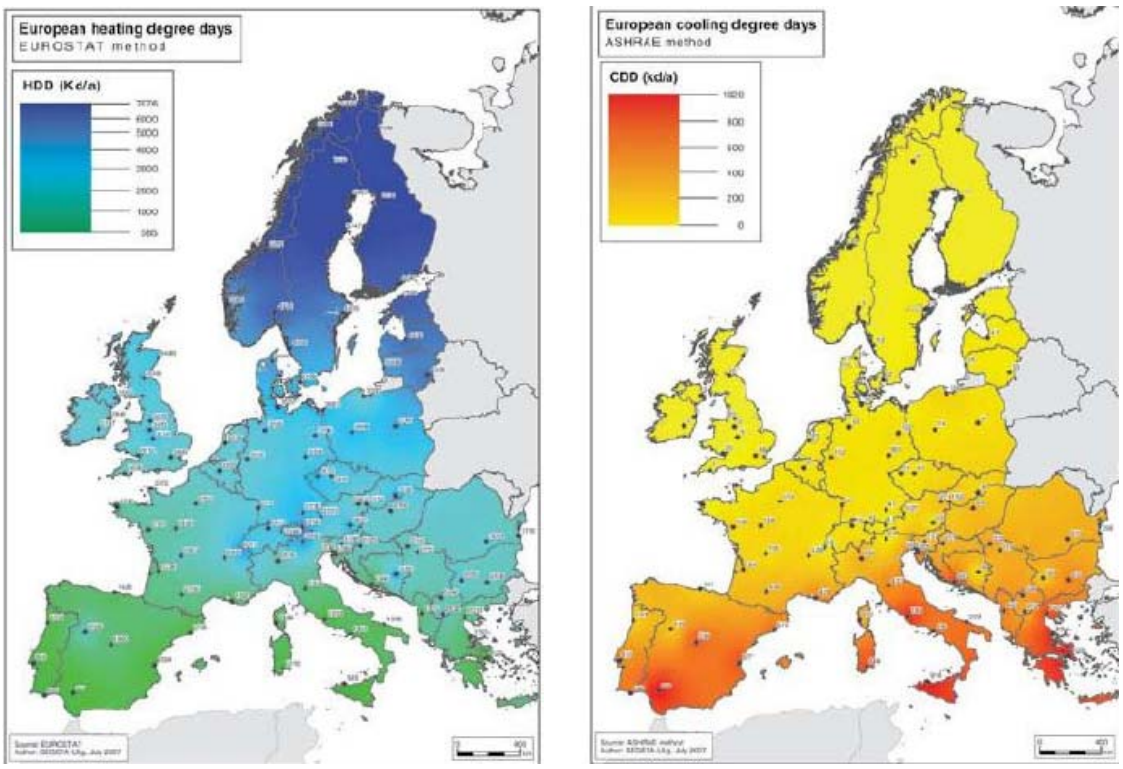


Fig. I.25. Mappe dei gradi giorno invernali (a sinistra – FONTE EUROSTAT) ed estivi (a destra - Fonte: ASHREE)

L'Europa, dal punto di vista normativo si è dotata di due importanti direttive: la Energy Performance of Buildings 2002/91/CE e la più recente 2010/30/UE che chiedono agli stati membri di adottare appropriate normative nazionali mirate al contenimento energetico degli edifici di nuova costruzioni e

nelle ristrutturazioni importanti adottando algoritmi di calcolo che tengano conto delle peculiarità climatiche di ciascuno stato europeo.

Ciò ha consentito all'Italia di emanare il decreto legislativo 192/2005 prima e le correzioni con decreto legislativo 311/06 che oltre al consentimento dei consumi energetici invernali prevede il controllo dell'edificio anche durante la stagione estiva per ridurre i consumi elettrici in estate e migliorare il comfort indoor degli occupanti.

Tali decreti però sono ad oggi solo parzialmente operativi visto che i decreti attuativi che trattano la parte energetica estiva sono stati emanati ma non sono ancora stati recepiti.

L'obiettivo della direttiva europea è promuovere il miglioramento del rendimento energetico degli edifici nella Comunità Europea tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne.

Le disposizioni in essa contenute riguardano:

- Adozione di un quadro generale e una metodologia per il calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici.
- L'applicazione di requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici di nuova costruzione ed esistenti di grande metratura sottoposti a ristrutturazione.
- La certificazione energetica degli edifici.
- L'ispezione periodica di caldaie ed impianti di condizionamento d'aria negli edifici.

L'energia impiegata nel settore residenziale e terziario, composto per la maggior parte di edifici, rappresenta oltre il 40% del consumo finale di energia della Comunità Europea. Essendo questo un settore in espansione, i suoi consumi di energia e quindi le sue emissioni di biossido di carbonio sono destinati ad aumentare.[16]

Negli ultimi anni si osserva una crescente proliferazione degli impianti di condizionamento di aria nei paesi del sud dell'Europa e ciò pone gravi problemi di carico massimo che comportano un aumento del costo dell'energia elettrica e uno squilibrio del bilancio energetico di tali paesi. La norma suggerisce quindi di accordare priorità alle strategie che contribuiscono a migliorare il rendimento

[16] Cfr. Direttiva 2002/91/CE del Parlamento e del Consiglio Europeo

termico degli edifici nel periodo estivo sviluppando anche concretamente tecniche di raffrescamento passivo mirate a migliorare le condizioni climatiche interne e il microclima intorno agli edifici.[17]

Fig.I. 26. Immagini termografiche per la diagnosi energetica di edifici scolastici. Credits: Arch. R. Romano

La certificazione energetica attesta la prestazione o rendimento energetico di un edificio, cioè il fabbisogno annuo di energia necessaria per soddisfare i servizi di climatizzazione invernale ed estiva, riscaldamento dell'acqua per uso domestico, ventilazione e illuminazione secondo utilizzi standard, dipendente dalle caratteristiche di localizzazione, posizione, isolamento termico e dotazione impiantistica dell'edificio stesso. La certificazione energetica reca anche alcune raccomandazioni per migliorare tale rendimento.

Il rendimento energetico di un edificio è espresso da un indicatore fondamentale chiamato indice di prestazione energetica annua per la climatizzazione invernale (misurato in kWh/m² oppure in kWh/m³), che consente una classificazione di merito degli edifici. Attraverso il confronto con le prestazioni energetiche di un edificio efficiente (classi A+, A, B) e grazie alle informazioni riportate sull'attestato di certificazione energetica (ACE), l'utente è in grado di compiere una scelta più consapevole.

La certificazione energetica è stata introdotta dalla Direttiva Comunitaria 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia come strumento di informazione e trasparenza del mercato immobiliare, con l'obiettivo di orientare costruttori, proprietari e inquilini a prediligere edifici caratterizzati da standard elevati di efficienza energetica, in vista dei connessi vantaggi economici e ambientali. La Direttiva comunitaria è stata recepita nell'ordinamento nazionale dal d.lgs. 192/2005 e successive modifiche ed integrazioni, che ha dettato regole e criteri generali in materia. Successivamente, in data 26 giugno 2009, con un decreto del Ministro dello Sviluppo Economico, sono state approvate le Linee guida nazionali sulla certificazione energetica.

Con l'emanazione delle Linee Guida e del Decreto Attuativo 59/2009 l'Italia ha colmato la lacuna esistente rispetto alle indicazioni della Normativa Europea sulla definizione di una metodologia di calcolo che permettesse di classificare l'edificio rispetto ai consumi energetici di tutto l'arco dell'anno (invernali ed estivi) e desse precise indicazioni in merito alla metodologia di calcolo ed al contenuto del Certificato Energetico.

[17] Cfr. Direttiva 2002/91/CE del Parlamento e del Consiglio Europeo

Le Linee Guida in particolare definiscono il complesso di operazioni svolte dai Soggetti certificatori al fine di operare una corretta certificazione energetica degli edifici.

Il Certificatore energetico deve in prima istanza farsi carico dell'esecuzione di una diagnosi, o di una verifica di progetto, finalizzata alla determinazione della prestazione energetica dell'immobile e all'individuazione degli interventi di riqualificazione energetica che risultano economicamente convenienti, attraverso:

a) il reperimento dei dati di ingresso, relativamente alle caratteristiche climatiche della località, alle caratteristiche dell'utenza, all'uso energetico dell'edificio e alle specifiche caratteristiche dell'edificio e degli impianti, avvalendosi, in primo luogo dell'attestato di qualificazione energetica;

b) la determinazione della prestazione energetica mediante applicazione di appropriata metodologia;

c) l'individuazione delle opportunità di intervento per il miglioramento della prestazione energetica in relazione alle soluzioni tecniche proponibili, ai rapporti costi-benefici e ai tempi di ritorno degli investimenti necessari a realizzarle.

Successivamente è chiamato ad operare la classificazione dell'edificio in funzione degli indici di prestazione e il suo confronto con i limiti di legge e le potenzialità di miglioramento in relazione agli interventi di riqualificazione individuati, rilasciando, infine, l'attestato di certificazione energetica.

Nel caso in cui il Certificatore Energetico sia chiamato a certificare un edificio di nuova costruzione (nell'ambito della sua attività di diagnosi, verifica o controllo), dovrà procedere alle ispezioni e al collaudo energetico delle opere, avvalendosi, ove necessario di apposite tecniche strumentali. Sarà inoltre cura del direttore dei lavori segnalare al Soggetto certificatore le varie fasi della costruzione dell'edificio e degli impianti, rilevanti ai fini delle prestazioni energetiche dell'edificio.

Nel caso di nuovi edifici e di nuovi prodotti e soluzioni tecnologiche innovative di involucro, opache e trasparenti, si pone quindi il problema della

Direttiva 2002/91/CE

quantificazione dei benefici del nuovo componente, sia esso una facciata ventilata, ovvero materiali a cambiamento di fase etc.

Le previsioni sul comportamento energetico possono essere simulate tramite software di simulazione in regime dinamico, ma ancor prima è necessario rappresentare il comportamento dinamico del componente tramite opportuni codici di calcolo.

Risulta pertanto necessario investigare sul comportamento dei singoli componenti prima ancora della loro messa in opera, in modo da caratterizzarli dal punto di vista della performance energetica.

Fig. I.27. Uffici del Comune, Londra

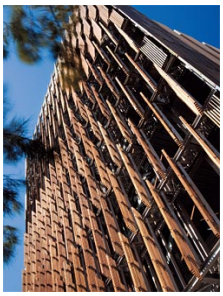


Fig. I.28. Uffici, Melbourne

Fig. I.29. Capricorn Haus, Düsseldorf

Fig. I.30. Pareti verticali a verde, Londra.

I.1.2.2 LA DIRETTIVA EUROPEA 2010/31/UE

La direttiva 2002/91/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002, sul rendimento energetico nell'edilizia[18], è stata recentemente modificata[19].

Il Consiglio europeo del marzo 2007 ha sottolineato la necessità di aumentare l'efficienza energetica nell'Unione per conseguire l'obiettivo di ridurre del 20% il consumo energetico dell'Unione entro il 2020 e ha chiesto che venga data rapida e piena attuazione alle priorità definite nella comunicazione della Commissione intitolata «Piano d'azione per l'efficienza energetica: Concretizzare le potenzialità». Tale piano d'azione ha identificato le significative potenzialità di risparmio energetico efficaci in termini di costi nel settore dell'edilizia.

Nella risoluzione del 31 gennaio 2008, il Parlamento europeo ha invitato a rafforzare le disposizioni della direttiva 2002/91/CE e in varie occasioni, da ultimo

[18] GU L 1 del 4.1.2003, pag. 65.

[19] Cfr. allegato IV, parte A.

nella risoluzione del 3 febbraio 2009 sul secondo riesame strategico della politica energetica, ha chiesto di rendere vincolante l'obiettivo di migliorare l'efficienza energetica del 20% entro il 2020.

Inoltre, la decisione n. 406/2009/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 aprile 2009, concernente gli sforzi degli Stati membri per ridurre le emissioni dei gas a effetto serra al fine di adempiere agli impegni della Comunità in materia di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra entro il 2020[20], fissa obiettivi nazionali vincolanti di riduzione delle emissioni di CO^2 per i quali l'efficienza energetica nel settore edilizio rivestirà importanza cruciale e la direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 aprile 2009, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili[21], prevede la promozione dell'efficienza energetica nel quadro dell'obiettivo vincolante di fare in modo che l'energia da fonti rinnovabili copra il 20 % del consumo energetico totale dell'Unione entro il 2020.

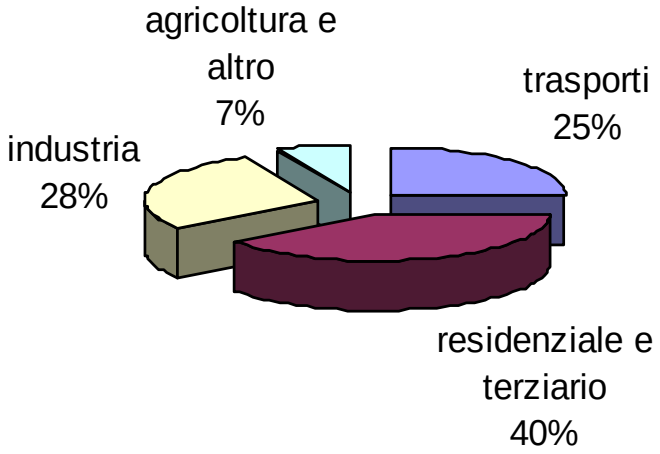


Fig. I.31 Emissioni di CO2 in Europa

La nuova Direttiva 2010/31/CE sulla prestazione energetica nell'edilizia è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale Europea del 18 giugno 2010; in vigore dallo scorso 9 luglio 2010, abroga, con effetto dal 1° febbraio 2012, la **Direttiva 2002/91/CE**.

La Direttiva, come specifica l'art.1, **"promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici all'interno dell'Unione, tenendo conto delle**

[20] GU L 140 del 5.6.2009, pag. 136.

[21] GU L 140 del 5.6.2009, pag. 16.

condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni relative al clima degli ambienti interni e all'efficacia sotto il profilo dei costi".

In particolare la nuova normativa europea fornisce disposizioni su:

- metodologia per il calcolo della prestazione energetica integrata degli edifici e delle unità immobiliari
- applicazione di requisiti minimi alla prestazione energetica di edifici e unità immobiliari
- certificazione energetica degli edifici o delle unità immobiliari
- sistemi di controllo indipendenti per gli attestati di prestazione energetica e i rapporti di ispezione
- piani nazionali destinati ad aumentare il numero di "**edifici a energia quasi zero**"
- ispezione periodica degli impianti di riscaldamento e condizionamento d'aria negli edifici

I paesi membri dell'Unione Europea devono definire una metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici secondo i criteri contenuti all'allegato I **"Quadro comune generale per il calcolo della prestazione energetica degli edifici"**.

La direttiva prevede, inoltre, che per contenere il fabbisogno energetico, gli Stati membri stabiliscano requisiti degli impianti tecnici per l'edilizia relativamente:

- al rendimento energetico globale
- alla corretta installazione e alle dimensioni
- alla regolazione e al controllo adeguati

Tali requisiti, stabiliti per il caso di nuova installazione, sostituzione o miglioramento di sistemi tecnici per l'edilizia, si applicano almeno per i seguenti impianti:

a. impianti di riscaldamento;
b. impianti di produzione di acqua calda;
c. impianti di condizionamento d'aria;
d. grandi impianti di ventilazione.

Fig. I.32

Fig. I.33

Fig. I.34

Fig.I.35
Edifici a basso consumo energetico. Dall'alto: Figg. 31 e 32 BEDZed; Figg. 33 e 34 Straw Bale House. Londra, UK. Credits: G. Alcamo

Entro il 31 dicembre 2020 è previsto, infine, che tutti gli edifici di nuova costruzione siano «edifici a energia quasi zero». Un «**edificio a energia quasi zero**» è un edificio ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno energetico (molto basso o quasi nullo) dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili.

La prestazione energetica di un edificio è espressa in modo chiaro e comprende anche un indicatore di prestazione energetica e un indicatore numerico del consumo di energia primaria, basato su fattori di energia primaria per vettore energetico, eventualmente basati su medie ponderate annuali nazionali o regionali o un valore specifico per la produzione in loco.

La metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici dovrebbe tener conto delle norme europee ed essere coerente con la pertinente legislazione dell'Unione, compresa la direttiva 2009/28/CE.

Ai fini della determinazione della metodologia di calcolo si deve tener conto almeno delle seguenti caratteristiche termiche effettive dell'edificio:

- **capacità termica;**
- **isolamento termico;**
- **riscaldamento passivo;**
- **elementi di rinfrescamento;**
- **ponti termici;**

Nello scenario attuale di una Europa che sta lavorando molto per la promozione di nuovi soluzioni di involucro con alta efficienza energetica, essere pronti a testare tali materiali non solo in condizioni di regime stazionario che ne consentirebbero solo ed esclusivamente di valutarne il comportamento se sottoposto a specifiche condizioni, ma in regime dinamico.

Fig.I.36. Esempio di edificio ad energia quasi zero: the Oxford Eco-house. Oxford, UK. Credits: S. Roaf.

I.1.2.3 NORMATIVE CEN EUROPEE SUI PRODOTTI

In Italia l'attività edilizia rappresenta uno dei settori di maggiore impatto ambientale ed energetico, e pertanto si ritiene indispensabile promuovere la sostenibilità ambientale nella progettazione e nella riqualificazione degli edifici applicando strategie di valorizzazione delle buone pratiche del costruire.

Si deve quindi intraprendere un'azione mirata ad una nuova cultura ecologica del costruire, utilizzando principi costruttivi di sostenibilità, adottando

criteri per il controllo dei consumi energetici ed utilizzando materiali e tecniche meno inquinanti.

Pertanto l'esigenza attuale è di progettare, realizzare e ristrutturare edifici che abbiano nel loro intero ciclo di vita un basso impatto ambientale e che adottino fin dalla progettazione un controllo attento e costante delle ricadute sull'ambiente derivate dalle fasi di progetto, di costruzione, di gestione ed uso, fino alla fase finale, quella dello scenario di demolizione/smaltimento.

A tutto ciò è associato il comportamento energetico del componente e nel caso di nuovi componenti edilizi che adottano materiali a cambiamento di fase, vacuum insulation panels, ma anche pareti ventilate o sistemi finestrati trattati con aerogels o nanogels, è sempre più necessaria ed emergente la valutazione del loro comportamento in regime dinamico. Procedure e standards sulle prove da condurre in sito devono essere integrate ed aggiornate, pertanto la realizzazione di una test cell ben si inquadra nelle esigenze europee oggi di misurare e validare prove, procedure e strumenti di simulazione tramite *in situ measurements*.

Fig. I.37. Prove su test cell di schermature esterne su facciata esposta a sud. Credits: PASSLINK

La Direttiva prodotti da costruzione, **Direttiva 89/106/CEE** del Consiglio, del 21 dicembre 1988, CPD, si applica ai prodotti da costruzione definiti quali prodotti destinati ad essere incorporati permanentemente in opere di costruzione.

Tale direttiva richiede la conformità ai requisiti essenziali: i prodotti da costruzione possono essere immessi sul mercato soltanto se idonei all'uso previsto.

A tale riguardo, essi devono consentire la costruzione di opere che soddisfano, per una durata di vita economicamente accettabile, i requisiti essenziali in materia di resistenza meccanica e di stabilità, di sicurezza in caso d'incendio, d'igiene, di sanità e di ambiente, di sicurezza di utilizzazione, di protezione dal rumore, di economia di energia e di isolamento termico previsti all'allegato I della direttiva.

Nel settore delle costruzioni in Europa, esistono molte Norme di prodotto Nazionali, approvazioni tecniche ed altre specificazioni tecniche e disposizioni. A fronte della loro diversità, esse ostacolano la libera circolazione dei prodotti da costruzione all'interno dell'Unione Europea. Lo scopo della CPD è quello di eliminare queste barriere tecniche al commercio, in modo che ai prodotti da

costruzione siano consentiti una libera circolazione ed un libero utilizzo per l'impiego previsto all'interno dell'UE.

In particolare le CEN/TC 89 sono relative alla performance termica degli edifici e dei singoli componenti. Di seguito vengono elencati gli scopi principali:

European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung

- standardizzazione nell'ambito della performance energetica degli edifici, includendo in particolare il trasferimento di energia attraverso i componenti dell'edificio e isolamento termico degli edifici, con riferimento a :
    - proprietà termiche e requisiti
    - metodi di calcolo e test
    - input data, includendo I dati climatici;
    - effetto del *moisture*.

I lavori di maggior rilievo sono iniziati in Febbraio del 1988 per la preparazione di standards relativi alla Construction Products Directive (CPD).

Obiettivo principale era la definizione di un metodo per individuare il consumo totale di un edificio utilizzando la performance energetica di ciascun componente edilizio.

Le CEN/TC 89 sono quindi degli standards che nascono a supporto della Energy Performance of Building Directives. In particolare, sono stati predisposti i seguenti cinque standards:

- TC 89: Thermal properties of buildings and building components
- TC 156: Ventilation for buildings
- TC 169: Light and lighting
- TC 228: Heating systems in buildings
- TC 247: Building automation, controls and building management

Attualmente le CEN/TC 89 sono in revisione con particolare attenzione ai metodi di test sui componenti, in modo da fornire una ulteriore adeguata revisione della EPBD e degli standards ad essa associati.

CEN/TC 89 è in stretta relazione con la ISO/TC 163 (Thermal performance and energy use in the built environment) e delinea soluzioni per le seguenti problematiche:

- WG 1 : Ponti termici[22]
- WG 2 : Trasmittanza termica[23]
- WG 3 : Thermal insulation of equipment in buildings[24]
- WG 4 : Calculation of energy use[25]
- WG 5 : Heat transfer via the ground[26]
- WG 6 : Non-steady state behaviour[27]
- WG 7 : Thermal properties of windows and doors[28]
- WG 8 : Thermal test methods[29]
- WG 9 : Climatic data[30]
- WG 10 : Moisture[31]
- WG 11 : Thermal testing of materials

---

[22] EN ISO 10211 – detailed calculations for thermal bridges; EN ISO 14683 – principles and default values.

[23] EN ISO 10456 – Definition of declared and design values of thermal properties; EN ISO 6946 – U-values for walls and roofs; EN 12524 – Tabulated design values of thermal Properties.

[24] EN ISO 12241 – Calculation rules; EN ISO 23993 – Design thermal conductivity.

[25] EN 832 – Calculation of energy use for residential buildings; EN ISO 13790 – Calculation of energy use (all building types); EN ISO 13789 – Heat transmission coefficient; EN ISO 13786 – Dynamic characteristics; EN 15217 – Methods of expressing energy Performance

[26] EN ISO 13370 – Heat transfer via the ground; EN ISO 13793 – Thermal design of foundations to avoid frost heave.

[27] EN ISO 13791 – Calculation of summertime temperatures in buildings (simplified); EN ISO 13792 – Calculation of summertime temperatures in buildings (detailed); EN 15255 and 15265 – Procedures for validation of simulation software.

[28] EN ISO 10077-1 : U-values for windows and doors – simplified; EN ISO 10077-2 : U-values for window frames – detailed; EN 13663-1 and -2 : Solar and light transmission with shading devices; EN 13947 : Thermal transmittance of curtain walling.

[29] Several standards for the measurement of thermal properties (plate methods for small samples, hot box methods for whole components)

[30] EN ISO 15927 – standard in several parts covering calculation and presentation of climatic data for energy calculations

[31] EN ISO 13788 : Calculation of surface and interstitial condensation. Various standards for determination of moisture properties of materials – water vapour transmission, water absorption, moisture content, etc; Resistance to driving rain: walls (published: EN 12865) and roofs (in preparation)

  - Measurement of thermal conductivity at elevated temperatures
  - Thermal resistance of thin masonry specimens
- WG 12 : Reflective insulation[32]

Fig. I.38 Facciate dinamiche: Uffici del Comune, Melbourne. http://www.melbourne.vic.gov.au

Fig. I.39 Facciate dinamiche: componenti di facciata opachi e trasparenti. Architect: Giselbrecht + Partner ZT GmbH. Kiefer Technic Bad Gleichenberg. Credis: Paul Ott

I.1.2.4 TEST-CELL E RELAZIONI CON IL QUADRO NORMATIVO EUROPEO

Le direttive Europee impongono un controllo del fabbisogno energetico dell'edificio nel suo complesso chiedendo ad ogni stato membro di fissare dei limiti sui consumi energetici di un edificio e di controllare i limiti anche in termini di performance energetica di ciascun componente edilizio.

[32] Working on methods for the determination of thermal properties of reflective insulation products (multifoils, foil-faced insulation, bubble foils, etc)

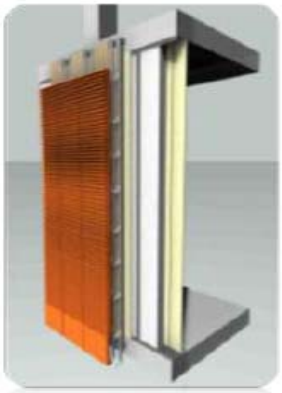


Fig. I.40
Componente opaco innovativo di facciata.
Tesi DdR Arch. Milagros Villalta Begazo

Fig. I.41
Componente trasparente innovativo di facciata.
Tesi DdR Arch. Rosa Romano

La direttiva chiede pertanto il controllo energetico annuale dell'edificio tramite sistemi di controllo dell'energia grazie a componenti in grado di lavorare bene sia in inverno che in estate.

La test cell è uno strumento che consente di valutare in regime dinamico il comportamento termo fisico di un nuovo componente edilizio consentendone poi una definizione tramite software di simulazione in regime dinamico che possono valutare il comportamento energetico dell'intero edificio in condizioni dinamiche.

La test cell si propone quindi di essere uno strumento che risponde alle esigenze esplicitate dalla CPD ed EOTA e di conseguenza risponde alle necessità esplicitate dalla Energy Performance od Building Directive. In area climatica Mediterranea, permetterà di caratterizzare componenti innovativi dedicati o destinati ad essere utilizzati sia in edilizia di nuova costruzione, sia nel caso di retrofitting, su edifici esistenti.

La Commissione Europea sta ancora oggi cercando di standardizzare le metodologie per la valutazione dei parametri termofisici di nuovi e non componenti edilizi tramite lo sviluppo di procedure e linee guida[33]. Tecniche di identificazione in regime dinamico, sono le più promettenti per raggiungere questi obiettivi. All'interno del programma europeo di ricerca DGXII, il progetto PASSYS è stato in parte destinato allo sviluppo di possibili metodi di identificazione parametrica, in grado di definire una procedura e un metodo di calcolo in regime dinamico, in linea con gli obiettivi della Comunità Europea.

In particolare sono stati messi in evidenza come in regime dinamico il comportamento di alcuni componenti edilizi in termini di trasmittanza termica e di resistenza termica, non sono lineari. I risultati prodotti sono stati accettati dalla Commissione European el 1998 e oggi sono disponibili sotto forma di EN 12494. Nonostante ciò visti i nuovi componenti edilizi che si stanno immettendo sul mercato per rispondere alle esigenze di contenimento energetico degli involucri, sia nuovi che sottoposti a ristrutturazione, è ancora oggi necessario sperimentare e di conseguenza avviare nuove procedure per la valutazione termo fisica di nuovi componenti edilizi soggetti a regime dinamico.

[33] Report on support to CEN TC89/WG8. Update of ISO 9869 to EN12494 "in-situ measurement of the thermal resistance and thermal transmittance". edited (1995) by J.J. BLOEM Joint Research Centre Institute for Systems Engineering and Informatics, Ispra, ITALY

La tesi mira al progetto di una test cell da utilizzare all'aperto per le prove su componenti edilizi da sperimentare in clima mediterraneo, laddove quindi le esigenze di contenimento energetico sono importanti anche in estate. Partendo quindi dalla indagine sullo stato di fatto in Europa, identificati i requisiti esigenziali e prestazionali sia dei componenti edilizi in clima Mediterraneo sia necessari agli scopi di misura da condurre su di essi, viene proposto il progetto di una test cell da realizzare a Firenze per la caratterizzazione termo fisica di nuovi componenti edilizi di facciata tramite test da condurre in regime dinamico.

I.1.3 ESPERIENZE EUROPEE

La test cell è uno strumento che è stato sperimentato in Europa a partire dal 1985 in maniera organizzata e sistematica, nel senso che una serie di progetti finanziati dalla Commissione Europea ne hanno consentito la sperimentazione in condizioni climatiche esterne, con sistemi di misura standardizzati sui componenti, e con il rilievo dei dati necessari a mettere a punto e validare strumenti di simulazione in regime dinamico. La sperimentazione a livello Europeo però, non si è limitata ai progetti finanziati dalla EC, ma diverse realtà sono nate in maniera spontanea e sperimentale sia in Italia che all'estero, senza necessariamente relazionarsi con le esperienze contemporanee maturate dai partner dei progetti europei.

I.1.3.1 PASSATO E PRESENTE: RACCOLTA DI PROGETTI E DI ESPERIENZE EUROPEE

Agli inizi degli anni '80, quando l'interesse nei confronti delle energie rinnovabili applicate agli edifici e lo studio di edifici a basso consumo energetico ha iniziato a crescere, era chiaro che le caratteristiche relative alla performance energetica dei componenti edilizi non fosse stata tenuta in conto in maniera debita. La Commissione Europea, quindi, lanciò il progetto PASSYS nel lontano 1985 come azione di ricerca nell'ambito dei 'Passive Solar Components and Systems Testing'.

Gli obiettivi principali erano i seguenti:

- mettere a punto un network Europeo che coinvolgesse diversi centri di ricerca europei che mirassero ad effettuare misure in regime dinamico tramite test cell poste all'esterno allo scopo di valutare la performance solare e termica di componenti edilizi;
- sviluppare e mettere a punto procedure standardizzate e quindi riproponibili e confrontabili nei vari siti Europei;
- relazionare i risultati a software di simulazione in regime dinamico;
- contribuire allo sviluppo di sistemi informatici per essere utilizzati in maniera semplificata dai progettisti.

Durante la prima fase del progetto, chiamata PASSYS I (1986-1989), sette paesi europei sono stati coinvolti (Belgio, Danimarca, Francia, Germania, Italia, Olanda e Regno Unito) e 9 centri di ricerca, chiamati *test site,* sono stati realizzati ed equipaggiati con almeno 1 test cell progettata inizialmente su specifica richiesta della Commissione Europea. Alla fine del progetto PASSYS I, erano stati fatti importanti progressi ma ancora non sufficienti per raggiungere tutti gli obiettivi prefissati.

Così la Commissione Europea finanziò un secondo progetto il PASSYS II (1989-1993) e tre nuovi stati Europei divennero partner (Grecia, Portogallo e Spagna) e si definirono ulteriori obiettivi tra cui:

- lo studio anche dei componenti di tetto;
- collaborare con le attività del CEN, cioè European Standardisation Committee, in modo da condividere al meglio i risultati del progetto cercando di andare incontro alle necessità esplicitate dalle industrie coinvolte nel settore dell'edilizia.

Il progetto PASSYS II ha quindi consentito la messa a punto e la validazione di strumenti informatici che potessero essere messi a disposizione del network per l'identificazione dei dati monitorati nelle test cell.

Nonostante ciò, i test sites erano in fase di allestimento e subivano continue modifiche e I metodi di test non erano ancora stati standardizzati; pertanto seguirono ulteriori due progetti COMPASS e PASLINK (1992-1995).

COMPASS rappresenta il progetto che ha consentito, una volta identificati I punti deboli delle test cell, di trovare delle soluzioni sia costruttive che di

strumentazione applicata, in grado di migliorare le misure condotte in situ, sviluppando il sistema PAS (Pseudo- Adiabatic Shell) e il sistema HFS (Heat Flux Sensitive tiles) sistemi studiati in COMPASS e poi applicati alle test sites tramite il progetto PASLINK.

Quest'ultimo progetto ha contribuito in collaborazione con il gruppo di lavoro n.8 del CEN TC 89 allo sviluppo di metodi standardizzati per i test in situ sulla resistenza termica dei componenti edilizi basandosi sui metodi di identificazione parametrica in regime dinamico sviluppati dal PASLINK.

Lo stesso progetto europeo, ha inoltre consentito la creazione di un gruppo formale di centri di ricerca basati sulle prove in situ chiamato Outdoor Test Centres fondato in veste di European Economic Interest Grouping, con carattere legale dal 1994 e con la missione di *"to facilitate and further develop the economic activities of the Members and to improve or increase the results of these activities, including in the field of contract-research on behalf of third parties by offering to prospective customers a coordinated complex of technical skills and experimental equipment, all in the field of outdoor test cell experiments ".*

Assicurare la qualità divenne quindi il principale obiettivo del gruppo: ciascun membro per continuare a farne parte doveva avere almeno una test cell caratterizzata dai miglioramenti richiesti dal progetto COMPASS e ciascuna test cell doveva essere ispezionata e validata da un gruppo di esperti che dopo avere superato tutti gli audit e i test richiesti, la annoveravano tra le 'PASLINK test cells', quindi in grado di misurare la performance energetica di componenti edilizi in regime dinamico utilizzando procedure basate su test di bilancio energetico complessivo sviluppate durante il progetto PASLINK.

Durante i 12 anni di attività del PASLINK EEIG, il network è stato coordinatore di ben tre progetti finanziati dalla Commissione Europea:

- PV-HYBRID-PAS: Hybrid Photovoltaics in Buildings (JOR3-CT96-0092 / 1996 - 1998) su principi ed esempi di integrazione negli edifici di sistemi fotovoltaici, combinazioni con sistemi di riscaldamento termico tramite energia prodotta dal sistema fotovoltaico, test tramite test cells in condizioni climatiche reali e simulazioni su casi studio.
- IQ-TEST (ERK6-CT1999-20003 / 2000 - 2003) relativo al miglioramento delle procedure per il management dei test sites, oltre alle procedure per effettuare i test ed elaborare i dati di analisi.

• DAME-BC: Dynamic Analysis and Modelling applied to Energy Performance Assessment and Prediction of Buildings and Components (Renewables and Rational Use) (ENK6-CT2002-80650) che ha consentito di realizzare un ulteriore collaborazione con network specifici per promuovere una serie di attività di conferenze internazionali e di migliorare lo strumento LORD per l'analisi dei dati in situ.

Durante questi anni, il network PASLINK EEIG ha inoltre elaborato suggerimenti pre-normativi per conto della Commissione Europea e al fine di supportare il CEN in merito alle fasi di test e di misure. Grazie a questa collaborazione sono state elaborate le **EN12494** relative alle misure da condurre in condizioni climatiche esterne "in-situ measurements".

Vista l'importanza dei progetti suddetti e gli sviluppi che ha ottenuto a livello anche normativo, lo stato dell'arte della tesi tiene in particolare conto delle esperienze maturate dal network supportato dalla commissione europea, considerando sia i punti di forza che i punti deboli.

Oltre alle suddette esperienze, verranno descritti altre camere di prova all'aperto sperimentate in Italia per condurre test all'aperto.

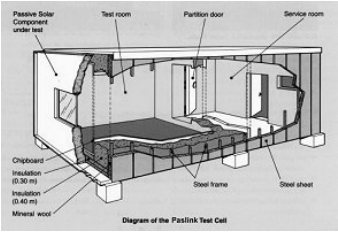


Fig. I.43

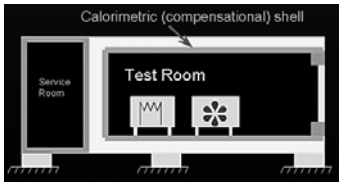


Fig. I.44

Progetti della PASSYS test cell. Credits: PASLINK EEIG Information material.

All'inizio del progetto PASSYS è stato sviluppato il progetto di una test cell in grado di testare componenti verticali a scala di edificio, quindi su una stanza a scala 1:1 in condizioni climatiche esterne, reali. Sono quindi state realizzate 35 test cell e distribuite su 14 siti. Le celle erano costituite da due stanze adiacenti, prefabbricate e molto isolate termicamente, allo scopo di controllare il flusso di calore che entrava o uscita nella test cell esclusivamente dal muro di prova.

La camera più grande era destinata ai test e alle misure ed era adiacente ad un ambiente più piccolo destinato alla raccolta dei dati misurati. Le due stanze erano separate da un muro adiabatico e da una porta a scorrere, del tipo usato nelle celle frigorifere, in metallo e coibentata. Le dimensioni della camera di test sono state concepite per definire uno spazio che fosse rappresentativo di un ambiente con volumetria e dimensioni tali da poter misurare il livello di comfort all'interno. Dal punto di vista costruttivo, le test cell avevano una struttura intelaiata in metallo, con uno scheletro portante rigido e ben isolato: nonostante l'isolamento termico però la struttura in metallo creava dei ponti termici e le dispersioni non erano solo attraverso il muro di prova ma anche attraverso la struttura della test cell benchè molto isolate.

PASSYS Sperimentazione Test sites in 7 paesi Europei. Studio dei componenti di facciata	1985 – 1989	
PASSYS II Allargamento della ricerca ad altri tre stati europei. Studio dei componenti di tetto	1989 – 1993	
COMPASS Individuazione delle criticità	1992 – 1995	
PASLINK Applicazione di misure correttive sulle test cell	1992- 1994	
PV-HYBRID-PAS Studio di componenti ibridi-fotovoltaici	1996 – 1998	
IQ-TEST Procedure per il managment dei test site, procedure per effettuare i test ed elaborare i dati di analisi	2000 – 2003	
DAME-BC Organizzazione di conferenze internazionali e miglioramento dei software di analisi	2002 – 2004	

Fig. I.45. I progetti finanziati dalla Commissione Europea sulle test facilities

La struttura sull'esterno era rivestita da materiale metallico trattato per resistere alle intemperie, ma la radiazione solare diretta surriscaldava notevolmente le test cell. Benchè concettualmente il sistema doveva essere in grado di misurare le condizioni climatiche esterne, interne e I flussi di calore, apparve chiaro che una serie di punti dovevano essere rivisti. Si è quindi cercato di adeguare le test cell realizzate con una serie di soluzioni aggiuntive. Fù così fatta una integrazione e sperimentata presso il BBRI, in Belgio: l'esperimento consisteva nell'aggiungere isolante in modo da rendere la test cell una "Pseudo Adiabatic Shell" (PAS).

I pannelli isolanti, posti sull'interno della struttura avevano lo scopo di rendere la test room adiabatica, riducendo l'inerzia termica del sistema, minimizzando il flusso di calore attraverso l'involucro della test cell e misurando il flusso attraverso il componente di prova in maniera più accurata.

Una soluzione alternativa è invece stata sviluppata dal TNO, in Olanda, installando un certo numero di sensori di flusso sulle pareti interne esistenti.

Tutte le test site erano soggette a ispezioni regolari tramite visite condotte da esperti del Joint Research Centre di Ispra allo scopo di definire un esperimento di prova uguale su tutte le test cell in modo da potere confrontare I risultati ottenuti in Grecia con quelli ottenuti in Belgio etc.

E' stato quindi definito un esperimento di prova con procedure sulla calibrazione della test cell, sulla tracciabilità dei documenti, sull'analisi dei risultati e su come presentare I risultati di analisi.

La raccolta e il confronto dei dati è stato molto utile per validare ESP-r, software di simulazione in regime dinamico che studia il comportamento energetico di un sistema edilizio ai volume finiti.

Due conferenze a livello internazionale sono quindi state organizzate per diffondere I risultati (Ispra, November 2003 and Warsaw, May 2004).

Dalle esperienze precedenti è nato il network DYNASTEE. Il network consente uno scambio di informazioni sui temi delle prove in situ, trovando il supporto di esperti nel campo delle test cell.

Il DYNASTEE Network (DYNamic Analysis, Simulation and Testing applied to the Energy and Environmental performance of buildings www.dynastee.info) è oggi una attiva organizzazione che collabora su tematiche relative a strumenti e metodi di indagine su nuovi componenti edilizi.

Quali le criticità rimaste?

Principalmente sono tre:

- strutture intelaiate in metallo con conseguente difficile controllo dei ponti termici della struttura
- struttura esterna in metallo che surriscaldava la test cell
- alcune strutture si sono deteriorate a causa dell'umidità interstiziale creatasi nelle strutture portanti.

La proposta della presente tesi è quella di una test cell che supera le criticità delle attuali e che si interfacci con il DYNASTEE network proponendo una soluzione di test cell innovativa per il clima Mediterraneo.

I.1.3.2 CRITERI DI VALUTAZIONE

L'analisi dei casi studio viene condotta in maniera critica, partendo dalle esigenze che la test cell da progettare deve soddisfare in area Mediterranea e considerando le peculiarità prestazionali alle quali deve rispondere per soddisfare le esigenze.

Si parla quindi di criteri di valutazione che nascono da una indagine basata sulla teoria esigenziale e prestazionale. Benchè essa si sia sviluppata in ambiti disciplinari diversi da quello edilizio, durante la seconda rivoluzione industriale venne sviluppata come normativa tecnica nell'ambito della produzione industriale in modo da garantire la congruità prestazionale di un prodotto alla domanda di qualità esplicitata e richiesta dall'utenza; si basa quindi su criteri che vengono fissati a priori in base alle esigenze esplicitate dall'utenza.

L'approccio esigenziale-prestazionale viene definito come la pratica di pensare e lavorare in *termini di finalità* piuttosto che *di mezzi*[34], applicabile sia all'edificio che al processo edilizio nella sua interezza.

L'assunto di base dell'approccio prestazionale nel settore delle costruzioni e dell'industria edile riguarda *cosa viene richiesto di fare* ad un edificio o ad una sua parte, ad un componente o prodotto edilizio, in contrapposizione ad un approccio prescrittivo nel quale invece si definisce il *come fare* un edificio o un prodotto/componente edilizio.

[34] Gibson E. J., 1982

Analizziamo quindi in merito al tema del progetto della test cell le esigenze; l'esigenza è quella di superare le criticità rilevate nelle test cell ad oggi realizzate con lo scopo primario di investigare in regime dinamico e reale sul comportamento termo-fisico di nuovi materiali e/o componenti edilizi.

In clima Mediterraneo non può essere escluso il concetto di massa termica, pertanto è necessario prevedere uno strumento che sia in grado di testare pareti sia vetrate che opache o miste anche di una certa pesantezza.

Superare le criticità rivelate dai casi studio esistenti, vuol dire avere una test cell con una struttura che:

a. riduca al minimo i ponti termici
b. non si surriscaldi
c. non abbia problemi di condensa interstiziale
d. sia in grado di testare murature pesanti
e. consenta di fare delle valutazioni sulla luce naturale e sugli effetti di questa sul riscaldamento interno
f. consenta la misura del comportamento termo-fisico di un componente soggetto a condizioni climatiche esterne, reali.

Di seguito quindi le tabelle riepilogative che consentono sia di sintetizzare la test cell che di valutare punti di forza e di debolezza di ciascuno dei casi studio che vengono di seguito descritti.

Criticità rilevate	
Ponti termici	
Infiltrazioni di acqua	
Assenza di schermatura solare esterna	
Adiabaticità	
Frame non isolato	

Tab.I.1

Tab.I.1. La tabella sintetizza le criticità emerse dal caso studio oggetto di indagine, con particolare attenzione alla presenza di rilevanti ponti termici o meno, alla manifestazione di problemi dovuti alle infiltrazioni di acqua, all'assenza o meno di schermature solari esterne, se la test cell è stata, al telaio che accoglie il componente di prova se è stato o meno isolato termicamente. In rosso ■, quindi le criticità più rilevanti emerse.

Misure condotte tramite test cell	
Elementi opachi	☐
Elementi finestrati	☐
Vetri speciali	☐
Fotovoltaico integrato	☐
Pareti ventilate	☐
Componenti PCM	☐
Tetti ventilati	☐
Luce naturale	☐
Comfort termico	☐
Ventilazione	☐
Infiltrazioni	☐
Numero di ricambi di aria	☐
Inquinanti	☐
Massa termica	☐

Tab. I.2

Descrizione sintetica della/e test cells	
Struttura portante metallica	☐
Struttura portante legno	☐
Struttura su base rotante	☐
Struttura su base fissa	☐
Componente di prova verticale	☐
Componente di prova orizzontale	☐

Dimensioni interne
Altezza (m)
Larghezza (m)
Lunghezza (m)

Tab. I.3

Tab. 2. La tabella identifica il tipo di misure che sono condotte tramite la test cell oggetto di indagine: si evidenziano quindi le pareti opache e/o trasparenti; eventuali vetri speciali, fotovoltaico di tipo integrato, pareti ventilate, componenti a cambiamento di fase, tetti ventilati; inoltre si evidenziano le eventuali prove condotte sulla luce naturale, sul comfort termico indoor, sulla ventilazione, sulle infiltrazioni, e ancora sul numero di ricambi di aria, sul livello di inquinanti e sulla massa termica.

Tab. 3. La tabella descrive sinteticamente la test e cioè se la struttura portante è metallica oppure in legno, se è una test cella su base rotante o su una struttura fissa, se il componente di prova è verticale e quindi è dedicata alle prove su componenti di facciata ovvero se le prove sono condotte su componenti di tetto e quindi orizzontali, o su entrambi; se note, vengono indicate le dimensioni interne della camera di prova.

Fig. I.46. Quattro test cell a confronto per misurare diversi elementi di facciata. Dall'alto a sinistra e in senso orario: 4 elementi fotovoltaici di natura diversa; componente trasparente con infisso; componente opaco in c.a. con finestra; piccola serra solare e conseguenti effetti sulla test cell. Credits: G. Flamant.

Criticità rilevate

Ponti termici	■
Infiltrazioni di acqua	□
Assenza di schermatura solare esterna	■
Adiabaticità	■
Frame non isolato	□

I.1.3.3 Caso studio 1: test site presso il BBRI in Belgio

Il **BBRI**, Belgian Building Research Institute, è un istituto di ricerca privato fondato nel 1960 sotto l'impulso del National Federation of Belgian Building Contractors. Costituito nel 1960, il BBRI è a servizio delle imprese di costruzioni, delle industrie, dei progettisti e delle autorità nazionali. Ha permanente cooperazione con università e con centri di ricerca specializzati. Conta circa 185 membri di cui più di 85 sono ingegneri e personale altamente qualificato e specializzato.

Grazie a laboratori e al personale qualificato impiegato, il BBRI è in grado di risolvere problematiche di vario genere nel settore delle costruzioni.

La struttura è finanziata da:

- imprese di costruzioni che hanno obbligo da parte del Governo Belga di pagare una tassa annuale al centro di ricerca;
- contratti di ricerca finanziati da terzi, brevetti, pubblicazioni e altri servizi specifici.
- finanziamenti esterni da parte delle autorità per progetti di ricerca di interesse collettivo;

Scheda tecnica Test site presso il BBRI	
Stato	Belgio
Località	**Limelette (a Sud-Est di Brussels)**
Indirizzo	Lozenberg 7, B-1932 Sint-Stevens-Woluwe
Tel	**+ 32.2.716.44.10**
Fax	+ 32.2.725.32.12
Latitudine	**50° 41' N**
Longitudine	4° 31' E
Altitudine	**106 m**
Anno di costruzione del test site	1998
Numero di test cell originarie	**4**
Numero di test cell oggi in uso	3
Persone da contattare	**Luk Vandaele: luk.vandaele@bbri.be** **Peter Wouters: peter.wouters@bbri.be** **Gilles Flamant: gilles.flamant@bbri.be**
Sito web	http://www.bbri.be

Presso il BBRI, sono state realizzate 3 tipologie di test cell grazie ai progetti PASSYS/PASLINK:

- La prima, la test cell A rappresenta la prima generazione di test cell costruite con il progetto PASSYS
- La seconda, la test cell B è una test cell equipaggiata con struttura PAS (Pseudo-Adiabatic Shell) cioè adiabatica e con il tetto removibile;
- La terza, la test cell C è su piattaforma girevole.

Fig. I.47. Credits. G. Flamant

In Basso. A sinistra. Due test cell che stanno misurando il comportamento termo fisico di due diversi componenti opachi. Le due test cell sono del tipo adiabatico.

A destra. La prima test cell che è stata realizzata al BBRI: elevati i ponti termici, poco accurate le misure sul componente di test. Nessuna adotta soluzioni per il controllo del surriscaldamento interno: infatti non sono presenti schermature esterne.

Figg. I.48 e I.49. Credits: G. Flamant

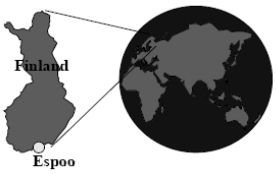
Misure condotte tramite test cell

Elementi opachi	■
Elementi finestrati	■
Vetri speciali	■
Fotovoltaico integrato	■
Pareti ventilate	□
Componenti PCM	□
Tetti ventilati	□
Luce naturale	□
Comfort termico	■
Ventilazione	□
Infiltrazioni	■
Numero di ricambi di aria	■
Inquinanti	■
Massa termica	□

Descrizione sintetica della/e test cells

Struttura portante metallica	■
Struttura portante legno	□
Struttura su base rotante	□
Struttura su base fissa	■
Componente di prova verticale	■
Componente di prova orizzontale	□

Dimensioni interne	
Altezza (m)	2.75
Larghezza (m)	5.00
Lunghezza (m)	2.76



I.1.3.4 Caso studio 2: test site pressi il VTT in Finlandia

Il sito di ricerca in condizioni climatiche esterne del **VTT**, settore costruzioni edili, studia il comportamento di componenti edilizi. La ricerca, fino a pochi anni fa, mirava al miglioramento della performance termica, solare, della ventilazione e della luce naturale negli edifici attraverso i suoi componenti – murature, finestre, componenti ibridi, etc.

Obiettivo del VTT è quello di migliorare la qualità dei prodotti edilizi industrializzati grazie anche al supporto di cluster industriali che ne finanziano le ricerche.

Oggi, scaduto il contratto di locazione del terreno su cui insiste il test site, il centro di ricerca si sta adoperando per acquisite o locare un nuovo terreno su cui trasferire le proprie test cell. Diversamente saranno costretti alla vendita delle test cell e della loro strumentazione.

A differenza di quelle realizzate al BBRI, il VTT ha una test cell equipaggiata con sensori per la misura del flusso termico.

Le test cell sono utilizzate principalmente per:

caratterizzazione termica e solare dei componenti di facciata
analisi del comfort termico
caratterizzazione della luce naturale
determinazione dei percorsi di flusso tramite il metodo del traces gas

VTT ha realizzato la prima test cell su base girevole per la caratterizzazione della luce naturale. La test cell ha dimensioni 2,7 m x 5,0 m x 2,7 m. le superfici interne sono caratterizzate dalle seguenti colorazioni:

$(\rho_{floor} \approx 15\ \%,\ \rho_{wall} \approx 50\ \%,\ \rho_{ceiling} \approx 70\ \%)$

Criticità rilevate

Ponti termici	■
Infiltrazioni di acqua	□
Assenza di schermatura solare esterna	■
Adiabaticità	□
Frame non isolato	□

Fig. I.50. Immagini della test cell al VTT. Credits: I. Heimonen

Scheda tecnica Test site presso il VTT	
Stato	Finlandia
Località	**Espoo, a 10 Km dal centro di Helsinki**
Indirizzo	Centre of Building Services and Indoor Environment VTT P.O. Box 1000 (Vuorimiehentie 5, Espoo) FIN-02044 VTT, FINLAND
Tel	**+358 20 722 4907**
Fax	+358 20 722 7009
Latitudine	**60.10°N**
Longitudine	24.32°E
Altitudine	**2.5 m s.l.m.**
Anno di costruzione del test site	1998
Numero di test cell originarie	**1**
Numero di test cell oggi in uso	1
Persone da contattare	**Ismo Heimonen: Ismo.Heimonen@vtt.fi**
Sito web	http://www.vtt.fi/

Misure condotte tramite test cell	
Elementi opachi	■
Elementi finestrati	■
Vetri speciali	■
Fotovoltaico integrato	■
Pareti ventilate	□
Componenti PCM	□
Tetti ventilati	□
Luce naturale	■
Comfort termico	■
Ventilazione	□
Infiltrazioni	■
Numero di ricambi di aria	■
Inquinanti	■
Massa termica	□

Descrizione sintetica della/e test cells	
Struttura portante metallica	■
Struttura portante legno	□
Struttura su base rotante	■
Struttura su base fissa	□
Componente di prova verticale	■
Componente di prova orizzontale	□

Dimensioni interne	
Altezza (m)	2.75
Larghezza (m)	5.00
Lunghezza (m)	2.76

I.1.3.5 Caso studio 3: test sites presso JRC, Ispra

Il Joint Research Centre ha il compito di promuovere ricera scientifica e dare supporto tecnico per la promozione, implementazione, lo sviluppo e il monitoraggio di attività che sono in linea con gli scopi delle Direttive della Comunità Europea.

Il JRC è un Dipartimento della Commissione Europea sotto la responsabilità di Máire Geoghegan-Quinn, Commissario Europeo per la Ricerca, la Scienza e l'Innovazione.

La Direzione Generale è a Brussels. I sette istituti JRC sono localizzati in 5 paesi Europei, Belgio, Germania, Italia, Paesi Bassi e Spagna:

- Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM)
- Institute for Transuranium Elements (ITU)
- Institute for Energy (IE)
- Institute for the Protection and Security of the Citizen (IPSC)
- Institute for Environment and Sustainability (IES)
- Institute for Health and Consumer Protection (IHCP)
- Institute for Prospective Technological Studies (IPTS)

Fig. I.51

Fig. I.52. Due prove condotte sul test site di Ispra

Il Joint Research Centre con sede ad Ispra, presso il Lago Maggiore viene inaugurato nel 1959.

L'istituto di Energia ha sede a Petten, Paesi Bassi e ad Ispra, Italia con un team multidisciplinare di circa 300 tra accademici e personale tecnico. I principali ambiti di interesse:

- Trasporto sostenibile
- Energie rinnovabili
- Energia nucleare sostenibile
- Bioenergie
- Efficienza energetica negli edifici

Il JRC di Ispra ha installato con il Progetto PASSYS una serie di test cell che oggi sono prevalentemente utilizzate allo scopo di testare componenti fotovoltaici.

Il JRC ha svolto un ruolo predominante nei progetti PASSYS e PASSLINK sia come catalizzatore di idee, che come supervisore dei test site realizzati in Europa con i finanziamenti della Commissione Europea.

L'esperienza sui test site è di notevole rilievo, e ad oggi la persona di riferimento e supporto è Hans Bloem.

Fig. I.53. Immagini del test site al JRC

Scheda tecnica Test site presso il Joint Research Centre JRC	
Stato	Italia - EU
Località	**Ispra - Varese**
Indirizzo	European Commission - DG Joint Research Centre Institute for Energy - Renewable Energy Unit Via E. Fermi 2749, TP 450, I - 21027 Ispra (VA)
Tel	**+390332.789 842 / 145**
Fax	+390332.789 992
Latitudine	**45° 48' N**
Longitudine	8° 37' E
Altitudine	**220m**
Anno di costruzione del test site	1991
Numero di test cell originarie	**3**
Numero di test cell oggi in uso	-
Persone da contattare	**Hans Bloem: hans.bloem@jrc.ec.europa.eu**
Sito web	http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency

Misure condotte tramite test cell

Elementi opachi	☐
Elementi finestrati	■
Vetri speciali	■
Fotovoltaico integrato	■
Pareti ventilate	☐
Componenti PCM	☐
Tetti ventilati	■
Luce naturale	☐
Comfort termico	■
Ventilazione	☐
Infiltrazioni	■
Numero di ricambi di aria	■
Inquinanti	■
Massa termica	☐

Descrizione sintetica della/e test cells

Struttura portante metallica	■
Struttura portante legno	☐
Struttura su base rotante	☐
Struttura su base fissa	☐
Componente di prova verticale	■
Componente di prova orizzontale	☐

Dimensioni interne

Altezza (m)	2.75
Larghezza (m)	5.00
Lunghezza (m)	2.76

Criticità rilevate

Ponti termici	■
Infiltrazioni di acqua	☐
Assenza di schermatura solare esterna	■
Adiabaticità	■
Frame non isolato	☐

Fig. I.54
Il test site di Catania, 1986. PASSYS test cells.

Fig. I.55
Test cell su base girevole e con tetto removibile, realizzata con il progetto Roof-Soil nel 1996.

Criticità rilevate

Ponti termici	■
Infiltrazioni di acqua	■
Assenza di schermatura solare esterna	■
Adiabaticità	■
Frame non isolato	■

I.1.3.6 Caso studio 4: test sites presso Conphoebus, Catania

Conphoebus è stato un istituto di ricerca dell'Enel con sede Catania. Il test site dopo i finanziamenti della Commissione Europea è stato dedicato principalmente a misure condotte su pannelli solari e fotovoltaici. Con il progetto PASSYS, nel 1986, è stato realizzato un sito con tre test cell, tutte per testare componenti verticali, ed individuare il fattore solare e il comportamento termico del componente in regime dinamico. Successivamente, nel 1996, con il progetto Roof-Soil, il sito è stato aggiornato con una nuova test cell dedicata prevalentemente a test su componenti orizzontali di tetto dedicati all'area Mediterranea, con l'applicazione delle flux-tiles e di un frame isolato. Il sito è stato oggi dismesso.

Oggi il centro di ricerca lavora principalmente sul settore inerente il **Fotovoltaico.** Con i suoi 25.000 metri cubi di laboratori e uffici e 10 ettari di parco, rappresenta il punto di riferimento dell'energia solare e del risparmio energetico in Sicilia. Grazie alla posizione strategica che gli assicura un'irradiazione tra le più alte d'Europa e punte di 1700 kWh/m2 l'anno, questo luogo d'eccellenza e di innovazione è una delle applicazioni del Progetto Ambiente.

A Catania è possibile riprodurre in laboratorio la radiazione solare e monitorare istante per istante il rendimento dei vari sistemi in diverse condizioni di funzionamento, ricostruite grazie a un apposito simulatore dinamico solare. Inoltre, la disponibilità di camere climatiche di grandi dimensioni permette di ottenere l'invecchiamento accelerato dei moduli fotovoltaici, sottoponendoli a cicli termici, radiazioni ultraviolette, nebbia salina e umidità, per valutarne la capacità di resistenza a condizioni ambientali estreme.

È sede di una stazione di telemonitoraggio e telediagnostica di tutti gli impianti fotovoltaici Enel, testati per individuare le soluzioni tecnologiche che permettano di generare energia per via fotovoltaica al minimo costo possibile.

A supporto dell'attività del Centro, è stata realizzata una stazione meteorologica e radiometrica per stimare le variazioni meteo-climatiche e la loro incidenza sulle prestazioni dei sistemi fotovoltaici innovativi, i cui rendimenti sono fortemente connessi alla temperatura e all'irradiazione solare globale.

Nel campo dell'utilizzo dell' energia solare per via termodinamica, presso il Centro si analizzano le scelte tecnologiche del progetto Archimede, prima applicazione di integrazione tra un ciclo combinato a gas e un impianto solare termodinamico.

Il sito permette di:

- eseguire simulazioni in varie condizioni meteo-climatiche o di carichi per ottimizzarne il funzionamento;
- effettuare valutazioni ingegneristiche per future applicazioni.

Il simulatore potrà essere usato per supportare l'addestramento del personale operativo.

Scheda tecnica Test site presso Conphoebus	
Stato	Italia
Località	**Catania**
Indirizzo	Enel Ingegneria e Innovazione S.p.A Area Tecnica Ricerca Passo Martino - Zona industriale 95121 Catania ITALY
Tel	**+39 095 287 7020**
Fax	+39 06 64447384
Latitudine	**37° 28' N**
Longitudine	15° 04' E
Altitudine	**7 m s.l.m.**
Anno di costruzione del test site	1986-98
Numero di test cell originarie	**3+1 hfx 3 celle pareti roof-soil nel 96 quarta cella mediterranea per tetto evaporativo**
Numero di test cell oggi in uso	-
Persone da contattare	**Francesco Aleo: francesco.aleo@enel.com**
Sito web	-

Misure condotte tramite test cell

Elementi opachi	■
Elementi finestrati	■
Vetri speciali	■
Fotovoltaico integrato	□
Pareti ventilate	□
Componenti PCM	□
Tetti ventilati	■
Luce naturale	■
Comfort termico	□
Ventilazione	□
Infiltrazioni	■
Numero di ricambi di aria	■
Inquinanti	□
Massa termica	■

Descrizione sintetica della/e test cells

Struttura portante metallica	■
Struttura portante legno	□
Struttura su base rotante	■
Struttura su base fissa	□
Componente di prova verticale	■
Componente di prova orizzontale	■

Dimensioni interne	
Altezza (m)	2.75
Larghezza (m)	5.00
Lunghezza (m)	2.76

I.1.3.7 Caso studio 5: test sites presso DIENCA, Italia

La test cell è stata concepita per testare pareti ventilate ed investigare in maniera dettagliata sul loro comportamento termo fisico e sulla performance energetica.

La struttura è stata completata nel 2009 con l'obiettivo di investigare in maniera.

La test cell ha pianta quadrata di lato pari a 2.89 m ed altezza pari a 2.67 m. E' su tre livelli, per una altezza complessiva di 7.75 m. La porta di ingresso è posta sul lato nord e non vi sono finestre.

La struttura è principalmente in profilati di acciaio con pavimento in legno.

Le pareti esterne sono costituite da tre strati con una intecapedine di aria ventilate pari a 24 cm e con un rivestimento esterno in piastrelle di porcellana con delle griglie di ventilazione posto alle base e in sommità in grado di rendere ventilata la parete. Il tetto invece non è del tipo ventilato.

La struttura è stata ad oggi utilizzata per misurare la temperature superficiale esterna, la temperature all'interno della cavità di aria, temperature ambiente interna, velocità dell'aria all'interno della cavità, radiazione solare sul componente.

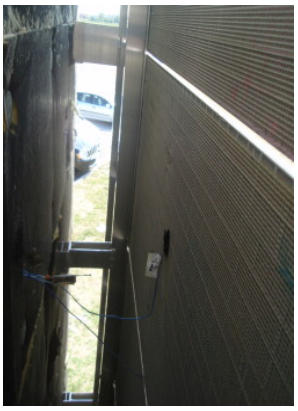


Fig. I.56
Parete ventilata da testare.

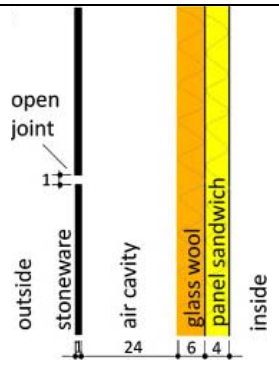
Fig. I.57. Il box per le misure all'aperto di pareti ventilate presso DIENCA

Scheda tecnica Test site presso DIENCA, Università di Bologna	
Stato	Italia
Località	**San Mauro Pascoli—Forli Cesena**
Indirizzo	
Tel	**+39 051 2090549**
Fax	+39 051 2090544
Latitudine	**44.11°N**
Longitudine	12.43°E
Altitudine	**10 m s.l.m**
Anno di costruzione del test site	2009
Numero di test cell originarie	**1**
Numero di test cell oggi in uso	1
Persone da contattare	**Cosimo Marinosci: cosimo.marinosci@unibo.it**
Sito web	http://www.dienca.unibo.it

Sul componente oggetto di studio, sono state applicate 72 termocoppie, due anemometri, un piranometro e una stazione meteorologica esterna.

Il componente è stato testato in maniera continuativa dal 1 Gennaio al 31 Marzo 2010 e dal 2 Luglio al 17 Settembre 2010, per individuare il comportamento del componente sia nel periodo estivo che nel periodo invernale.

La test cell è stata realizzata con il contributo di ALIVA s.r.l. Via Bellaria 40 – 47030, San Mauro Pascoli (FC) ITALIA Tel. +39 0541 815 811



	Thickness (cm)	Thermal conductivity (W/(m K))	Density (kg/m^3)	Specific heat (J/(kg K))
Stoneware	**1**	1.30	**2300**	840
Air cavity	**24**	–	–	–
Glass wool	**6**	0.04	**30**	1200
Aluminium	**0.2**	160	**2800**	880
EPS	**4**	0.04	**70**	1200
Aluminium	**0.2**	160	**2800**	880

Proprietà termiche del componente di facciata ventilata testato

Fig. I.58 e I.59. Immagini del montaggio della parete ventilata sulla camera di prova. Credits: C. Marinosci

Misure condotte tramite test cell

Elementi opachi	☐
Elementi finestrati	☐
Vetri speciali	☐
Fotovoltaico integrato	☐
Pareti ventilate	■
Componenti PCM	☐
Tetti ventilati	☐
Luce naturale	☐
Comfort termico	☐
Ventilazione	■
Infiltrazioni	☐
Numero di ricambi di aria	☐
Inquinanti	☐
Massa termica	☐

Descrizione sintetica della/e test cells

Struttura portante metallica	■
Struttura portante legno	☐
Struttura su base rotante	☐
Struttura su base fissa	■
Componente di prova verticale	■
Componente di prova orizzontale	☐

Dimensioni interne

Altezza (m)	7.75
Larghezza (m)	2.89
Lunghezza (m)	2.89

I.1.3.8 Caso studio 6: test sites presso Permasteelisa Group in Italia

Permasteelisa Group rappresenta una impresa leader nello sviluppo, nella progettazione e nella realizzazione di facciate a doppia pelle e impianti di climatizzazione. La ditta, oltre a valutare i propri prodotti in fase progettuale con simulazioni sperimentali teoriche, prima di metterli in produzione, ne verifica le prestazioni reali, sia da un punto di vista energeticho che strutturale, tramite modelli in scala 1:1.

Il test site, localizzato nella sede di S. Vendemiano, Vittorio Veneto, era costituito da 10 camere di prova, TR, per il monitoraggio energetico-ambientale oltre che a due banchi prova per verifiche statiche e dinamiche della resistenza alle sollecitazioni esterne.

Fig. I.60

Fig.I.61

Fig.I.62. Immagini del test site a San Vendemiano della Permasteelisa. Credits: Permasteelisa

Le 10 Test-rooms per prove energetiche erano organizzate in 5 settori:

Active Wall

TR1. Facciata vetrata a doppia pelle, ventilata meccanicamente con aria di ripresa, tende a rullo con funzione di pelle interna, travi dinamiche nel controsoffitto, pannello radiante a pavimento.

TR2. Facciata vetrata a doppia pelle, ventilata meccanicamente con aria di ripresa, tende veneziane nell'intercapedine, travi dinamiche nel controsoffitto, pannello radiante a pavimento.

Interactive Wall

TR3. Facciata vetrata a doppia pelle, cavità ventilata meccanicamente con aria esterna, micro-ventilatori, tende veneziane nella cavità, celle fotovoltaiche integrate nella zona marcapiano, soffitto radiante.

TR4. Facciata vetrata a doppia pelle, cavità ventilata meccanicamente con aria esterna, micro-ventilatori, tende veneziane nella cavità, celle fotovoltaiche integrate nella zona marcapiano, travi dinamiche incorporate nel contosoffitto.

Shading Wall

TR5. Facciata vetrata a doppia pelle e fan-coil a pavimento nel perimetro, cavità ventilata naturalmente, flaps per il controllo

Fig. I.63. Facciata a doppia pelle, Cambiano, Torino - Italia

della ventilazione basato sulla temperatura, protezioni solari nella cavità (veneziane + alette con celle fotovoltaiche), scambiatori di calore locali in facciata, pavimento radiante.

TR6. Facciata vetrata a doppia pelle e fan-coil a pavimento nel perimetro, cavità ventilata naturalmente, flaps per il controllo della ventilazione basato sulla temperatura, protezioni solari nella cavità (tende a rullo), scambiatori di calore locali in facciata, pavimento radiante.

Bioclimatic Wall

Fig. I.64. Area Garibaldi Tower B, Milano

TR7. Facciata con doppia vetrocamera, tende a rullo esterne, balcone con piante per schermatura dai carichi solari, pareti radianti.

TR8. Facciata con vetrocamera ad alte prestazioni, tende veneziane esterne con lamine larghe, balcone con piante per schermatura dai carichi solari, contropavimento con ventilazione a dislocamento, soffitto radiante con microtubi.

Passive

TR9. Facciata in muratura di mattoni, finestre con vetratura ad alta prestazione, tende veneziane interne, fan-coils sotto le finestre.

TR10. Facciata tradizionale completamente vetrata, controllo della radiazione solare tramite una schermatura interna avvolgibile.

Scheda tecnica Test site presso Permasteelisa	
Stato	Italia
Località	**Vittorio Veneto, TV**
Indirizzo	Permasteelisa reserach and engineering 31029 Vittorio Veneto TV - Italia
Tel	**+39 0438 50 5000**
Fax	+39 0438 69 4509
Latitudine	**45°58'25"32 N**
Longitudine	12°18'3"60 E
Altitudine	
Anno di costruzione del test site	1999 - 2005
Numero di test cell originarie	**10**
Numero di test cell oggi in uso	-
Persone da contattare	**G. Manara: g.manara@permasteelisa.com**
Sito web	www.permasteelisagroup.com

Misure condotte tramite test cell	
Elementi opachi	☐
Elementi finestrati	■
Vetri speciali	■
Fotovoltaico integrato	☐
Pareti ventilate	■
Componenti PCM	☐
Tetti ventilati	☐
Luce naturale	■
Comfort termico	■
Ventilazione	■
Infiltrazioni	☐
Numero di ricambi di aria	☐
Inquinanti	☐
Massa termica	☐

Descrizione sintetica della/e test cells	
Struttura portante metallica	■
Struttura portante legno	☐
Struttura su base rotante	☐
Struttura su base fissa	■
Componente di prova verticale	■
Componente di prova orizzontale	☐

Dimensioni interne	
Altezza (m)	-
Larghezza (m)	-
Lunghezza (m)	-

Fig. I.65. Parete ventilata a Schio

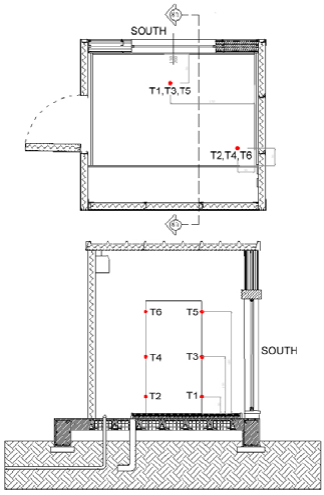


Fig. I.66. Pianta e sezione del box di prova sul campo prove di Ancona utilizzato per le misure su PCM applicati a pavimenti radianti. Indicazione del posizionamento delle termocoppie.

I.1.3.9 Caso studio 7: test site ad Ancona, Italia

L'Università Politecnica delle Marche, in collaborazione con il Politecnico di Milano, ha realizzato nel 2003 otto box all'aperto dedicati alla sperimentazione degli effetti dell'utilizzo di materiali a cambiamento di fase per ridurre il surriscaldamento durante la stagione estiva.

Il progetto C-TIDE, Changeable Thermal Inertia Dry Enclosures, finanziato dal V Programma Quadro EU-FP5, ha quindi consentito la realizzazione delle camere di prova presso il Laboratorio di Energie Rinnovabili del Dipartimento di Energetica dell'Università Politecnica delle Marche, ad Ancona. Due dei box sono stati realizzati con finestratura esposta a sud in modo da testare l'applicazione dei PCM su sistemi radianti a pavimento, utilizzando la finestra per poter ottenere e valutare gli apporti solari all'interno di una stanza e i benefici dei PCM applicati. Gli altri 6 sono invece stati utilizzati per la sperimentazione su componenti di involucro esterni, sia verticali che orizzontali, utilizzando un box equipaggiato con parete di tipo standard da utilizzare come riferimento rispetto ad uno o più box che montano pareti innovative di cui deve essere valutato il comportamento, in modo da avere sempre un box come sistema base monitorato senza l'applicazione dei PCM e quindi valutare l'efficacia dei PCM in riferimento al caso standard-base. I box hanno una base quadrata di 3 metri di lato ed una altezza di circa 3 metri.

Dal punto di vista costruttivo i box hanno struttura a sandwich in lamiera e polistirene, isolata termicamente in modo da ridurre al massimo gli scambi termici attraverso le pareti verticali. I test relativi al progetto C-TIDE sono stati condotti durante l'estate del 2003 e del 2004. Oggi il sito è predisposto per accogliere eventuali sistemi e componenti che adottano PCM da testare in condizioni climatiche esterne.

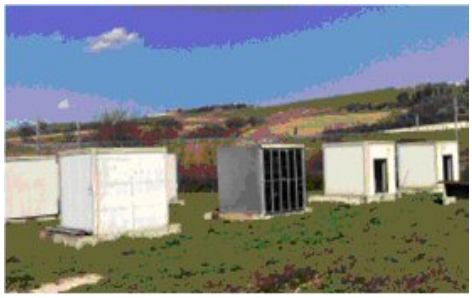


Fig. I.67. Il test site di Ancona

Fig. I.68. Fotografia del pavimento radiante trattato con PCM.

Fig. I.69. Apparato di misura per blocchi termici

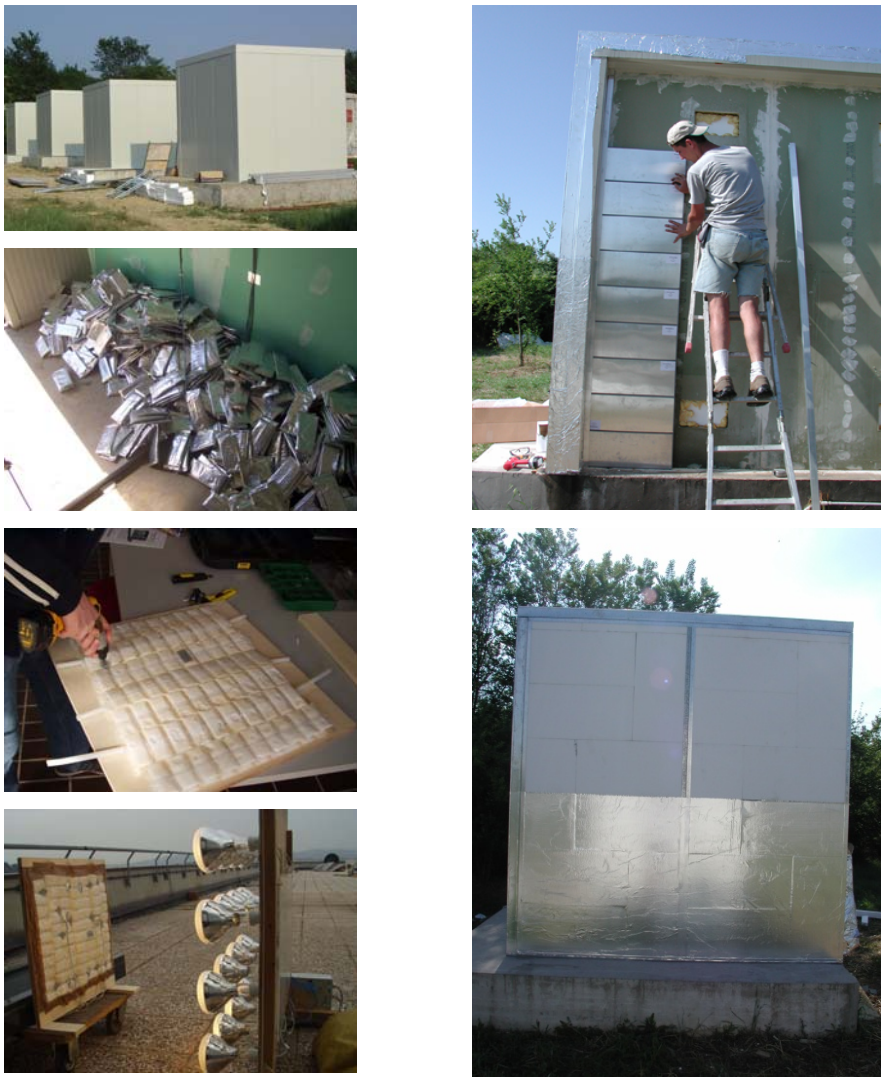


Fig. I.70. Immagini dei box e dei materiali a cambiamento di fase utilizzati sia per i componenti di involucro esterni che per i componenti a pavimento radiante, all'interno. Credits: A. Carbonari

Scheda tecnica Test site presso UNIVPM	
Stato	Italia
Località	**Ancona**
Indirizzo	Dipartimento di Energetica, Università Politecnica delle Marche, zona industriale Baraccola - 60131 Ancona
Tel	**+39 0712204397**
Fax	+39 0712204582
Latitudine	**43°35'56"76 N**
Longitudine	13°30'39"60 E
Altitudine	**0**
Anno di costruzione del test site	2003
Numero di test cell originarie	**8**
Numero di test cell oggi in uso	8
Persone da contattare	**A. Carbonari: alessandro.carbonari@univpm.it** **G. Masera: gabriele.masera@polimi.it**
Sito web	http://www.energetica.univpm.it www.dacs-bc.univpm.it

Misure condotte tramite test cell	
Elementi opachi	■
Elementi finestrati	□
Vetri speciali	□
Fotovoltaico integrato	□
Pareti ventilate	□
Componenti PCM	■
Tetti ventilati	□
Luce naturale	□
Comfort termico	□
Ventilazione	□
Infiltrazioni	□
Numero di ricambi di aria	□
Inquinanti	□
Massa termica	■

Descrizione sintetica della/e test cells	
Struttura portante metallica	■
Struttura portante legno	□
Struttura su base rotante	□
Struttura su base fissa	■
Componente di prova verticale	□
Componente di prova orizzontale, interno	■

Dimensioni interne	
Altezza (m)	3
Larghezza (m)	3
Lunghezza (m)	3

Fig. I.71. Immagini dei box al sito di prove all'aperto ad Ancora

I.1.3.10 Caso studio 8: test site presso il CRES in Grecia

Il Centre for Renewable Energy Sources (CRES) è un centro di ricerca nazionale sull'uso delle risorse rinnovabili, uso razionale dell'energia e risparmio energetico in Grecia.

CRES è un ente pubblico diretto dal MInistero dello sviluppo e della tecnologia con uno statuto amministrativo e finanziario indipendente.

Il centro conduce ricerce in campo tecnologico, sia a livello nazionale che internazionale.

Il centro possiede laboratori di prove sia all'aperto che per prove standardizzate in regime stazionario e consente di effettuare esperimenti e prove sia sui materiali che sui componenti effettuando misure e test destinati alla certificazione di vario tipo.

Come centro di ricerca, il CRES ha partecipato a più di 500 progetti Europei e nazionali e conta oggi circa 120 esperti e specialisti ed ingegneri.

Negli ultimi anni ha collaborato con diversi enti pubblici ma sempre più con organizzazioni private e con il mondo dell'industria.

Fig. I.72

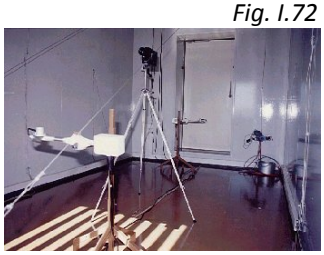


Fig. I.73. Immagini del test site del CRES. Credits: Paslink.

Fig. I.74

Criticità rilevate	
Ponti termici	■
Infiltrazioni di acqua	□
Assenza di schermatura solare esterna	■
Adiabaticità	■
Frame non isolato	□

Il sito è dotato di due test cell:

- A sinistra, una camera di prova in condizioni outdoor per condurre misure sul comportamento termo-fisico di componenti di tetto. La test cell è stata resa adiabatica con il progetto PAS.
- A destra, la test cell originaria, utilizzata per misure su componenti verticali.

Fig. I.75. Immagini delle due test cell presso il CRES.

Scheda tecnica Test site presso il CRES	
Stato	Grecia
Località	**Pikermi**
Indirizzo	Centre for Renewable Energy Sources (C.R.E.S.) 19th km. Marathonos Ave - 190 09 Pikermi
Tel	**+30 1 6039 900**
Fax	+30 1 6039 904-5
Latitudine	**37,58° N**
Longitudine	23,43° E
Altitudine	**130 m**
Anno di costruzione del test site	1992
Numero di test cell originarie	**1 PASSYS + 1 Paslink**
Numero di test cell oggi in uso	2
Persone da contattare	**Dr. Argiro Dimoudi: adimoudi@cres.gr**
Sito web	http://www.cres.gr

Misure condotte tramite test cell	
Elementi opachi	■
Elementi finestrati	■
Vetri speciali	■
Fotovoltaico integrato	■
Pareti ventilate	□
Componenti PCM	□
Tetti ventilati	■
Luce naturale	□
Comfort termico	■
Ventilazione	■
Infiltrazioni	■
Numero di ricambi di aria	■
Inquinanti	□
Massa termica	■

Descrizione sintetica della/e test cells	
Struttura portante metallica	■
Struttura portante legno	□
Struttura su base rotante	□
Struttura su base fissa	■
Componente di prova verticale	■
Componente di prova orizzontale	■

Dimensioni interne	
Altezza (m)	2.75
Larghezza (m)	5.00
Lunghezza (m)	2.76

Εθνικό και Καποδιστριακό
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Fig.I.76

Fig.I.77
Immagini della test cell di NKUA. A destra una sintetica assonometria con evidenziate le zone termiche e il frame del componente di test.

Criticità rilevate

Ponti termici	■
Infiltrazioni di acqua	□
Assenza di schermatura solare esterna	■
Adiabaticità	□
Frame non isolato	□

1.1.3.11 Caso studio 9: test site presso NKUA in Grecia

Il Group of Building Environmental Research, presso NKUA National and Kapodistrian University of Athens, è un gruppo di ricerca del dipartimento di fisica dell'Università di Atene. Conduce ricerche in ambito sia nazionale che internazionale su temi relativi alla qualità dell'ambiente e dell'ambiente costruito.

La test cell è principalmente utilizzata per lo studio della qualità dell'aria e della ventilazione naturale. E' accessoriata di strumenti tracer gas e di uno strumento molto avanzato per le misure sulla qualità dell'aria interna. Il laboratorio conduce prove anche sulle infiltrazioni e conduce misure sull'inquinamento atmosferico.

Il laboratorio e la test cell sono strumenti ufficialmente riconosciuti come laboratorio di ricerca dello stato Greco per la certificazione e le misure sulla qualità dell'aria interna.

La test cell è stata realizzata con il progetto PASSYS ed è quindi costituita da due zone, completamente accessoriate di strumentazione per misure termiche. La parete di prova è esposta a sud, la test cell è su basamento fisso. Le misure condotte: temperature dell'aria, temperature superficiale, livelli di illuminamento, infiltrazioni, ricambi di aria, qualità dell'aria interna.

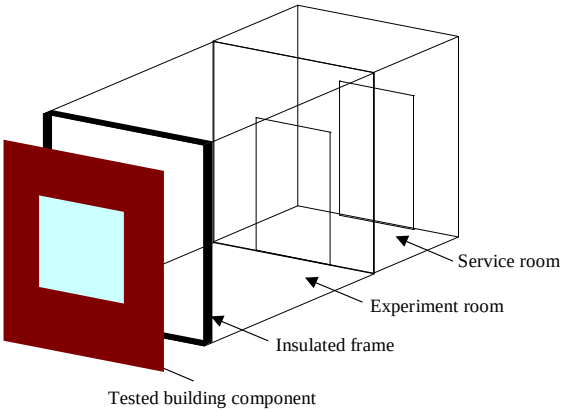


Fig.I.78. Le due zone della test cell.

Fig.I.79. In alto. Immagini della posa in opera della test cell. In basso, montaggio delle flux tiles sulle pareti interne della cella. Infine, prove su componenti vetrati. Credits. NKUA

Misure condotte tramite test cell

Elementi opachi	☐
Elementi finestrati	☐
Vetri speciali	☐
Fotovoltaico integrato	☐
Pareti ventilate	■
Componenti PCM	☐
Tetti ventilati	☐
Luce naturale	☐
Comfort termico	☐
Ventilazione	■
Infiltrazioni	☐
Numero di ricambi di aria	☐
Inquinanti	☐
Massa termica	☐

Scheda tecnica Test site presso NKUA	
Stato	Grecia
Località	**Atene**
Indirizzo	University Campus NKUA-GBES Building of Physics - 5, University Campus 157 84 Panepistimioupolis, Athens,
Tel	**+30.1.727.4847**
Fax	+30.1.729.5282
Latitudine	**38.05° N**
Longitudine	23.86° E
Altitudine	**500 m**
Anno di costruzione del test site	2000
Numero di test cell originarie	**1**
Numero di test cell oggi in uso	1
Persone da contattare	**Mattheos Santamouris: msantam@phys.uoa.gr**
Sito web	www.uoa.gr

Descrizione sintetica della/e test cells

Struttura portante metallica	■
Struttura portante legno	☐
Struttura su base rotante	☐
Struttura su base fissa	■
Componente di prova verticale	■
Componente di prova orizzontale	☐

Dimensioni interne	
Altezza (m)	2.75
Larghezza (m)	5.00
Lunghezza (m)	2.76

I.1.3.12 Caso studio 10: test site in Vitoria - Gasteiz

In Vitoria-Gasteiz, presso Bilbao, lo scorso Novembre 2010 è stato inaugurato il test site Eguzki – Ilargi.

Si tratta di due test cell che sono state realizzate presso il laboratorio di controllo e calibrazione del Governo Basco, con la collaborazione scientifica del Department of Thermal Engineering, Engineering School di Bilbao.

Il Governo Basco ha quindi incrementato l'attuale laboratorio che fa prove sia strutturali che termiche su componenti opachi e trasparenti, con due test cell all'aperto.

Le due test cell sono state acquistate dall'Università di Porto che ha ceduto le due originarie PASSYS cells.

Dopo il trasporto, le due test cell sono state completamente ristrutturate ma la struttura portante è rimasta in acciaio.

Fig.I.80. Inaugurazione delle test cell a Vitoria.

Fig.I.81. Immagini della test cell Igurzi

Oggi, nel panorama Europeo, questo test site, è sicuramente il più all'avanguardia: una test cell è destinata alle prove su pareti verticali, l'altra a prove sia su pareti verticali che su tetti, anche se principalmente utilizzata per testare componenti di tetto.

Nessuna delle due è su base girevole: i test principali infatti, vertono sulle caratteristiche termiche dei componenti opachi e su pareti ventilate.

L'esterno è schermato da una struttura a telo che riduce la radiazione solare diretta sulla test cell: la sovra-struttura metallica agganciata alla test cell, struttura che sorregge il telo, ha i vertici in basso troppo vicini alla copertura, innescando surriscaldamento che viene rilevato nelle prove condotte durante la stagione estiva.

L'interno è stato accessoriato di sensori di flusso, flux tiles, per identificare il flusso termico che fuoriesce ovvero che attraversa tutti i componenti fissi della test cell, e di conseguenza meglio controllare e definire il comportamento termico del componente soggetto a test.

Criticità rilevate

Ponti termici	■
Infiltrazioni di acqua	□
Assenza di schermatura solare esterna	□
Adiabaticità	□
Frame non isolato	□

Fig. I.82. Dall'alto a sinistra. Muro da testare, posizionato su piattaforma su binari, dal laboratorio di costruzioni fino al test site. Tetto rimovibile. Posizionamento strumentazione su copertura piana.
Nella riga centrale. Vista del test site a primavera e in inverno. Guarded hot-box per le misure su componenti vetrati.
In basso. Vista della test cell senza il muro da testare. Parete ventilata. Guarded hot-box per test in regime stazionario di pareti opache.
Credits:G. Alcamo, I.Flores

Scheda tecnica Test site presso Vitoria-Gasteiz	
Stato	Spagna
Località	**Vitoria-Gasteiz**
Indirizzo	Área de Térmica - Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación Aguirrelanda 10, 01013 Vitoria - Gasteiz
Tel	**+34 945 26 89 33/ +34 946017359**
Fax	+34 945 28 99 21
Latitudine	**42° 50' N**
Longitudine	-2° 41' E
Altitudine	**525 m s.l.m**
Anno di costruzione del test site	2010
Numero di test cell originarie	**2**
Numero di test cell oggi in uso	2
Persone da contattare	**Ivan Flores: termica@ej-gv.es** **Aitor Erkoreka : aitor.erkoreka@ehu.es** **Jose Maria Sala : josemariapedro.sala@ehu.es**
Sito web	http://www.garraioak.ejgv.euskadi.net/r41-19380/es/contenidos/informacion/area_termica/es_atlcce/presentacion_1.html

Misure condotte tramite test cell

Elementi opachi	■
Elementi finestrati	■
Vetri speciali	■
Fotovoltaico integrato	■
Pareti ventilate	■
Componenti PCM	■
Tetti ventilati	■
Luce naturale	□
Comfort termico	□
Ventilazione	■
Infiltrazioni	■
Numero di ricambi di aria	■
Inquinanti	■
Massa termica	□

Descrizione sintetica della/e test cells

Struttura portante metallica	■
Struttura portante legno	□
Struttura su base rotante	□
Struttura su base fissa	■
Componente di prova verticale	■
Componente di prova orizzontale	■

Dimensioni interne	
Altezza (m)	2.75
Larghezza (m)	5.00
Lunghezza (m)	2.76

I.1.3.13 Caso studio 11: test site presso Ciemat, in Spagna

Il Ministero della Scienza e della Tecnologia in Spagna, finanzia il Ciemat che è un laboratorio di indagini sul comportamento energetico di componenti edilizi.

Esso ha una vasta area all'aperto, soleggiata, che ospita una PASLINK test cell di tipo adiabatico, utilizzata principalmente per prove su componenti finestrati. La struttura portante è intelaiata in acciaio e risale al 1998.

Ha anche due CESPA test cells, simili alla precedentemente descritta, e in costruzione una nuova test cell per testare componenti di tetto. Alcune sono destinate a test su componenti omogenei, altre sono destinate a componenti non omogenei.

Il sito ospita anche camini di ventilazione e camini solari in scala 1:1, oltre edifici monozone ed edifici sperimentali per test sui sistemi piuttosto che sui componenti.

Oggi la Spagna, quindi, ha due laboratori di prove sui materiali: uno in Almeira, finanziato dal Ministero, l'altro a Vitoria, finanziato dal Governo Basco.

Fig.I.83

Fig.I.84
Immagini del test site e della test cell presso Ciemat

Scheda tecnica Test site presso CIEMAT	
Stato	Spain
Località	**Almerìa**
Indirizzo	Plataforma Solar de Almería (PSA) Ctra de Senés s/n 04200 Tabernas (Almería) - SPAIN
Tel	**(+34) 950 38 79 22 - (+34) 91 346 63 05**
Fax	(+34) 950 36 50 15 - (+34) 91 346 60 37
Latitudine	**36° 50' N**
Longitudine	2° 28' W
Altitudine	**7 m s.l.m**
Anno di costruzione del test site	1986
Numero di test cell originarie	**1**
Numero di test cell oggi in uso	1 + altri test facilities
Persone da contattare	**María José Jiménez Taboada: Mjose.jimenez@psa.es**
Sito web	http://www.ciemat.es http://www.psa.es

Criticità rilevate

Ponti termici	■
Infiltrazioni di acqua	□
Assenza di schermatura solare esterna	■
Adiabaticità	■
Frame non isolato	□

Fig.I.85. Immagini del test site di Ciemat. Credits: María José Jiménez

Misure condotte tramite test cell	
Elementi opachi	■
Elementi finestrati	■
Vetri speciali	■
Fotovoltaico integrato	■
Pareti ventilate	■
Componenti PCM	□
Tetti ventilati	□
Luce naturale	■
Comfort termico	□
Ventilazione	■
Infiltrazioni	□
Numero di ricambi di aria	□
Inquinanti	□
Massa termica	■

Descrizione sintetica della/e test cells	
Struttura portante metallica	■
Struttura portante legno	□
Struttura su base rotante	■
Struttura su base fissa	■
Componente di prova verticale	■
Componente di prova orizzontale	□

Dimensioni interne	
Altezza (m)	-
Larghezza (m)	-
Lunghezza (m)	-

I.1.3.14 Caso studio 12: test site in ESRU-BRE, in UK

In UK, il test site è localizzato a Glasgow ma è gestito sia dal BRE che dalla Univerity od Strathclyde.

IL BRE Group, Building REsearch consultancy Group, è una organizzazione del Regno Unito che si occupa di ricerca, consulenza, formazione, testing e certificazione nell'ambito della sostenibilità e dell'innovazione nell'ambiente costruito.

L'ente nasce come governativo ma è stato di recente privatizzato.

La Mission, in termini generali, è "Built a better world", cioè costruire un mondo migliore. L'organizzazione offre ai propri clienti consulenza per realizzare edifici migliori, risolvendo problematiche di varia natura.

Ambiti di intervento e settori in cui opera il BRE:

- Ospedali
- Edilizia residenziale
- Edilizia scolastica
- Edilizia commerciale
- Edilizia per uffici
- Trasporti e infrastrutture

La struttura offre i seguenti servizi:

- consulenza in ambito acustico, della qualità dell'aria, illuminazione naturale ed artificiale, sul processo costruttivo, in termini di energy efficiency, sui sistemi impiantistici, performance degli elementi costruttivi e ciclo di vita degli stessi, rifiuti e riciclaggio, piani di sicurezza con specifico riferimento al crimine organizzato e al terrorismo, studio di fattibilità economica del progetto in relazione al finanziamento privato con cui lo si deve espletare quindi studio di contratti su misura
- certificazioni di carattere energetico e antincendio
- corsi di formazione e specializzazione su richiesta in particolare nel campo dell'antincendio e della certificazione energetica.

Fig.I.86

Fig.I.87. Immagini del test site presso il BRE. Credits: Paslink

Criticità rilevate

Ponti termici	■
Infiltrazioni di acqua	□
Assenza di schermatura solare esterna	■
Adiabaticità	■
Frame non isolato	□

Il BRE ha rapporti con enti statali, di carattere economico (supporti finanziari alla ricerca) finalizzati alla redazione di linee guida per nuove norme, in particolare in ambito di certificazione energetica degli edifici. Ultimamente si stanno occupando delle linee guida per la ristrutturazione e certificazione degli edifici residenziali di epoca vittoriana.

Il test site nasce nel 1993 in collaborazione con ESRU che si occupa della modellazione dei sistemi da testare.

Alla fine del progetto PASSYS, il sito è stato dismesso perché accoglie oggi edifici a carattere dimostrativo.

Fig.I.88. Nell'immagine le due PASSYS test cell.

Scheda tecnica Test site presso BRE Scotland	
Stato	UK
Località	**East Kilbride, 15 km south of Glasgow**
Indirizzo	BRE Scotland, Kelvin Road East Kilbride, Glasgow G75 ORZ
Tel	**+44 1355 576 242**
Fax	+44 1355 576 210
Latitudine	**55° 75'N**
Longitudine	4° 17'W
Altitudine	**180 m s.l.m.**
Anno di costruzione del test site	1993
Numero di test cell originarie	**4**
Numero di test cell oggi in uso	nessuna
Persone da contattare	**-**
Sito web	-

Misure condotte tramite test cell

Elementi opachi	■
Elementi finestrati	■
Vetri speciali	■
Fotovoltaico integrato	■
Pareti ventilate	■
Componenti PCM	□
Tetti ventilati	□
Luce naturale	□
Comfort termico	□
Ventilazione	■
Infiltrazioni	■
Numero di ricambi di aria	□
Inquinanti	□
Massa termica	□

Descrizione sintetica della/e test cells

Struttura portante metallica	■
Struttura portante legno	□
Struttura su base rotante	□
Struttura su base fissa	■
Componente di prova verticale	■
Componente di prova orizzontale	□

Dimensioni interne	
Altezza (m)	2.75
Larghezza (m)	5.00
Lunghezza (m)	2.76

I.1.3.15 Caso studio 13: test site in BRE Innovation Park

Il BRE Innovation Park è il sito dimostrativo a scala di edificio più significativo in Uk e in Europa. Il sito accoglie ben 10 edifici realizzati in chiave sostenibile e circa 400 nuove soluzioni tecnologiche innovative per edilizia a basso consumo energetico e oggetti di design.

Nell'insieme il sito è caratterizzato da edifici con soluzioni tecnologiche diverse ma tutte rappresentano approcci innovativi sostenibili, tutti a basso impatto ambientale ma ad alto impatto sulla qualità della vita dell'edificio e degli occupanti oltre che delle riduzioni delle emissioni di CO_2

Si tratta quindi di componenti e sistemi tecnologici messi in opera in edifici dimostrativi e non sono veri e propri laboratori atti a misure del comportamento termo-fisico dei singoli componenti edilizi. L'esperienza è però particolarmente significativa e quindi viene qui riportata. Sei edifici sono monitorati sui consumi di gas e di elettricità.

Il contesto in cui gli edifici sono inseriti è progettato per dimostrare che gli spazi urbani non solo possono essere progettati per avere un contesto piacevole in cui vivere e preoccuparsi delle risorse ambientali.

Fig.I.89

Fig.I.90

Fig.I.91
Immagini di edifici del BRE Innovation Park. Credits. F. Simoni

Di seguito una sintetica descrizione degli edifici realizzati al BRE Innovation Park.

Barratt Green House – il primo edificio realizzato al BRE Innovation Park in chiave sostenibile.

ecoTech Organics House – edificio dimostrativo con soluzioni sostenibili che utilizzano sistemi flessibili adattabili a seconda dell'utilizzo della casa.

Hanson EcoHouse – realizzata con sistemi costruttivi tradizionali, con l'uso di materiali tradizionali.

Kingspan Lighthouse – è un edificio iper-isolato, progettato e realizzato per sostenere e incoraggiare realizzazioni a basso consumo energetico.

Natural House – è un edificio dimostrativo che , semplice e low-tech, a basso consumo energetico.

Osborne House – edificio in cui il concetto di sostenibilità è evidenziato anche nelo stile architettonico e nel volume.

Renewable House – edificio in stile moderno che dimostra come I materiali rinnovabili possono essere utilizzati per edifici sostenibili e anche moderni.

Stewart Milne Sigma Home – è un edificio utilizzato e testato da una famiglia per avere una reale prospettiva da parte degli occupanti su come si vive in un edificio realizzato con tecnologie mirate alla sostenibilità.

Willmott Dixon Healthcare Campus –è espressione di una nuova tipologia di case di cura in cui la gente riesce in maniera più indipendente a concertarsi tra la casa di cura e la propria abitazione.

Cub House - edificio ultra-moderno realizzato da FutureForm, rappresenta uno stile in cui la sostenibilità si fonde con la modernità in soluzioni promosse sia per edifici privati che per edilizia sociale.

Fig.I.92. Immagini di edifici sostenibili realizzati come dimostrativi e aperti ai visitatori al BRE Innovation Park. Credits. F. Simoni.

I.1.3.16 Caso studio 14: test site in University of Salford

A Manchester, presso la University of Salford, è stato inaugurato lo scorso novembre un laboratorio-casa in scala 1:1.

Si tratta di un edificio in stile Vittoriano e rappresenta una casa di tipo tradizionale, inglese, su tre livelli, all'interno di un laboratorio.

I test vengono quindi condotti non all'esterno, ma all'interno di un laboratorio: si tratta cioè di una casa all'interno di un laboratorio in grado di simulare condizioni climatiche esterne.

Lo scopo è monitorare la casa dal punto di vista energetico, accessoriata come una tipica casa unifamiliare inglese, dotata di gas e di elettricità. Salfort House ha già iniziato i monitoraggi ed ha l'ambizione di rappresentare una realtà residenziale molto diffusa in UK.

E' stata infatti realizzata utilizzando mattoni originali del 1910 e le tecniche costruttive utilizzate, i tipi di materiali e gli infissi sono stati messi in opera considerando le tecniche costruttive degli anni '10.

Circa 4.5 milioni di case in UK sono state realizzate in stile Vittoriano.

Le prove includono una serie di test finalizzati al monitoraggio dei consumi energetici in zone climatiche diverse: la casa-laboratorio, infatti, sarà soggetta a condizioni climatiche che simulano la pioggia, il vento e il sole.

La camera climatica consente il controllo delle temperature tra -6°C e 30°C, umidità relativa tra il 20% e 80%, simula la luce naturale, la neve, la pioggia e il vento.

Lo sviluppo di questo laboratorio è quindi mirato allo studio del recupero di case vittoriane in UK, studiando e misurando su un unico edificio i benefici delle strategie proposte.

Fig.I.93

Fig.I.94

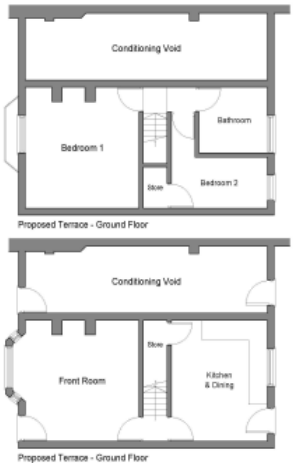


Fig.I.95
Immagini del progetto-laboratorio presso la University of Salford. Credits: W. Swan

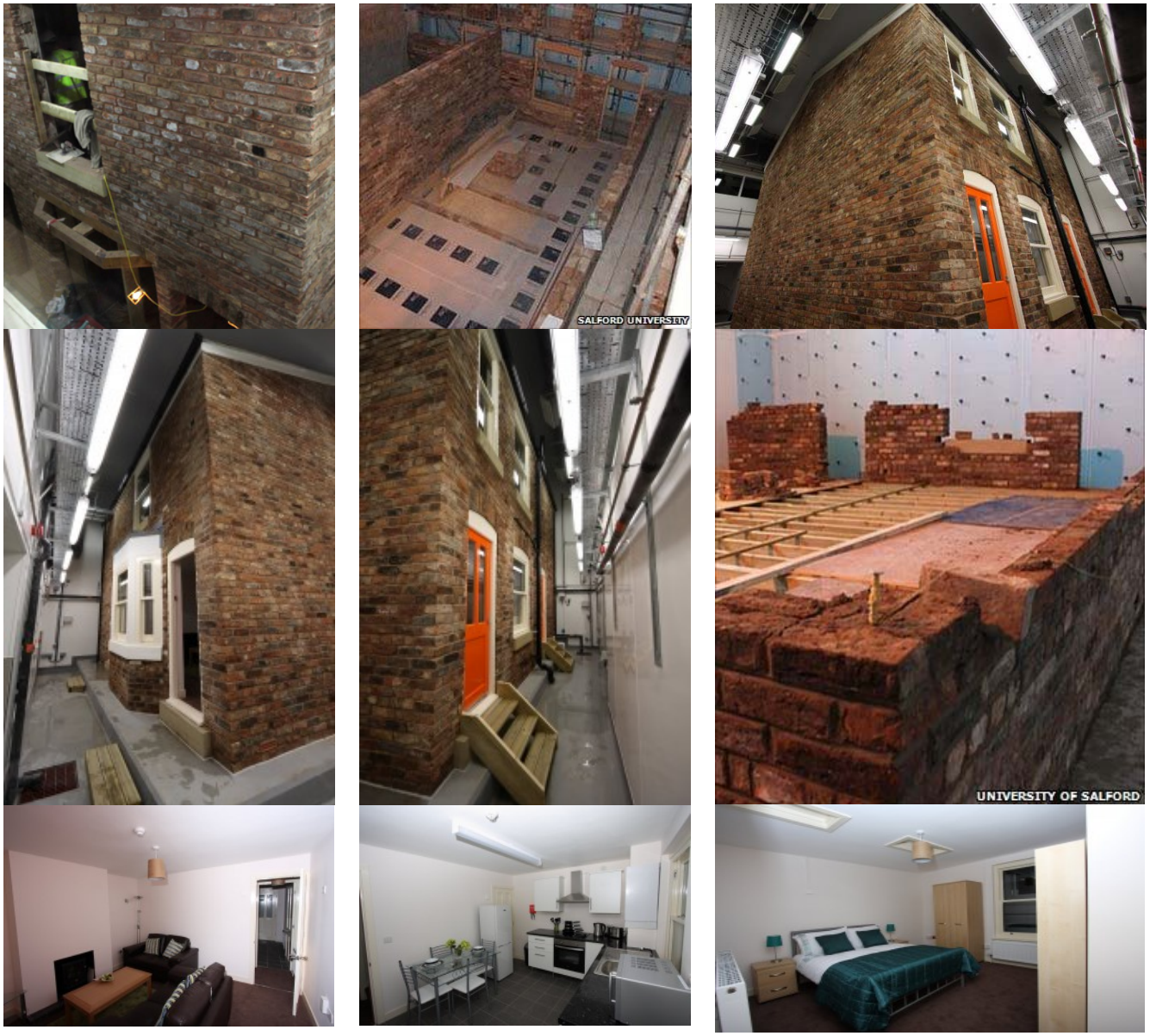


Fig.I.96 Immagini della House Energy Salford, in UK. Durante la realizzazione, dall'esterno, dell'interno. Credits: Salford University, W. Swan.

Scheda tecnica Test site presso SALFORD	
Stato	UK
Località	**Manchester**
Indirizzo	University of Salford - Greater Manchester M5 4WT - United Kingdom
Tel	**+44 (0)161 2956347** **+44 (0)797 3535287**
Fax	+44 (0)161 295 5999
Latitudine	**53°29'N**
Longitudine	02°12'W
Altitudine	**-**
Anno di costruzione del test site	Novembre 2010
Numero di test cell originarie	**1 edificio residenziale**
Numero di test cell oggi in uso	1 edificio residenziale
Persone da contattare	**Dr William Swan:** **s.d.waterworth@salford.ac.uk**
Sito web	http://www.energy.salford.ac.uk

I.1.3.17 Caso studio 15: test site in Edinburgh Napier University

Presso la Edinburgh Napier University, l'istituto per le costruzioni sostenibili (ISC) è diretto dal Prof. Smith ed è gestito in collaborazione con industrie del settore edile che sviluppano nuovi componenti strutturali da testare all'interno del laboratorio strutturale chiamato Building Performance Assessment Centre (BPAC) – Hangar 17.

Consiste in un laboratorio realizzato con 10 stanze nelle quali vengono effettuate delle verifiche acustiche su componenti e sistemi strutturali per i quali le aziende chiedono verifiche.

Nello specifico, è stato dal Dipartimento in collaborazione con aziende e con il supporto economico del Governo Scozzese, messo a punto un protocollo di qualità acustica sui componenti e sui sistemi dal nome Robust Details. Le aziende vengono quindi sottoposte durante la messa in opera, in cantiere, a un certo numero di verifiche acustiche che consentono di avvalere ciascun edificio di un certificato acustico di qualità.

Fig.I.97. La Edinburgh Napier University

Le procedure per la simulazione del prodotto prima della realizzazione, i dettagli costruttivi, la realizzazione del prodotto-componente edilizio, le prove acustiche in laboratorio e le verifiche in cantiere, sono tutti elementi di qualità che hanno consentito al Robust Details di diventare un noto marchio di qualità prima in Scozia, oggi in Regno Unito.

Nel prossimo futuro, il Dipartimento intende adottare procedure simili a quelle adottate nell'ambito acustico per stilare protocolli di qualità anche energetica, sia sui prodotti che sugli edifici realizzati.

Il caso studio, pertanto, viene in questo capitolo riportato come esempio di organizzazione e gestione di protocolli di progetto e qualità edilizia dal punto di vista acustico. Informazioni possono essere richieste direttamente al Direttore del Dipartimento, Dott. Sean Smith.

Fig.I.98. Immagini del BPAC - Hangar 17. Credits: S. Secchi

Scheda tecnica Test site presso BPAC	
Stato	Regno Unito
Località	**Edinburgh**
Indirizzo	Edinburgh Napier University, Craiglockhart Campus, Edinburgh, EH14 1DJ
Tel	**+448452606040**
Fax	-
Latitudine	**55°57'N**
Longitudine	03°13'W
Altitudine	**-**
Anno di costruzione del test site	2008
Numero di test cell originarie	**1 laboratorio interno con 10 stanze da testare**
Numero di test cell oggi in uso	1 laboratorio interno con 10 stanze da testare
Persone da contattare	**Sean Smith: se.smith@napier.ac.uk** **Richard Mackenzie: ri.mackenzie@napier.ac.uk**
Sito web	http://www.napier.ac.uk/randkt/sustainableconstruction

Fig.I.99

Fig.I.100

Fig.I.101

Fig.I.102

Immagini del test site di Porto. In evidenza il degrado delle test cell. Credits: A. Erkoreka

I.1.3.18 Caso studio 16: test site in Portogallo

Fundação Gomes Teixeira - University of Porto ha preso parte ai progetti Europei PASSYS e PASLINK partecipando attivamente a tutte le fasi del progetto delle test cell, implementazione del sito e sviluppo delle metodologie per I test in condizioni climatiche esterne, sia su test cell convenzionali che su quelle con il tetto removibile.

Le due test cell hanno però nel tempo evidenziato problemi connessi alla struttura, in particolare dovuti alle infiltrazioni di acqua che hanno danneggiato in maniera importante l'involucro della test cell.

Non riuscendo a trovare fondi per la gestione, il test site è stato abbandonato e le test cell sono state cedute al laboratorio di termica del Governo Basco, a Vitoria-Gasteiz, dove sono state totalmente rimodernate, lasciando l'originaria struttura portante in acciaio, e attrezzate e rimesse in funzione.

Il sito anche se non più esistente, viene qui riportato come esempio di struttura che è riuscita a funzionare finchè sostenuta dai fondi della Commissione Europea, struttura quindi che dal punto di vista gestionale non è riuscita, in quel momento, a trovare nelle aziende la forza economica e la volontà esigenziale di continuare la sperimentazione.

Scheda tecnica Test site presso FGT-UP	
Stato	Portogallo
Località	**Porto**
Indirizzo	Faculty of Engineering, University of Porto Department of Mechanical Engineering Rua Dr. Roberto Frias s/n 4200-465 Porto
Tel	**+351.22508.1763**
Fax	+351.22508.2153
Latitudine	**41° 14' N**
Longitudine	8° 41' W
Altitudine	**73 m s.l.m.**
Anno di costruzione del test site	1991
Numero di test cell originarie	**2**
Numero di test cell oggi in uso	nessuna
Persone da contattare	**-**
Sito web	-

Fig.I.103. Immagini del test site a Porto. Le celle con il progetto PASSYS sono state modificate per migliorare le prestazioni e condurre misure anche nel periodo estivo. Sono quindi state equipaggiate con strumentazione per le misure sulla radiazione solare, sulle infiltrazioni ed è stata realizzata una test cell con tetto removibile. Credits. PASLINK.

Misure condotte tramite test cell	
Elementi opachi	☐
Elementi finestrati	☐
Vetri speciali	☐
Fotovoltaico integrato	☐
Pareti ventilate	■
Componenti PCM	☐
Tetti ventilati	☐
Luce naturale	☐
Comfort termico	☐
Ventilazione	■
Infiltrazioni	☐
Numero di ricambi di aria	☐
Inquinanti	☐
Massa termica	☐

Descrizione sintetica della/e test cells	
Struttura portante metallica	■
Struttura portante legno	☐
Struttura su base rotante	☐
Struttura su base fissa	■
Componente di prova verticale	■
Componente di prova orizzontale	☐

Dimensioni interne	
Altezza (m)	2.75
Larghezza (m)	5.00
Lunghezza (m)	2.76

Criticità rilevate	
Ponti termici	■
Infiltrazioni di acqua	■
Assenza di schermatura solare esterna	■
Adiabaticità	■
Frame non isolato	■

Fig.I.104. Tetto rimovibile. Credits: PASLINK

I.1.3.19 Caso studio 17: test ste in Germania

Il test site press oil Dipartimento di Fisica Applicata in Cottbus è stato realizzato nel 1985. Le due test cell sono ancora esistenti: la prima risale al progetto PASSYS, quindi si tratta di una test cell del tipo adiabatico, con struttura portante in acciaio, con la possibilità di testare componenti verticali; non ha alcune schermatura solare esterna, ed è esternamente rivestita da una superficie metallica che originariamente era nata dall'idea di riflettere la radiazione solare diretta, senza però pensare alle conseguenti temperature superficiali che si sarebbero avute, influenzando pesantemente le temperature interne alla test cell, i flussi termici e quindi le misure di caratterizzazione del componente da testare. La seconda test cell, è stata realizzata in seguito al progetto PASLINK, si tratta quindi di una test cell con l'applicazione dei sensori di flusso sulla superficie interna, non adiabatiche, con il frame di prova standardizzato e opportunamente isolato. La struttura rimane però intelaiata in acciaio, con molti ponti termici, e con all'esterno una superficie metallica di protezione dalla pioggia.Molte prove sono state condotte, anche su componenti innovativi e su materiali a cambiamento di fase. Oggi il sito è ancora in uso.

Fig.I.105. Immagini del test site di Porto. In evidenza il degrado delle test cell.

Scheda tecnica Test site presso BTU	
Stato	Germania
Località	**Cottbus**
Indirizzo	Lehrstuhl für Angewandte Physik Postfach 101344 D-03013
Tel	**+49.355.692.428**
Fax	+49.355.692.440
Latitudine	**-**
Longitudine	-
Altitudine	**-**
Anno di costruzione del test site	1995
Numero di test cell originarie	**1**
Numero di test cell oggi in uso	-
Persone da contattare	**Prof. Dr. H. Rogaß: rogass@tu-cottbus.de**
Sito web	-

Criticità rilevate	
Ponti termici	■
Infiltrazioni di acqua	■
Assenza di schermatura solare esterna	■
Adiabaticità	■
Frame non isolato	■

Fig.I.106. Immagini di alcuni componenti testati presso BTU. Dall'alto verso destra: componenti vetrati specchiati, fotovoltaico in facciata, solare termico in facciata. In basso: PCM, sistema componente opaco-finestra, diversi tipi di fotovoltaico a confronto. Credits: PASLINK

Misure condotte tramite test cell	
Elementi opachi	☐
Elementi finestrati	☐
Vetri speciali	☐
Fotovoltaico integrato	☐
Pareti ventilate	■
Componenti PCM	☐
Tetti ventilati	☐
Luce naturale	☐
Comfort termico	☐
Ventilazione	■
Infiltrazioni	☐
Numero di ricambi di aria	☐
Inquinanti	☐
Massa termica	☐

Descrizione sintetica della/e test cells	
Struttura portante metallica	■
Struttura portante legno	☐
Struttura su base rotante	☐
Struttura su base fissa	■
Componente di prova verticale	■
Componente di prova orizzontale	☐

Dimensioni interne	
Altezza (m)	2.75
Larghezza (m)	5.00
Lunghezza (m)	2.76

I.1.3.20 Caso studio 18: test site presso Fraunhofer

Il sito di Holzkirchen, in Germania, è sicuramente il più grande in Europa in merito all'analisi su edifici in scala 1:1, in condizioni climatiche esterne. Si estende su un'area di circa 30.000 m^2, ha ad oggi accolto ben 27 test-houses, 7 laboratori tutti in condizioni climatiche esterne.

In particolare il laboratorio VERU, è stato realizzato come un insieme di stanze dedicate a misure termo fisiche su componenti verticali. E' possibile testare contemporaneamente diversi componenti edilizi, sia sullo stesso orientamento che su orientamenti diversi.

Nel sito vengono quindi effettuati test sia sui componenti edilizi, sui singoli materiali, ma vengono anche messi in opera e monitorati sistemi per il riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e sistemi energetici combinati di vario tipo.

Vengono effettuate anche prove strutturali e sulla durabilità dei materiali. Vista la varietà di test che vengono effettuati sul sito e visti i numerosi laboratori, la presente scheda non rileverà specifiche criticità.

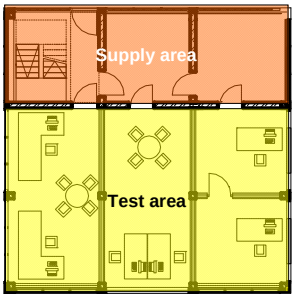


Fig.I.107
Il laboratorio VERU in condizioni climatiche esterne, presso IBP. Credits: I. Heusler

Scheda tecnica Test site presso Fraunhofer	
Stato	Germania
Località	**Holzkirchen**
Indirizzo	Fraunhoferstraße 10 83626 Valley
Tel	**+49 8024643212** **+49 8024643241**
Fax	+49 8024643366
Latitudine	**47° 88' N**
Longitudine	11° 73' E
Altitudine	**680 m s.l.m.**
Anno di costruzione del test site	2002
Numero di test cell originarie	**18**
Numero di test cell oggi in uso	11
Persone da contattare	**Ingo Heusler: ingo.heusler@ibp.fraunhofer.de** **Herbert Sinnesbichler: herbert.sinnesbichler@ibp.fraunhofer.de**
Sito web	www.ibp.fraunhofer.de/es

Fig.I.108. Immagini di alcuni componenti testati presso Fraunhofer. Credits: I. Heusler

Misure condotte tramite test cell	
Elementi opachi	■
Elementi finestrati	■
Vetri speciali	■
Fotovoltaico integrato	■
Pareti ventilate	■
Componenti PCM	□
Tetti ventilati	□
Luce naturale	■
Comfort termico	■
Ventilazione	■
Infiltrazioni	■
Numero di ricambi di aria	■
Inquinanti	■
Massa termica	■

Descrizione sintetica della/e test cells	
Struttura portante metallica	□
Struttura portante legno	□
Struttura su base rotante	□
Struttura portante in c.a.	■
Struttura su base fissa	■
Componente di prova verticale	■
Componente di prova orizzontale	□

Dimensioni interne	
Altezza (m)	3.8
Larghezza (m)	3.8
Lunghezza (m)	3.8

I.1.3.21 Caso studio 19: test ste nei Paesi Bassi

TNO è stato fondato nel 1932 per consentire al mercato e al governo di dedicarsi al settore della ricerca intesa come *conoscenza*. TNO è una organizzazione di ricerca indipendente strettamente collegata all'industria e al governo, e rappresenta oggi il più importante attore in una crescente rete internazionale che include i principali istituti scientifici, società con ambiziosi profili di sviluppo, università e altri partners del settore della ricerca.

In Europa Attualmente risulta essere insieme al Fraunhofer in Germania e il VTT in Finlandia tra i primi tre RTOs, Research and Technology Organisations.

La missione generale del TNO è quella di rivolgersi alla conoscenza scientifica con lo scopo di rafforzare il potere innovativo dell'industria e del governo. In questo senso sviluppa 12 aree tematiche collegate alla politica strategica del governo olandese ed alle politiche scientifiche e tecnologiche europee:

- fisica strutturale, problematiche di clima interno all'edifico, climatizzazione, illuminazione e irraggiamento solare, inquinamento acustico, umidità, controllo climatico e installazione di sistemi sviluppati in questo settore, sviluppo di tecnologie che valorizzano le prestazioni dell'edificio, ventilazione, raffreddamento degli spazi e aria condizionata, etc.;
- energia sostenibile e conservazione dell'energia, prestazioni energetiche, pompe di calore, riscaldamento attraverso pompe di calore, energia solare, immagazzinamento di calore, raffreddamento sostenibile e adduzione dell'acqua, raffreddamento sostenibile per camper e caravan, energia solare termale, certificazione prestazionale, etc.;
- ciclo di vita di una struttura edilizia e abitabilità dell'ambiente costruito, incarichi innovativi, edifici focalizzati sui consumatori, materiali da costruzione innovativi, applicazione di giochi al mondo dell'edilizia, sviluppo e integrazione delle ICT con l'edilizia, strumenti innovativi, sviluppo del sistema "neighbourhood wizard", sviluppo di componenti e prodotti innovativi per velocizzare i tempi di costruzione;

Fig.I.109. Posizionamento di una delle cinque test cell presso il TNO. Credits: PASLINK.

Criticità rilevate

Ponti termici
Infiltrazioni di acqua
Assenza di schermatura solare esterna
Adiabaticità
Frame non isolato

- studio e recupero dei monumenti, curabilità e vita di costruzioni in cemento armato, conservazione e sostituzione della pietra naturale, degrado di strutture in cemento armato causato da reazioni alcalino-silicate;
- preparazione alla pianificazione: visioning, esplorazioni e valutazioni, studi economici, etc.;
- test di laboratorio su materiali da costruzione come C.A., muratura, legno, pavimenti, rivestimenti e facciate, raccomandazioni ed opinioni di esperti sui materiali, sicurezza antincendio, certificazione e marchio CE, resistenza e curabilità di elementi in legno, test di vibrazione e shock sulle strutture;
- indagini sulla sicurezza costruttiva di edifici esistenti, sicurezza antincendio, vita residua di ponti e viadotti, vulnerabilità di edifici ubicati nelle vicinanze di tunnel, ponti e viadotti, affidabilità di strutture esistenti, protezione catodica di rinforzi;
- software per il calcolo dei rischi e l'affidabilità dei materiali;
- misurazione e previsione degli effetti del rumore e delle vibrazioni.

Il test site è stato dismesso per mancanza di fondi, fondi che sono venuti a mancare alla ricerca in un periodo in cui i Paesi Bassi e le relative industrie non soffrendo di crisi economica, non sentivamo la necessità di migliorare la produzione in campo di componenti edilizi.

Oggi, TNO, sta cercando di riattivarsi nell'ambito delle prove in situ su nuovi componenti edilizi.

Scheda tecnica Test site presso TNO	
Stato	Paesi Bassi
Località	**Delft**
Indirizzo	TNO The Netherlands Organization for Applied Scientific Research Building and Construction Research Department of Building Physics, Indoor Climate and Systems (BBI) P.O. Box 49, 2600 AA Delft, The Netherlands
Tel	**+31 15 269 53 00**
Fax	+31 15 269 52 99
Latitudine	**51º 58' N**
Longitudine	4º 22' E
Altitudine	**-1.8 m**
Anno di costruzione del test site	1986
Numero di test cell originarie	**5**
Numero di test cell oggi in uso	-
Persone da contattare	**Dick van Dijk: H.vanDijk@bouw.tno.nl**
Sito web	http://www.bouw.tno.nl

Misure condotte tramite test cell

Elementi opachi	☐
Elementi finestrati	☐
Vetri speciali	☐
Fotovoltaico integrato	☐
Pareti ventilate	■
Componenti PCM	☐
Tetti ventilati	☐
Luce naturale	☐
Comfort termico	☐
Ventilazione	■
Infiltrazioni	☐
Numero di ricambi di aria	☐
Inquinanti	☐
Massa termica	☐

Descrizione sintetica della/e test cells

Struttura portante metallica	■
Struttura portante legno	☐
Struttura su base rotante	☐
Struttura su base fissa	■
Componente di prova verticale	■
Componente di prova orizzontale	☐

Dimensioni interne	
Altezza (m)	2.75
Larghezza (m)	5.00
Lunghezza (m)	2.76

Fig.I.110

Fig.I.111
Immagini del test site al TNO.
Credits: PASLINK.

I.1.3.22 Caso studio 20: test site presso INCAS

Il LEB è un laboratorio di ricerca nazionale che fa parte dell'istituto Nazionale per le Energie Solari, INES.

E' stato creato nel 2006 vicino Chambery, sulle Alpi Francesi. Il sito INCAS è un test site che include 3 test cell del tipo PASSYS, cioè adiabatiche, con strutture portanti in acciaio, senza schermatura solare esterna, oltre 3 edifici residenziali sperimentali.

Le test cell sono state acquisite dal centro di ricerca CEA, Cadarache, originariamente realizzate negli anni '80, con il progetto PASSYS. Sono quindi state ristrutturate ma solo dal punto di vista strutturale, quindi concettualmente riflettono l'idea delle test cell così come è nata nel progetto PASSYS.

Fig.I.112
Immagine del test site di Ines. Credits: V. Renzi.

Una delle test cell è stata posta su piattaforma girevole ed equipaggiata con unità di trattamento aria.

Le test cell vengono utilizzate quindi come laboratori, per una sommaria caratterizzazione dei componenti di facciata in condizioni climatiche esterne.

Il sito è stato inoltre attrezzato con tre laboratori all'aperto realizzati per misurare la performance energetica di tre edifici residenziali simili nella forma, ma con soluzioni tecnologiche diverse: la prima è realizzata in blocchi di calcestruzzo, l'altra in calce strutto pieno, la terza ha struttura portante in legno; i tre edifici hanno isolamento termico di spessore diverso, ma tutte e tre sono state realizzate per soddisfare i requisiti delle Passivhaus, quindi per non avere consumi energetici superiori ai 15 kWh/m^2.

Le case sperimentali non sono abitate, ma i consumi sono simulati, in accordo ai consumi medi delle famiglie francesi. I tre edifici hanno pannelli fotovoltaici sul tetto e due di esse hanno pannelli solari di vario tipo installati sui balconi.

Criticità rilevate

Ponti termici	■
Infiltrazioni di acqua	■
Assenza di schermatura solare esterna	■
Adiabaticità	■
Frame non isolato	■

Fig.I.113. Il test site Ines, ha tre test cell di cui due sono del tipo PASSYS ed una Paslink, su piattaforma girevole. Tutte e tre le test cell sono state acquisite nel 2002 dal Centro di ricerca CEA e ristrutturate. Credits: V. Renzi.

Scheda tecnica Test site presso INES	
Stato	Francia
Località	**Le Bouget du Lac Cedex**
Indirizzo	INES RDI – CEA Savoie technolac – BP332 50 av. Du Lac Lèman 73377, Le Bouget du Lac Cedex
Tel	**+33 479444609**
Fax	+33 479444609
Latitudine	**45° 38' N**
Longitudine	5° 52' E
Altitudine	**235 m s.l.m.**
Anno di costruzione del test site	2006
Numero di test cell originarie	**3**
Numero di test cell oggi in uso	3 + 3 edifici residenziali
Persone da contattare	**Virginie Renzi: virginie.renzi@cea.fr**
Sito web	-

Misure condotte tramite test cell

Elementi opachi	■
Elementi finestrati	■
Vetri speciali	□
Fotovoltaico integrato	□
Pareti ventilate	■
Componenti PCM	□
Tetti ventilati	□
Luce naturale	■
Comfort termico	■
Ventilazione	■
Infiltrazioni	□
Numero di ricambi di aria	□
Inquinanti	□
Massa termica	□

Descrizione sintetica della/e test cells

Struttura portante metallica	■
Struttura portante legno	□
Struttura su base rotante	■
Struttura su base fissa	■
Componente di prova verticale	■
Componente di prova orizzontale	□

Dimensioni interne	
Altezza (m)	2.75
Larghezza (m)	5.00
Lunghezza (m)	2.76

CAPITOLO I.2 AMBITO GEOGRAFICO DI RIFERIMENTO

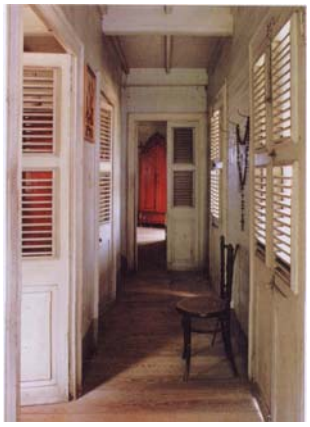


Fig.I.114. Interno di edificio residenziale a Tunisi. Schermature in legno sulle facciate interne. Credits: Walid Saidane

Fig.I.115. Porticati su edificio residenziale in periferia di Atene. Credits: M. Mouris

Fig.I.116. Cortile interno con porticato Dar Ben Abdallah, Medina di Tunisi. Credits. Walid Saidane

I.2.1.PERCHÈ UNA TEST CELL PER IL CLIMA MEDITERRANEO

La progettazione di una test cell per il clima Mediterraneo nasce dall'esigenza di testare nuovi componenti di facciata e di tetto che siano in grado di soddisfare le esigenze dell'utenza oltre che le prestazioni richieste dalle normative vigenti.

Le esigenze sono espresse sia dalle normative sull'efficienza energetica degli edifici che dalla conseguente necessità delle ditte di componenti edilizi di sperimentare e trovare nuove soluzioni di involucro.

Le normative dettano oggi dei valori minimi prestazionali sui componenti edilizi sia opachi che trasparenti e chiedono al progettista una quantificazione energetica complessiva che tenga conto delle esigenze dell'utenza. Le esigenze dell'utenza vengono esplicitate in termini di temperatura e umidità relativa interna che ovviamente dipendono dalle condizioni climatiche esterne e al contorno.

Questo vuol dire che un componente edilizio deve avere delle prestazioni energetiche che in clima mediterraneo si traducono in requisiti termici sia sulla trasmittanza termica che sul fattore di attenuazione.

La test cell in clima Mediterraneo dovrà quindi essere in grado di testare in regime variale reale dinamico sia la prestazione energetica del componente sia la sua capacità di mantenere o trasferire il calore in un tempo tale da controllare il surriscaldamento estivo.

Vediamo quindi di individuare le peculiarità del clima mediterraneo e di contestualizzarlo alle esigenze termo igrometriche degli occupanti, cioè degli utenti finali.

I.2.1.1 Il clima Mediterraneo

Il pianeta Terra riceve un irraggiamento solare che varia a causa della sua forma sferica, dell'inclinazione del suo asse e della rotazione, facendo registrare temperature molto diverse e di conseguenza stagioni e tipi di clima diverso a seconda della vicinanza al Sole. Esistono diverse classificazioni climatiche e tra esse la più diffusa e quella del 1923[1] conosciuta come "classificazione eco climatica" che suddivide la Terra in quattro zone climatiche sulla base di grandezze metereologiche quali per esempio la temperatura, le precipitazioni, i venti:

- zona polare
- zona temperata
- zona subtropicale
- zona tropicale

L'area del Mar Mediterraneo secondo questa classificazione copre sia la zona temperata che la zona subtropicale, ma per le particolari caratteristiche geografiche, di venti, di umidità e livelli di radiazione solare ha delle caratteristiche di peculiarità che necessitano di particolare attenzione nell'ambito della progettazione a basso consumo energetico, sia delle problematiche invernali che di quelle estive.

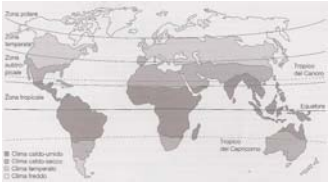


Fig.I.117. Zone climatiche della terra. Atlante della sostenibilità, UTET.

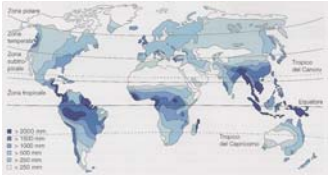


Fig.I.118. Distribuzione delle precipitazioni annuali. Atlante della sostenibilità, UTET.

Fig.I.119. Distribuzione dell'irradiazione solare annua. Atlante della sostenibilità, UTET.

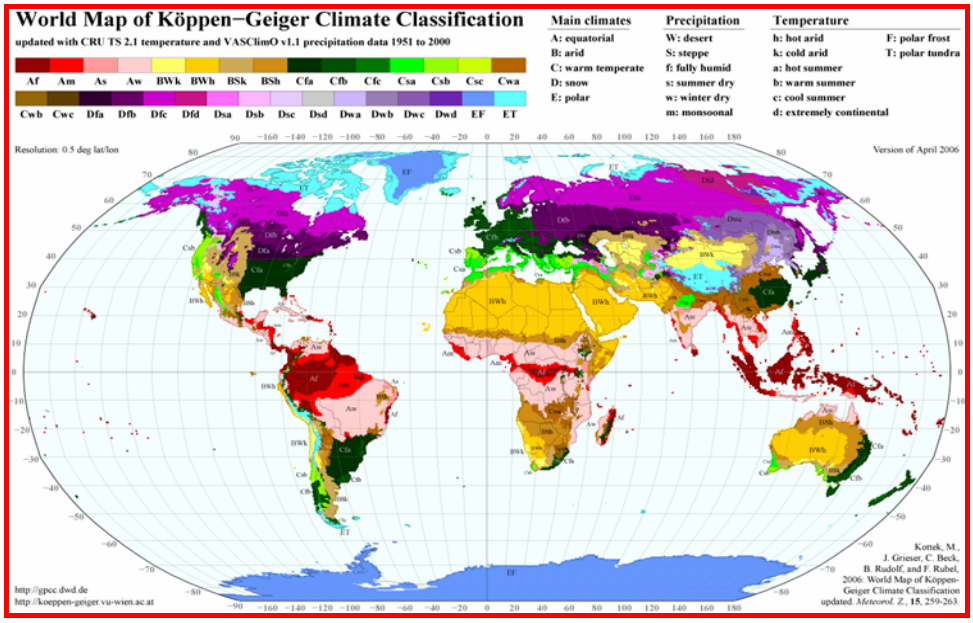


Fig.I.120. Carta con la classificazione climatica definita da Köppen

[1] Laurer W., Klimatologie, Braunschweig 1995.

Il primo a definire il clima Mediterraneo fù Köppen che lo individuò tra i climi temperati e lo definì Clima Etesio, caratterizzato da un lungo periodo di siccità estiva ed inverni miti ma piovosi. Il mare, trattenendo il calore estivo e rilasciandolo in inverno (l'acqua ha una altissima inerzia termica) contribuisce a determinare il clima, temperato caldo, con escursioni termiche giornaliere ed annue modeste. Köppen fece una classificazione climatica considerando la temperatura e le precipitazioni di pioggia, senza entrare nel merito degli effetti della pressione, della prevalenza e velocità dei venti e delle perturbazioni.

In base al sistema Köppen le regioni climatiche si distinguono in sei macroaree, contraddistinte da lettere maiuscole A, B, C, D, E, H.

In Europa, il Clima Mediterraneo è tipico delle regioni che si affacciano sul mar Mediterraneo: il centro-sud della Spagna, la costa mediterranea della Francia, della penisola balcanica e della Crimea. In Italia caratterizza principalmente le zone costiere e limitrofe oltre l'Italia meridionale, la Sicilia e la Sardegna, ad eccezione delle relative zone di alta montagna (per esempio: la Sila in Calabria, Enna in Sicilia etc).

Ma possiamo considerare il clima Mediterraneo unico della zona del Mar Mediterraneo? Recenti studi[2] sul clima e di geografia fisica, assimilano alle caratteristiche del Clima Mediterraneo anche aree limitrofe alle coste turche e del Vicino Oriente, ma anche in Africa sulle coste del Maghreb e nella regione del Capo; e ancora nelle Americhe hanno un clima paragonabile la California costiera e il Cile centrale; ed ancora in Australia la costa sudoccidentale.

Si estende quindi come definizione a quelle zone climatiche situate poco più a nord o poco più a sud dei Tropici, vicine a mari e oceani, che rendono il clima piuttosto mite.

In definitiva, essendo caratterizzato da un clima mite, non essendo prevalenti le problematiche di comfort relative ad una stagione piuttosto che ad un'altra, il progettista dovrà confrontarsi in area Mediterranea con edifici che risultino soddisfacenti in termini di rapporto comfort-spesa energetica, considerando sia le problematiche invernali che quelle estive, caratterizzate

[2] Mario Pinna, *L'atmosfera e il clima*, Torino, UTET, 1978.
Fulvio Fulvi, *Dizionario di geografia fisica*, Roma, Newton Compton, 1996.

principalmente dalla forte radiazione solare diretta che provoca surriscaldamento.

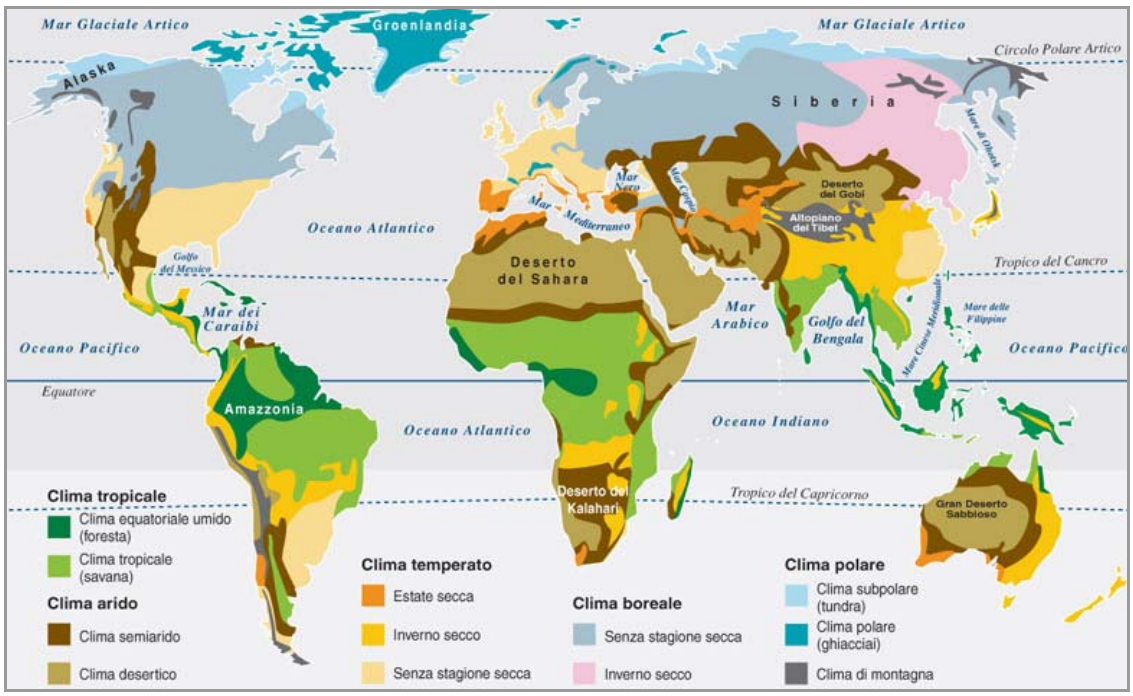


Fig.I.121. Carta di L. Canali tratta dal Quaderno Speciale di Limes 1/2006 "Tutti giù per terra"

I.2.1.2 Il comfort termo-igrometrico

Il progetto architettonico non può prescindere dall'intenzione di creare un edificio confortevole per gli occupanti. Bisogna quindi investigare sul termine Comfort e come il progettista si misura e confronta con esso.

Il *benessere termoigrometrico* o *thermal comfort* è definito[3] come *quel particolare stato della mente che esprime soddisfazione con l'ambiente circostante.*

Progettare un edificio confortevole, vuol dire entrare nel merito di questioni termiche, visive ed acustiche. Benchè l'uomo associ ad oggi culturalmente al concetto di comfort negli edifici quello specifico inerente alle questioni legate alla temperatura interna, non si può infatti prescindere dal fatto

[3] Definizione tratta da ASHRAE (1992) *Standard 55 – Thermal Environment Conditions for Human Occupancy,* American Society of Heating Ventilating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, USA.

che la sensibilità dell'utente nei confronti delle questioni acustiche e luminose risulti sempre più importante.

Fig.I.122. Comfort termico, acustico, visivo. Credits: LEARN, UK

Gli utenti di oggi sono molto più esigenti degli utenti del dopoguerra, che avevano come obiettivo quello di ricostruire un tetto e ricominciare un nuovo e positivo capitolo della propria vita!

Oggi l'attenzione dell'utente finale nei confronti della qualità del bene immobile è senza dubbio più esigente sia nei confronti del tema energetico che di quello relativo al comfort.

La norma tecnica EN 15251:2007 (*Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*) considera gli indici di comfort termico (oltre che luminoso, acustico e di qualità dell'aria) e i metodi per calcolarli.

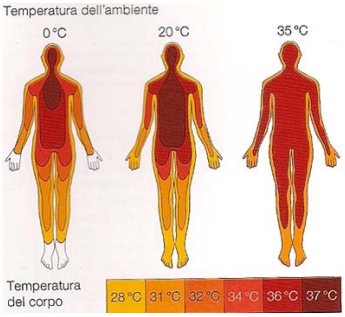


Fig.I.123. Credits: Atlante della sostenibilità, UTET.

La norma considera il comfort termico in termini di temperatura di comfort che dipende dal tipo di sistema usato per riscaldare o raffrescare.

Per esempio, se il raffrescamento è fornito mediante un sistema meccanico quindi attivo, allora le temperature interne devono rispettare quelle definite nella UNI 7730 dal modello di Fanger[4]. Se in maniera alternativa si utilizzano strategie di raffrescamento passivo, per esempio la ventilazione naturale, allora si ricorre al calcolo della temperatura di comfort tramite il modello di Comfort Adattivo.

Fig.I.124. Porticati esterni per garantire ombreggiamento negli spazi urbani e quindi soluzioni alla ricerca del comfort termico. Maison baron d erlange, Sidi bou Said. Credits: Walid Saidane.

Secondo il Modello di Fanger, la persona è un soggetto passivo di scambio termico.

Gli indici di comfort secondo il modello di Fanger sono:

- il PMV (Predicted mean vote o Voto Medio Previsto) e
- il PPD (Percentage of Person Disatisfaied cioè la percentuale di persone insoddisfatte).

Il PMV esprime la sensazione media di comfort degli occupanti di una stanza ed è funzione delle seguenti variabili:

- temperatura (Ta)
- umidità relativa (Ur)
- velocità dell'aria (v)

[4] Povl Ole Fanger (July 16, 1934 – September 20, 2006) esperto nel campo degli effetti sulla salute dell'uomo provocati dalle condizioni interne ambientali.

- temperatura media radiante (Tm_rad)
- isolamento termico del vestiario (clo)
- livello di attività metabolica (met)

PMV = f(Ta, Ur, v, Tm.rad, clo, met)

Negli ultimi anni nuovi studi sul comfort termo-igrometrico[5] hanno messo in evidenza che il comfort termico dipende anche da altri e non meno importanti fattori come quelli climatici, culturali, sociali, psicologici e contestuali[6]. In questo senso, progettare una camera di ospedale oppure una stanza per i massaggi, deve tener conto della predisposizione del soggetto ad adattarsi all'ambiente con cui si relaziona.

Nasce quindi il modello di comfort adattivo: *If a change occurs such as to produce discomfort, people react in ways which tend to restore their comfort*; il soggetto occupante di un edificio non è più semplicemente inteso come un soggetto passivo, così come appariva nel modello statico di Fanger, ma risulta un soggetto che interagisce a tutti i livelli con l'ambiente in cui vive o lavora.

La filosofia di questo metodo infatti vede l'occupante di un ambiente svolgere un ruolo attivo nella ricerca delle condizioni termiche che preferisce e per raggiungere più facilmente la soddisfazione nei confronti del microclima, attua un processo di adattamento, definito come processo di graduale diminuzione delle reazioni individuali agli stimoli ambientali.

Il modello adattivo, generalmente, definisce temperature di comfort maggiori e più flessibili rispetto al modello di Fanger. Spesso la temperatura di comfort adattiva ottimale può essere raggiunta utilizzando strategie di raffrescamento passivo, quali per esempio la ventilazione naturale, la ventilazione notturna, l'ombreggiamento delle finestre.

Fig.I.125

Fig.I.126

La necessità del comfort, si esprimeva in passato attraverso il linguaggio architettonico. Tessitura di pareti in chiaro-scuro a Tozeur. Credits: Walid Saidane

[5] Humphreys, M.A. and Nicol, J.F. (1995) An adaptive guideline for UK office temperatures. in *Standards for thermal comfort: indoor air temperature standards* 58 *for the 21st century. (Ed. Nicol JF, Humphreys MA, Sykes O and Roaf S)* London, E & FN Spon

[6] Humphreys, M.A. and Nicol, J.F. (2000) Outdoor temperature and indoor thermal comfort: raising the precision of the relationship for the 1998 ASHRAE database of field studies *ASHRAE Transactions* 206(2) pp 485-492

Esso propone una correlazione tra la temperatura di comfort per gli occupanti (T op) di un edificio e la temperatura dell'aria esterna (Tem) secondo la EN 15251:2007:

Top = 0,33*Tem +18,8 (*Temperatura operativa ottimale giornaliera/oraria*)

Per prevedere le condizioni di comfort termico-igrometrico interne ad un edificio in base alle condizioni climatiche esterne prevalenti, può essere considerato uno strumento molto utile Il diagramma bioclimatico di Givoni[7].

Sul diagramma psicrometrico sono sovrapposti i limiti delle strategie di raffrescamento e riscaldamento passive che includono:

- massa termica
- raffrescamento evaporativo
- ventilazione naturale diurna e notturna
- raffrescamento e riscaldamento passivo

Il diagramma bioclimatico di Givoni è pertanto uno strumento di progetto ovvero di supporto al progetto bioclimatico**,** per scegliere le strategie progettuali perseguibili per ottenere condizioni di comfort in un edificio in funzione della zona climatica di appartenenza.

I.2.1.3 Soluzioni tecnologiche tradizionali in clima Mediterraneo

Tradizionalmente, le costruzioni in area Mediterranea sono caratterizzate da strutture massive in grado di controllare le escursioni termiche tra il giorno e la notte e contrastare il surriscaldamento termico estivo.

Negli anni '60 il patrimonio architettonico è stato pervaso da un clima di progettazione di tipo globalizzato: la progettazione impiantistica, in grado di risolvere il problema del comfort termo-igrometrico, ha preso il sopravvento ed è venuto a mancare il fondamento dell'architettura intesa come progetto legato al luogo e al clima esterno.

Il progettista ha per anni perseguito la sfida di realizzare edifici che andassero bene in qualsiasi contesto climatico e culturale, allo scopo di soddisfare

[7] Givoni Baruch, Passive Low Energy Cooling of Buildings, John Wiley & Sons, 1994.

le più svariate esigenze creative personali demandando agli impiantisti il compito di sopperire alle esigenze di comfort termo igrometrico e visivo e acustico.

Fig.I.127. Vista notturna dell Tornado Tower, Doha.

Fig.I.128. La Tornado Tower di giorno.

Fig.I.129. Vista notturna dell Tornado Tower, Doha dalla baia.

Esempi di architettura contemporanea de-contestualizzata.

In alto: il Tornado Tower a Doha dispone di oltre 30.000 metri quadrati di facciata continua composta da 6.000 pannelli vetrati in 50 formati diversi. Sulla destra edificio vetrato per uffici a Londra. In basso, la torre The Gherkin, a Londra è anche essa tutta vetrata.

Fig.I.130. The Gerking. Vista dell'esterno.

Fig.I.130. The Gerking. Vista dall'interno verso l'esterno.

Fig.I.130. The Gerking. Panorama dal ristorante dell'ultimo piano.

Sono quindi stati realizzati edifici vetrati a Dubai come a Londra, a Catania così come ad Amburgo con edifici high-tech, de-contestualizzati e senza relazione con il clima specifico locale e con il contesto materico e culturale del luogo.

"Per chiunque sia disposto a pagare la conseguente bolletta per l'energia consumata, è ora possibile vivere in qualsiasi tipo o forma di casa piaccia, in qualsiasi parte del mondo venga in mente di stare. Grazie all'impiantistica, si può vivere sotto soffitti bassi nei tropici, dietro pareti sottili nell'artico e sotto tetti non

isolati nel deserto. Tutte le regole per il controllo climatico attraverso la struttura e la forma sono rese obsolete[8]*"*

Fig.I.131.
Esempio di architettura in clima Mediterraneo.
Costruzioni massive, piccole finestre, balconi, loggiati, facciate di colore chiaro, sistemi di protezione solare esterna.
Santorini. Credits: M. Sala

All'indomani della crisi petrolifera del 1973, e con maggior forza oggi, la questione ambientale impose un atteggiamento diverso: l'edificio deve essere progettato finalizzandolo al risparmio energetico, edifici a energia quasi zero, cercando soluzioni e strategie che mettano in relazione l'edificio con il contesto climatico, senza necessariamente ricorrere ad una architettura vernacolare ma nel rispetto delle nuove tecnologie maturate e concepite per essere adottate *cum granu salis*.

Dal punto di vista tipologico, l'architettura del Mediterraneo è caratterizzata sempre più dalla ricerca di un equilibrio tra la forma compatta che possa ridurre le dispersioni termiche in inverno, ed una forma che contemporaneamente riesca ad aprirsi verso l'esterno, favorendo la ventilazione naturale e il raffrescamento passivo; una architettura che tiene conto del fatto che tutti gli edifici soggetti alla luce naturale, usufruiscono contemporaneamente di luce e di energia solare e che quindi la luce è energia e come tale và controllata per ridurre gli effetti del surriscaldamento estivo. Architettura quindi caratterizzata da elementi di protezione solare, come schermature o aggetti, o soluzioni e strategie tecnologiche che vedono nell'orientamento dell'edificio, nella forma dell'edificio nuovi stimoli progettuali.

Fig.I.132.
Esempio di architettura in clima Mediterraneo.
Il Baglio trapanese si sviluppa attorno ad una corte centrale. Poche le finestre, costruzioni massive, ventilazione trasversale, apertura verso l'esterno e la natura, cisterne per la raccolta delle acque piovane.
Baglio Basile, Trapani.
Credits. G. Alcamo

L'architettura mediterranea è tradizionalmente una architettura massiva, caratterizzata da piccole finestre disposte in modo da consentire una adeguata ventilazione naturale. Il rapporto con l'esterno inteso come ambiente esterno alla casa, ha spesso avuto un ruolo particolarmente affascinante e romantico.

Basti pensare ai giardini arabi, oggi ancora diffusi nel Mediterraneo e in particolare a quelli dell'isola di Pantelleria, ovvero ai dammusi Panteschi, o ai Trulli di Alberobello, ai Nuraghi Sardi, alle soluzioni ipogee adottate nelle cave recuperate dell'isola di Favignana, o alle soluzioni a *baglio* della Sicilia occidentale.

Oggi il progettista illuminato, cerca nell'architettura tradizionale spunti di riflessione che contemplano sia il rapporto culturale con l'edificio da abitare, sia le relazioni con gli spazi esterni, sia le connessioni con il clima locale, senza

[8] Peter Reyner Banham, *The Architecture of Well-Tempered Environment* 1969

trascurare prodotti e materiali e soluzioni tecnologiche che mirano al contenimento energetico e al soddisfacimento del comfort indoor.

Di seguito alcuni esempi di architettura tradizionale vernacolare e di progetti contemporanei in area Mediterranea.

I.2.1.3.1

IL DAMMUSO DI PANTELLERIA E IL GIARDINO ARABO

Fig.I.133. Ingresso ad un giardino arabo, Pantelleria, contrada Scauri.

Il termine Dammuso identifica una tipica abitazione dell'isola di Pantelleria; il termine, di origine araba, significa volta estradossata, e identifica una delle peculiarità di queste caratteristiche abitazioni. In blocchi di roccia vulcanica locale assemblati rigorosamente a secco, il dammuso è caratterizzato da tre ambienti interni: il principale è la ***kammira***, cui sono affiancate l'***arkova*** e il ***kammirino***, che nel complesso costituiscono un'unica cellula abitativa.

Poche ed essenziali le aperture che si limitano alla porta d'ingresso e a piccole finestre chiamate gli ***occhi di pietra***. Erge su fondazioni di poco meno di 50 cm di profondità, murature di elevato spessore, normalmente tra gli 80 cm e 1 metro che permettono di assorbire le spinte delle coperture e di controllare termicamente l'ambiente interno grazie alla elevata massa termica.

Fig.I.134. I capperi, vegetazione che contrasta con il colore scuro della pietra vulcanica.

Natura, morfologia e caratteri climatici del luogo sono elementi da cui non si può prescindere nello studio di soluzioni tecnico-costruttive adottate. Nello specifico, i prolungati periodi di siccità rendono necessaria la realizzazione di un sistema di raccolta delle acque piovane, e ciò giustifica l'abbondante presenza di tetti a volta estradossata, con finitura in calce bianca per ridurre l'assorbimento solare in copertura.

Esclusive e razionali le sistemazioni esterne, rappresentate dai **giardini**.

Anche essi realizzati con muratura a secco, edificate su pianta comunemente circolare, con muri alti circa 3 metri, a proteggere e preservare dai forti venti marini una o più piante in particolare agrumi e alberi da frutto. Puro romanticismo o amore e dedizione per la natura?

Fig.I.135. Gli spazi esterni sono protetti da pergolati.
Credits: G. Alcamo

Fig.I.136. Porticati di un grande e ristrutturato dammuso.

Fig.I.137. Il Giardino Arabo costruzione in pietra vulcanica, massiva, a protezione delle piante da frutto.

*Fig.I.138. Gli estradossi delle cupole adiacenti, operano da fenditure entro le quali l'acqua piovana può scorrere fino ad una prospiciente **cisterna** interrata.*

I.2.1.3.2

I TRULLI PUGLIESI

Dal greco *τρούλος*, cioè *cupola*, i trulli sono antiche costruzioni coniche, in pietra *a secco*, tipiche ed esclusive della Puglia centro-meridionale.

I trulli più antichi di cui ci resti traccia oggigiorno sono stati costruiti nel XVI secolo a ridosso dell'altopiano pugliese della Murgia.

Quelli di Alberobello sono stati dichiarati Patrimonio mondiale dell'umanità dall'UNESCO.

Di seguito alcune strategie costruttive che fanno del Trullo un esempio di architettura sostenibile e bioclimatica:

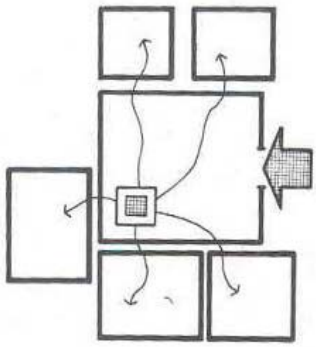


Fig.I.139. Pianta classica di un trullo a base quadrata con camino centrale e ambienti adiacenti alla zona centrale che funge da zona giorno.

- La pietra calcarea, usata sia per le pareti che nella copertura per la sua elevata inerzia termica, contribuisce ad isolare l'abitazione nei mesi invernali ed estivi, grazie all'elevata inerzia termica del materiale.

- Nei mesi invernali l'abitazione è riscaldata da un'unica fonte di calore, il focolare, presente nel vano centrale in modo che la circolazione dell'aria calda avvenga uniformemente in tutti gli ambienti dell'abitazione.

- La disposizione delle aperture favorisce la ventilazione naturale degli ambienti interni

Fig.I.140. Trulli di Alberobello. Credits: M. Zingarelli

I.2.1.3.3

I GIARDINI DELL'ALHAMBRA, GRANADA

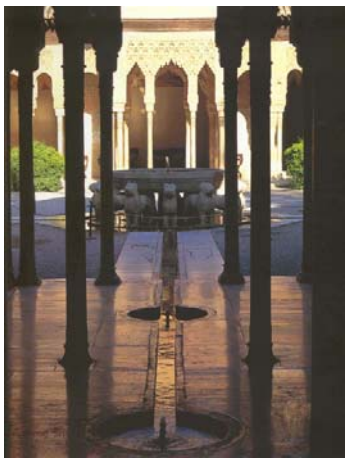


Fig.I.141

Egregio esempio di architettura Mediterranea bioclimatica è L'Alhambra di Granada.

Si tratta di un complesso di edifici in Andalusia, una vera e propria città murata con scuole, botteghe, moschee e tutto ciò che serviva ai suoi abitanti.

Dall'arabo "al-Hamrā" cioè la Rossa, deriva probabilmente il suo nome dal colore rosato delle mura che la circondavano.

Immersa nel verde, è concepita in armonia con le piante e con l'acqua, creando un microclima tale da favorire il raffrescamento e la ventilazione degli spazi aperti e di conseguenza anche degli edifici che li circondano.

A differenza dai due esempi di architettura presentati nei paragrafi precedenti, l'Alambra è un complesso unico nel suo genere e fu palazzo, cittadella e fortezza, residenza dei sultani Nazaríes, e degli alti funzionari, servitori della corte e soldati d'elite (secoli XIII-XIV).

Fig.I.142. Vista dello specchio di acqua all'Alambra. Vegetazione e acqua sono due elementi che si integrano all'architettura del sito. Fanno parte del progetto architettonico. Credits: M. Villalta

Attualmente è un monumento nel quale si distinguono quattro zone: i palazzi, la zona militare o Alcazaba, la città o Medina e la zona agraria del Generalife, tutto questo circondato da zone boschive, giardini e terreni irrigati.

Fig.I.143. Vasca di acqua all'aperto: l'evaporazione e la ventilazione migliorano il comfort durante le ore più calde. Credits: M. Villalta

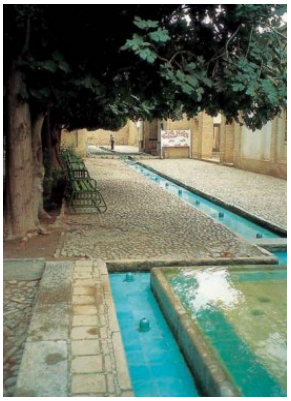


Fig.I.144. Percorso dell'acqua. Credits: M. Villalta

Fig.I.145. Il Patio dei Leoni. Credits: M. J. Jimenez

I.2.1.3.4
TORRI DEL VENTO IN IRAN

Le torri del vento in Iran sono magistrali esempi di architettura strategica bioclimatica che riesce a difendere gli occupanti da avverse condizioni climatiche.

A queste latitudini, infatti, gli sbalzi di temperatura tra il giorno e la notte sono notevoli e si tende a sfruttare il raffrescamento notturno tramite ventilazione notturna.

Si fa riferimento alle note torri del vento o *Baud Geers*, che, appunto, nella lingua iraniana significa "acchiappa-vento". Si tratta di una sorta di camino suddiviso in più sezioni da setti verticali realizzati in mattoni.

Durante la notte la torre del vento si raffredda lentamente e successivamente, durante il giorno, l'aria, a contatto con la muratura in mattoni, si raffredda diventando a sua volta più densa, scende conseguentemente verso il basso ed entra nell'edificio[9].

La pressione di quest'aria fresca spinge fuori l'aria calda presente all'interno dell'edificio attraverso le porte e le finestre.

Durante il giorno, la torre si riscalda lentamente e questo calore viene ceduto all'aria durante la notte creando una corrente ascendente.

Pertanto è possibile utilizzare la torre del vento per raffrescare l'edificio a seconda delle necessità climatiche delle stagioni, chiudendo o aprendo in maniera opportuna le vie di comunicazioni tra le varie sezioni della torre e l'edificio.

Protagonista del funzionamento è quindi l'utente finale che consapevole dei benefici che ne derivano e motivato a conseguire un sufficiente comfort termico, gestisce l'edificio aprendo e chiudendo le opportune vie di ventilazione.

Alcune torri del vento hanno una copertura a cupola a sua volta sormontata da una calotta all'interno della quale vi sono praticate altre piccole aperture che convogliano il vento per aumentare l'effetto di depressione e quindi di estrazione dell'aria.

Esistono inoltre, nell'architettura tradizionale iraniana, anche altri sistemi di raffrescamento naturale, peraltro più efficaci, che utilizzano anche l'acqua sfruttando, in questo caso, soprattutto il raffreddamento per evaporazione.

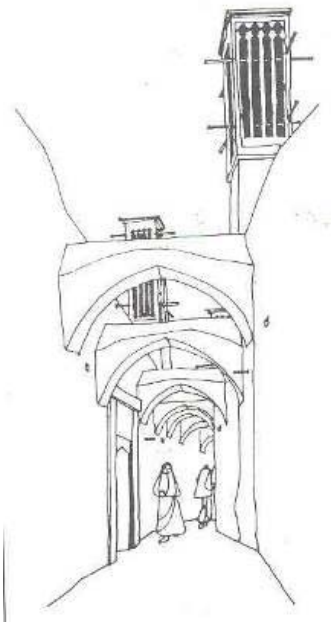


Fig.I.146. Torri del vento in Iran. Credits: Olgay.

Fig.I.147. Torri del vento. Credits: M. Sala

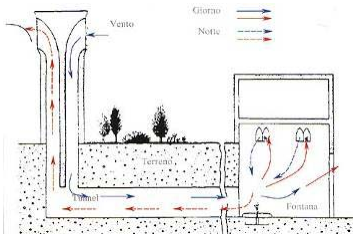


Fig.I.148. Schema del funzionamento di una torre del vento.

[9] "L'edificio ecologico, principi ispiratori, criteri progettuali, normativa ed incentivi economici", Buffetti editore, Roma 2004.

I.2.1.3.5
ISTITUTO DEL MONDO ARABO

Fig.I.149.
L'istituto del Mondo Arabo, vista dall'esterno. Credits: R. Romano

Fig.I.150.
Istituto del Mondo Arabo di Parigi.

In alto, vista dall'interno della sala lettura.
In basso, a sinistra dettaglio dell'Alambra di Granada che ha ispirato il progetto della facciata dell'istituto del Mondo Arabo. A seguire, le formelle che si aprono e chiudono a seconda dell'intensità luminosa rilevata da celle foto-sensibili.
Credits: R. Romano

Altrettanto affascinante è vedere come alcuni architetti contemporanei si esprimono cercando di rappresentare la cultura architettonica, nello specifico araba, con un linguaggio moderno e tecnologico.

Il Mediterraneo è stato nei secoli luogo di convergenza e scambio culturale, fungendo da aggregante tra i popoli che vi si affacciavano. Le influenze e gli scambi culturali hanno interessato la sfera linguistica, quella delle relazioni sociali, quella culinaria, filosofica, scientifica e tecnologica oltre che architettonica.

L'Istituto del Mondo Arabo (1987), a Parigi, su progetto dell'architetto francese Jean Nouvel, si inserisce nella politica delle grandi opere voluta da Francois Mitterand e dimostra la volontà di ampliare le relazioni diplomatiche tra la Francia e i paesi Arabi.

La richiesta della committenza era quella di una architettura in grado di coniugare modernità e tradizione senza trascurare quei tratti che figurativamente e storicamente distinguono la tradizione e composizione mediorientale. La luce quindi al centro del progetto: essa è l'elemento dominante del progetto; l'intera facciata orientata a Sud è disegnata come un *moucharabieh*, ma rivisitato e interpretato in chiave moderna.

Si tratta di elementi geometri quali il cerchio, il quadrato, la stella, il pentagono, che come un obiettivo fotografico, si aprono e si chiudono a seconda dell'intensità luminosa rilevata da celle foto-sensibili poste sulla facciata. Tutto ciò crea continui movimenti di luce che rendono originale, unico, interessante sia il progetto che lo starci dentro. Il progetto viene qui riportato non come progetto di architettura Mediterranea, ma come progetto che interpreta la cultura Mediterranea: la necessità di comunicare con l'esterno, la luce come elemento progettuale chiave, le schermature come protezioni solari necessarie per controllare il surriscaldamento.

Fig.I.150

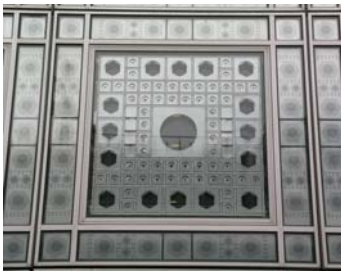


Fig.I.151

Fig.I.152

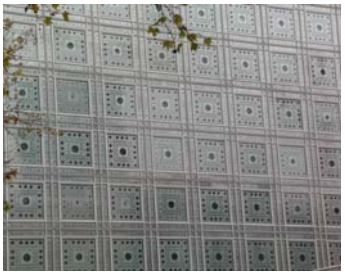


Fig.I.153

I.2.1.3.6
CASA DI CAMPAGNA IN SICILIA

Il progetto **"Casa di campagna in Sicilia"**, del giovane architetto Ernesto Mistretta, collaboratore di Hans Walter Müller e **Jean Nouvel**, mette in luce una contemporanea necessità di tradizione.

Il baglio, nel trapanese, rappresenta una architettura abitativa e lavorativa di campagna dove le famiglie si trasferivano durante alcuni periodi dell'anno per la semina, per la raccolta delle olive, per la vendemmia; all'interno quindi ambienti destinati ad abitazione ed altri destinati alla lavorazione o conservazione dei prodotti dei campi.

Fig.I.154.
Baglio Isonzo, Scopello
Credits: E. Alcamo

Il baglio tradizionale è un edificio i cui ambienti disposti a corte, si affacciano sulla corte centrale. Piccole finestre poste anche sui lati esterni alla corte, consentono la ventilazione trasversale e il raffrescamento notturno.

Fig.I.155.
Baglio San Vincenzo, Trapani.
Credits.: F. Patti

Il progetto della casa di campagna di Mistretta, è una intepretazione in chiave bioclimatica del baglio, con camini di ventilazione e schermature mobili per riparare dal sole le facciate a sud che danno sulla corte dell'edificio; è un'abitazione di circa 140 mq. con annesso un piccolo volume esterno che contiene i sistemi di gestione energetica. La struttura è interamente in cemento armato, con 2 sezioni speculari e autonome che si connettono sul grande spazio living completamente aperto sul giardino privato. Caratteristica principale del progetto è la trasformabilità: ampie pareti perimetriche scorrevoli e le coperture mobili esterne permettono una notevole varietà di configurazioni e l'integrazione totale tra struttura e paesaggio. Un camino idraulico e dei pannelli solari consentono all'abitazione un consumo energetico autonomo ed eco sostenibile.

Il progetto è stato qui riportato come esempio di architettura Mediterranea contemporanea che interpreta in chiave moderna una sicilianità lineare e razionale, attingendo ispirazione alle case-baglio dove la relazione tra l'interno e l'esterno erano principalmente intese tra l'edificio e la sua corte.

Fig.I.156. Telo come schermatura solare sul patio.

Fig.I.157. Il patio.

Fig.I.158. Vista dal vigneto della casa di campagna.

I.2.2 COSA MISURARE E CONTROLLARE TRAMITE LA TEST CELL

Nel capitolo si individuano gli elementi di interesse su cui investigare tramite test cell, con particolare riferimento al Clima Mediterraneo.

La test cell è UNO strumento che potrà consentire lo studio su un componente sia opaco che trasparente, con particolare attenzione ai requisiti prestazionali termo-fisici. E' ovvio che un componente di facciata dovrà soddisfare anche altri requisiti, quali quelli acustici, di resistenza meccanica, di resistenza al fuoco e strutturali e che non potranno essere testati nella test cell.

E' interesse della Regione Toscana, ed è un impegno dell'Università degli Studi di Firenze di prendere contatti ed accordi anche con altri laboratori regionali o nazionali per creare una rete in grado di effettuare su nuovi componenti edilizi una serie di test che portino ad una schedatura completa del componente edilizio.

I.2.2.1 IL CONTROLLO DEL SURRISCALDAMENTO TRAMITE I COMPONENTI OPACHI

L'architettura moderna, caratterizzata da sistemi costruttivi prevalentemente leggeri, manifesta oggi una serie di problematiche che risultano essere tanto evidenti quanto trascurate dai progettisti. Si tratta infatti di architetture che spesso hanno poco a che fare con i riferimenti architettonici locali, sia in termini di materiali da costruzione, sia come espressione linguistica figurata di rapporti pieni-vuoti, sia in termici bioclimatici.

La moda di trasferire dai paesi del nord Europa stili architettonici moderni che fanno riferimento a sistemi tecnologici non del tutto appropriati al clima Mediterraneo è ormai oggi un problema che la maggior parte dei progettisti vede superato grazie all'utilizzo di impianti meccanici di riscaldamento e condizionamento.

Il fenomeno è più evidente nelle progettazioni di edifici di rappresentanza, aeroporti, alberghi, musei, allestimenti per vetrine di lusso.

Oggi, la normativa sul contenimento energetico e le esigenze esplicitate a livello prestazionale impongono ai progettisti una maggiore attenzione nella scelta delle soluzioni tecnologiche di involucro, cercando di ridurre il più possibile

i fenomeni connessi al surriscaldamento estivo con l'utilizzo di sistemi massivi in grado di ottimizzare lo sfasamento dell'onda termica o con sistemi trasparenti in grado di controllare la radiazione solare, diretta e diffusa.

Il surriscaldamento di un ambiente dipende da diversi fattori quali l'esposizione solare, la ventilazione, la capacità che hanno i componenti opachi e trasparenti di accumulare e rilasciare il calore, il rapporto tra le superfici trasparenti e le superfici opache, gli apporti energetici interni.

Entriamo nel merito delle superfici opache. Esse sono caratterizzate dalla trasmittanza termica che rappresenta il flusso di calore che attraversa una parete di 1 mq nell'unità di tempo. Quanto più alta è la trasmittanza termica di un componente opaco, tanto maggiore è il flusso termico che si trasferisce da una ambiente verso l'esterno. E' caratterizzato da un certo peso, da una densità e da una certa massa termica quindi che influenza i processi inerziali e quindi il comportamento termico del componente opaco.

In architettura, la funzione schermante alla radiazione solare è principalmente attribuita ad elementi opachi che possono essere sia le murature che le coperture opache, sia anche le schermature solari, verticali, orizzontali o inclinate. Dal punto di vista della trasmittanza termica infatti, ci sono oggi prodotti vetrati che hanno caratteristiche simili a quelle di un componente opaco, ma la trasparenza assicura il passaggio della luce e quindi inevitabilmente di energia all'interno dell'ambiente. Ecco che nel Mediterraneo è tradizionalmente diffusa una architettura con piccole finestre, con balconi e loggiati che offrono sia luce –non diretta- che ventilazione, riducendo molto il surriscaldamento.

Ma come avviene il trasferimento di calore? Il calore si trasferisce da un corpo più caldo ad uno più freddo. In inverno, quando le temperature interne sono superiori a quelle esterne, il flusso di calore si trasferisce dalla superficie interna a quella esterna, cioè l'involucro edilizio cede calore in maniera graduale.

Un flusso inverso si genera quando le temperature esterne sono superiori a quelle interne, per esempio durante la stagione estiva.

Durante il giorno, le variazioni di temperatura fanno si che il flusso di calore tra l'interno e l'esterno dell'edificio cambi in modo considerevole con il passare delle ore.

Una parte del calore riscalda gli stessi componenti dell'involucro durante il trasferimento di calore e a seconda della capacità dei materiali di accumulare calore, si identificano componenti ad alta o bassa massa termica.

Un componente che ha una elevata massa o inerzia termica non consentirà quindi il repentino trasferimento di calore che verrà invece ritardato nel tempo. Questo ritardo con cui l'involucro cede il calore accumulato si chiama **sfasamento**, ed indica il tempo, misurato in ore, che intercorre fra la massima temperatura all'esterno e la massima temperatura all'interno dell'ambiente.

L'onda termica che attraversa un componente esterno dell'edificio, quindi, sia esso un tamponamento verticale che una copertura, subisce durante il passaggio, una attenuazione della sua ampiezza detta anche smorzamento dell'onda termica. Lo **smorzamento dell'onda termica** è misurato dal rapporto fra la massima temperatura sulla superficie esterna e quella sulla superficie interna

Lo smorzamento dell'onda termica e lo sfasamento caratterizzano la capacità di accumulo termico di un componente edilizio, e ne condizionano pesantemente la dinamica termica; sono pertanto fondamentali per caratterizzare il comportamento di un componente in regime dinamico, sia in regime invernale che in regime estivo.

Molti gli studi condotti in merito ai benefici o meno della massa termica sul comfort termico interno, ovvero sui consumi energetici di edifici massivi sono stati condotti negli ultimi anni.

Alcuni di questi mettono in evidenza come la massa termica risulta di particolare interesse per migliorare il comfort termico in estate in area Mediterranea; altri mettono in evidenza che soluzioni massive e soluzioni opportunamente isolate termicamente invece, ai fini del comfort, sono paragonabili.

Oggi il concetto di massa termica e il suo utilizzo nei paesi del Mediterraneo è un ambito su cui investigare. Il progetto Abitare Mediterraneo,

condotto dall'Università degli Studi di Firenze, mira ad individuare nuove soluzioni di involucro edilizio che possano soddisfare requisiti prestazionali energetici e ridurre i consumi in area Mediterranea.

Diverse aziende sia di materiali isolanti che di materiali massivi, chiedono supporto nella progettazione di nuove soluzioni di involucro mirate al risparmio energetico e altre si prestano a commissionare attività di ricerca e sperimentazione in merito al rapporto costi-benefici relativi all'uso di un edificio massivo in area Mediterranea; un involucro massivo infatti, consente di diminuire l'uso degli impianti durante la stagione estiva, ma bisognerebbe investigare sulle conseguenze dell'involucro che accumula calore durante le ore di riscaldamento durante la stagione invernale[1].

Nei paesi del Mediterraneo quindi, investigare sulla massa termica significa studiare il comportamento dei componenti e dei sistemi in relazione al comfort termico annuale e in relazione alla spesa energetica annua.

I.2.2.2 RIDURRE IL SURRISCALDAMENTO TRAMITE LA VENTILAZIONE NATURALE

Recenti studi condotti sul surriscaldamento degli ambienti interni, in particolare in area mediterranea, hanno messo in evidenza che il ruolo della ventilazione come strategia di raffrescamento passivo risulta spesso essere sufficiente per raggiungere sufficienti livelli di comfort, anche in situazioni di sottotetto notoriamente soggette a *overheating* durante la stagione estiva.

Si fa riferimento in particolare allo studio condotto dal Centro ABITA, Università degli studi di Firenze, dal titolo "Summer Indoor comfort in the

---

1

- *Passive Houses in the Mediterranean Climate*, Jungen Schnieders, Passivehouseinstitute.
- *Influence of thermodynamic properties and thermal inertia of the building envelope on building cooling loads*, D. Jaumzens,
- *Review on thermal performance of phase change energy storage building envelope*, AA.VV. Chinese Science Bulletin 2009, pag. 920-928
- *Dynamic use of the building structure – energy performance and thermal environment,* Tesi di Dottorato di Rasmus Z. Hoseggen, NTNU, 2008-51

Mediterranean Area"[2]. Lo studio è stato condotto su un edificio residenziale unifamiliare rappresentativo, dal punto di vista geometrico, costruttivo e nelle modalità d'uso, dell'area del Sud del Mediteraneo, considerando la residenza di tipo occasionale, in particolare come edificio per le vacanze estive con localizzazione climatica Roma.

Obiettivo della ricerca è stato il confronto tra le condizioni di comfort termo-igrometrico all'interno della residenza e per semplificare lo studio è stato concentrato sull'ambiente che tendenzialmente ha il maggior carico termico interno anche in estate, cioè la cucina, per cercare di capire come risolvere il surriscaldamento in tale ambiente.

Sono quindi state prese in considerazione due stanze, poste una sopra l'altra, con eguale orientamento, eguale superficie calpestabile, eguale superfice vetrata, eguali internal gains, ma una stanza è all'ultimo piano –sottotetto- e la superficie vetrata è diversamente distribuita rispetto alla stanza posta nel piano inferiore.

Lo studio si è quindi concentrato sull'analisi del PPD e delle temperature minime e massime interne, oltre che sul numero di ricambi di aria utilizzando diverse startegie di ventilazione naturale, con aperture diverse e con schermature solari adeguate per prevenire il surriscaldamento durante la stagione estiva.

Le simulazioni energetiche sono state condotte in ESP-r con il contributo della University of Strachclyde di Glasgow che lo ha supervisionato.

Sono stati messi a confronto sui 4 orientamenti nord, sud, est, ovest, tre casistiche: la prima considerata come caso base, base case (upper_bc and lower_bc zones), è messa a confronto con ulteriori due strategie di ventilazione naturale,), natural ventilation strategy 1 (upper_sch1 and lower_sch1 zones) e natural ventilation strategy 2 (upper_sch2 and lower_sch2 zones).

Modello base: è stato creato per essere di paragone con le startegie di ventilazione 1 e 2. Questo modello considera le finestre delle due stanze chiuse, senza alcuna strategia di ventilazione, ma con un ricambio di aria pari a 0.5 ac/h oltre che un minimo di infiltrazioni.

[2] *Summer indoor comfort levels in the Mediterranean area. The impact of different window configurations, natural ventilation and solar shading strategies on the indoor comfort level in simple rooms*. G. Alcamo, M. Sala, S. Murgia

Modello con strategia di ventilazione 1: questa strategia di ventilazione non prevede l'intervento degli occupanti durante il giorno, ma considera una apertura automatica delle finestre e un controllo automatico delle schermature esterne.

Durante il giorno, il controllo dell'apertura delle finestre è connesso alla differenza di temperature tra l'interno e l'esterno; fino a quando la temperature interna sono più basse di quelle esterne, la schermatura è aperta di circa 11% dell'area della finestra così come la finestra. Durante la notte, le schermature sono completamente aperte e le finestre seguono un controllo che descriveremo come notturno.

Modello con strategia di ventilazione 2: la strategia di controllo della ventilazione è connessa all'intervento degli occupanti in orari della giornata in cui si presume che la cucina venga utilizzata. Quando gli occupanti sono in cucina, apriranno finestra e tapparella dell'11% della rispettiva superficie a prescindere dalla temperatura interna ed esterna. Quando gli occupanti no sono in cucina, è previsto che chiudano tutto a prescindere dalle differenze di temperatura tra l'esterno e l'interno, per motivi di sicurezza.

Durante la notte, in entrambi i modelli che adottano strategie di ventilazione naturale, viene simulato un controllo notturno: le tapparelle sono aperte. La ventilazione segue il seguente controllo:

- se in cucina si registra una temperatura inferiore ai 18°C, le finestre saranno aperte dell'1%
- se in cucina la temperatura è tra i 18 e i 22 °C, la finestra sarà aperta del 10%
- se si superano i 22°C, la finestra si apre del 15% e se la temperatura supera i 26°C, si aprirà del 20%

Tutto ciò per simulare il comportamento degli occupanti che aprono di più durante la notte per ventilare e raffrescare l'interno. I risultati analizzati fanno riferimento alla stagione estiva, considerandola dal 1 giugno al 30 settembre, per un totale di 2928 ore.

Sono stati analizzati 16 modelli, con due strategie di ventilazione naturale (32 casi studio) per le stanze a piano terra e a primo piano (64 risultati).

INTERNAL GAINS	type	start	stop	sensible	latent	radiant fraction	convective fraction
Weekdays, Saturdays, Sundays	equipment	0	24	38.6	0	0.300	0.700
	equipment	7	9	100	0	0.500	0.500
	equipment	12	14	100	0	0.500	0.500
	equipment	19	21	100	0	0.500	0.500
	light	7	8	100	0	0.800	0.200
	light	19	21	100	0	0.800	0.200
	occupant	7	9	380	180	0.200	0.800
	occupant	12	14	380	180	0.200	0.800
	occupant	19	21	380	180	0.200	0.800

Fig.I.159. Descrizione degli Internal gains definiti nel progetto Summer Indoor

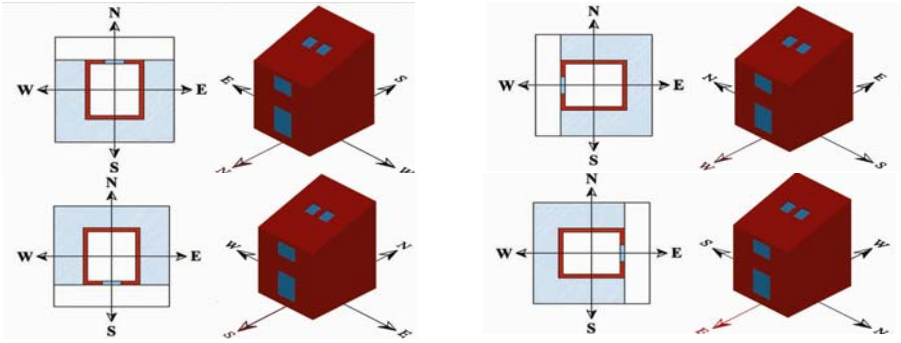


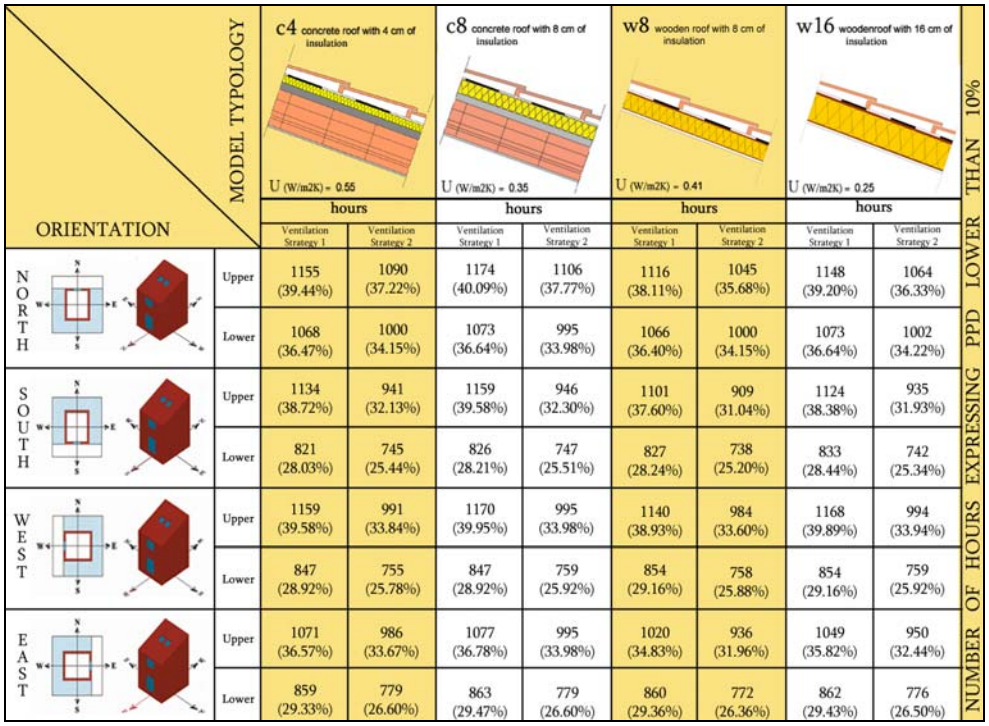
Fig.I.160. Il modello utilizzato in ESP-r e studiato sui quattro orientamenti principali.

ORIENTATION	MODEL TYPOLOGY	c4 concrete roof with 4 cm of insulation (U (W/m2K) = 0.55) Tmax (°C)		c8 concrete roof with 8 cm of insulation (U (W/m2K) = 0.35) Tmax (°C)		w8 wooden roof with 8 cm of insulation (U (W/m2K) = 0.41) Tmax (°C)		w16 woodenroof with 16 cm of insulation (U (W/m2K) = 0.25) Tmax (°C)	
		Ventilation Strategy 1	Ventilation Strategy 2	Ventilation Strategy 1	Ventilation Strategy 2	Ventilation Strategy 1	Ventilation Strategy 2	Ventilation Strategy 1	Ventilation Strategy 2
NORTH	Upper	32.04	32.08	32.01	32.06	32.35	32.39	32.19	32.21
	Lower	32.55	32.64	32.51	32.61	32.57	32.67	32.54	32.65
SOUTH	Upper	33.47	33.58	33.41	33.53	33.97	34.05	33.68	33.78
	Lower	33.99	34.18	33.97	34.14	33.96	34.19	33.93	34.15
WEST	Upper	32.62	32.78	32.59	32.77	33.11	33.23	32.92	33.06
	Lower	33.67	33.93	33.64	33.90	33.67	33.94	33.65	33.93
EAST	Upper	32.98	33.11	32.94	33.08	33.41	33.55	33.18	33.32
	Lower	33.65	33.80	33.61	33.77	33.66	33.84	33.63	33.79

TEMPERATURE ANALYSIS

Fig.I.161. Temperatura massima per tutti I modelli analizzati durante la stagione estiva. I sottotetti raggiungono temperature massime confrontabili con i piani di sotto. La strategia di ventilazione che prevede l'intervento degli occupanti, ottiene temperature massime

maggiori a confronto con quelle ottenute dal modello di stargtegia di ventilazione naturale controllata. Le temperature massime sul modello orientato a nord, sono di circa 1.5°C in meno rispetto a quelle orientate a sud



ORIENTATION		c4 concrete roof with 4 cm of insulation, U (W/m2K) = 0.55		c8 concrete roof with 8 cm of insulation, U (W/m2K) = 0.35		w8 wooden roof with 8 cm of insulation, U (W/m2K) = 0.41		w16 woodenroof with 16 cm of insulation, U (W/m2K) = 0.25	
		hours		hours		hours		hours	
		Ventilation Strategy 1	Ventilation Strategy 2	Ventilation Strategy 1	Ventilation Strategy 2	Ventilation Strategy 1	Ventilation Strategy 2	Ventilation Strategy 1	Ventilation Strategy 2
NORTH	Upper	1155 (39.44%)	1090 (37.22%)	1174 (40.09%)	1106 (37.77%)	1116 (38.11%)	1045 (35.68%)	1148 (39.20%)	1064 (36.33%)
	Lower	1068 (36.47%)	1000 (34.15%)	1073 (36.64%)	995 (33.98%)	1066 (36.40%)	1000 (34.15%)	1073 (36.64%)	1002 (34.22%)
SOUTH	Upper	1134 (38.72%)	941 (32.13%)	1159 (39.58%)	946 (32.30%)	1101 (37.60%)	909 (31.04%)	1124 (38.38%)	935 (31.93%)
	Lower	821 (28.03%)	745 (25.44%)	826 (28.21%)	747 (25.51%)	827 (28.24%)	738 (25.20%)	833 (28.44%)	742 (25.34%)
WEST	Upper	1159 (39.58%)	991 (33.84%)	1170 (39.95%)	995 (33.98%)	1140 (38.93%)	984 (33.60%)	1168 (39.89%)	994 (33.94%)
	Lower	847 (28.92%)	755 (25.78%)	847 (28.92%)	759 (25.92%)	854 (29.16%)	758 (25.88%)	854 (29.16%)	759 (25.92%)
EAST	Upper	1071 (36.57%)	986 (33.67%)	1077 (36.78%)	995 (33.98%)	1020 (34.83%)	936 (31.96%)	1049 (35.82%)	950 (32.44%)
	Lower	859 (29.33%)	779 (26.60%)	863 (29.47%)	779 (26.60%)	860 (29.36%)	772 (26.36%)	862 (29.43%)	776 (26.50%)

MODEL TYPOLOGY

NUMBER OF HOURS EXPRESSING PPD LOWER THAN 10%

Fig.I.162. Numero di ore in cui il PPD (Percentuale di persone insoddisfatte) è inferiore al 10%. Per la valutazione del PPD, è stato considerato un vestiario estivo, una ttività pari a 1.2 met ed una velocità dell'aria pari a 0.15 m/s.

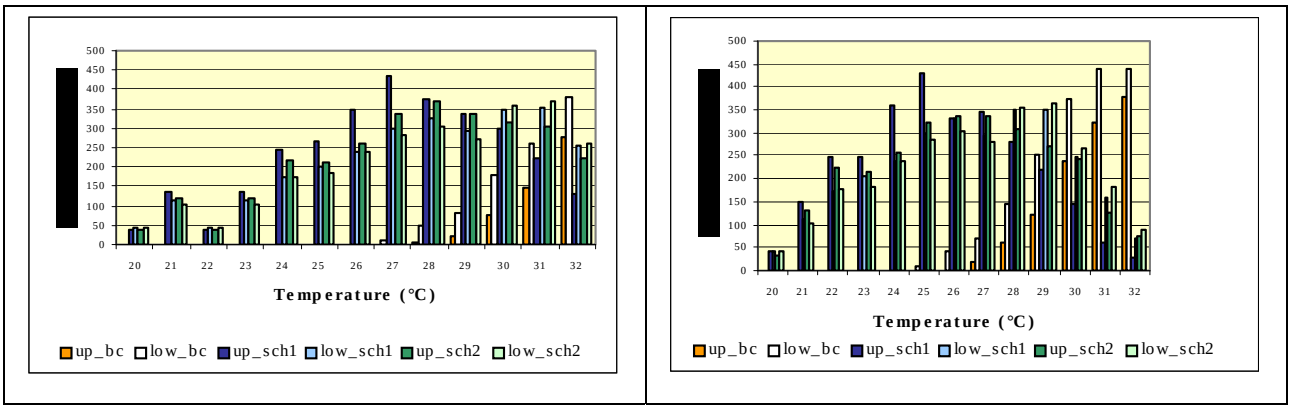


Fig.I.163. A sinistra, istogramma delle temperature: risultati per il modello c4 orientato a sud. L'istogramma esplicita il numero di ore in cui ciascun modello raggiunge una specifica temperatura interna. A destra, risultati per il modello w8 orientato a sud.

Di seguito i risultati emersi:

- Con entrambe le strategie di ventilazione naturale, le cucine al piano superiore raggiungono livelli di comfort migliori rispetto al piano inferiore.
- L'uso della ventilazione notturna, consente di avere un abbattimento delle temperature all'inizio della giornata.

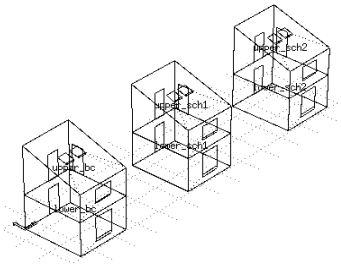


Fig.I.164. Vista del modello realizzato in ESP-r.

- L'uso delle schermature è necessario per evitare il surriscaldamento in entrambe le cucine. Le temperature massime nei piani superiori sono leggermente più alte rispetto a quelle dei piani inferiori, ma non in maniera significativa.

In conclusione, una strategia di ventilazione diurna e notturna durante l'estate, consente all'interno di una abitazione di renderla vivibile con livelli di comfort accettabili, senza impiegare necessariamente sistemi impiantistici di climatizzazione estiva.

Fig.I.165. Immagini di ATIKA, casa dimostrativa realizzata da Velux sui risultati ottenuti dalla ricerca Summer Indoor Comfort Level in the Mediterranean Area. Installazione a Bilbao, Spagna. Credits: G. Alcamo.

I.2.2.3 RIDURRE IL SURRISCALDAMENTO DOVUTO ALL'EFFETTO SERRA

Tutti gli edifici essendo soggetti alla luce naturale, usufruiscono contemporaneamente di luce e di energia solare. La progettazione in chiave sostenibile e bioclimatica, necessita di specifiche competenze e di conseguenza di professionisti in grado di individuare soluzioni e strategie per il contenimento energetico e il miglioramento del comfort indoor.

L'edificio deve quindi essere sapientemente progettato per sfruttare in maniera sensata la luce naturale e poterla controllare quando necessario.

La luce infatti svolge un ruolo determinante nella definizione degli spazi, dei volumi con la consapevolezza che l'irragiamento solare può provocare effetto serra e surriscaldare l'interno, tanto in inverno quanto in estate.

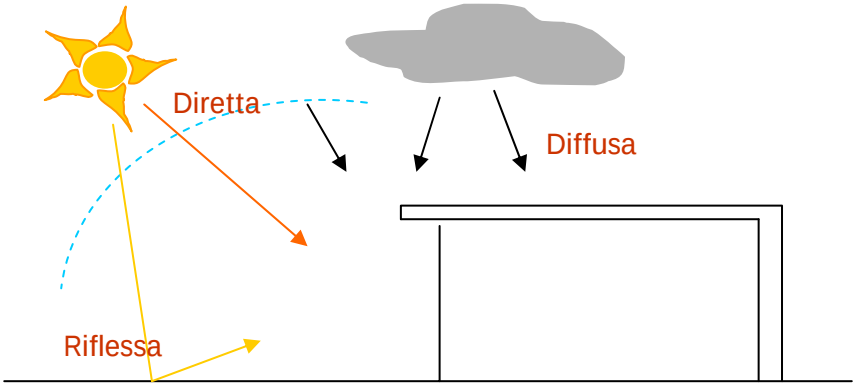


Fig.I.165. Radiazione solare diretta, diffusa e riflessa che raggiunge un edificio.

Cosa è la luce? La luce è energia che si propaga nell'ambiente ad una velocità di 300.000.000 di metri al secondo. La luce nel campo del visibile, è solo una parte (1/8) del campo elettromagnetico

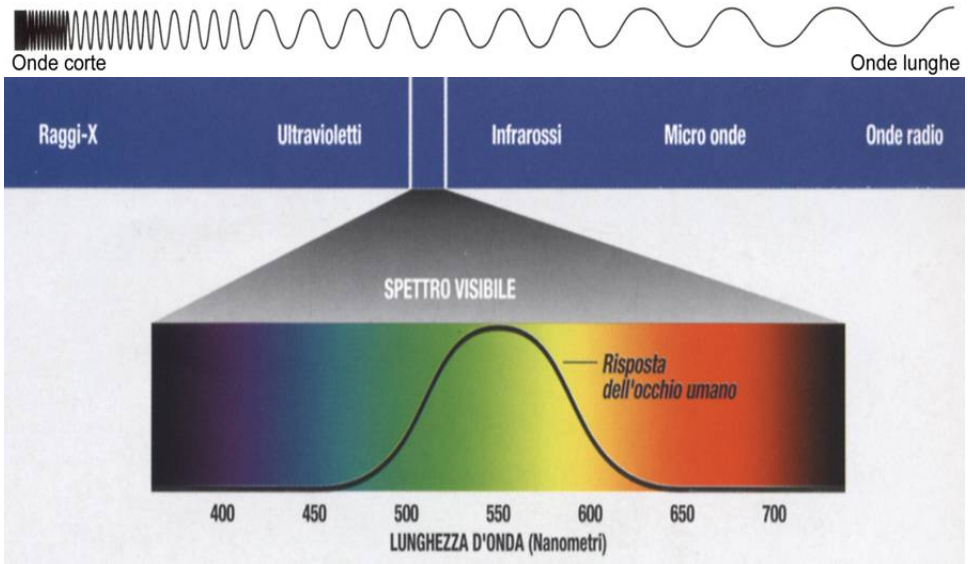


Fig.I.166. Luce naturale: lo spettro del visibile

La luce che attraversa un componente vetrato, quindi è energia sia nel campo del visibile che non. Non vediamo quindi che il vetro viene attraversato anche dagli infrarossi, responsabili del surriscaldamento interno.

Vengono pertanto spesso trattati i vetri con dei filtri selettivi che consentono di far passare solo una parte della radiazione solare e quindi solo una parte dell'energia, riducendo pertanto il surriscaldamento interno dovuto all'effetto serra.

E' pertanto necessario prendere in considerazione nella progettazione mirata al controllo energetico dell'edificio, sia l'orientamento che le dimensioni delle aperture finestrate, sia la forma, la distribuzione, sia ancora opportune schermature esterne che consentano la riduzione della radiazione solare diretta, riducendo gli effetti del surriscaldamento interno senza con ciò rinunciare alla luce naturale interna.

Inserire la definizione di fattore solare e inserire immagini di schermature solari. In sintesi, si è voluto mettere in evidenza, che nei paesi del Mediterraneo è necessario prendere in considerazioni i fattori connessi sia alla progettazione invernale che a quella estiva, considerando i componenti opachi che con la loro leggerezza o la loro massa possono influire sul comportamento termico indoor, controllando e prevedendo una opportuna ventilazione naturale e lavorando sulle parti finestrate con opportunità, integrando schermature solari esterne quando necessario.

I.3 CONCLUSIONI ALLA PARTE I

In questo capitolo si cerca di riassumere e quindi esplicitare le conclusioni relative alla prima parte della tesi di dottorato.

Si è investigato sulle normative Europee e Nazionali in ambito di performance energetica degli edifici e in termini di normative sui prodotti da costruzione: le direttive e le normative riflettono l'esigenza globale di ridurre drasticamente le emissioni di biossido di carbonio e inquinanti di vario tipo e ridurre quindi i consumi energetici complessivi, puntando su una progettazione consapevole finalizzata al risparmio energetico, integrando energie rinnovabili e realizzando edifici ad energia quasi zero.

Si pone quindi il problema di come far sì che la progettazione di un edificio risponda poi alla sua performance in opera: se si parte dallo studio di un edificio e lo si progetta in regime stazionario, difficilmente i risultati sull'opera risponderanno al progetto. L'esigenza è quindi quella di caratterizzare prima i componenti edilizi in regime dinamico, definirne il comportamento in *outdoor conditions* per poi simulare il sistema edilizio con i componenti a scala di edificio.

E' quindi stata fatta una ricerca in merito alle esperienze in Europa sulle *test facilities in outdoor conditions*. E' emerso che la sperimentazione è iniziata negli anni '80 grazie a progetti supportati da finanziamenti della Commissione Europea, quali il progetto PASSYS e il progetto PASLINK.

Il primo, il PASSYS, ha consentito la realizzazione del progetto di una camera di prova all'aperto, concepita con le seguenti finalità:

- testare il componente in scala 1:1
- testare il componente in condizioni climatiche esterne, reali
- definire il comfort interno
- creare una camera di prova simile ad un calorimetro, quindi una camera di prova adiabatica
- effettuare le prove sui componenti verticali attraverso un tamponamento mobile

- riparare la camera di prova dalle intemperie e dalla radiazione solare diretta

I presupposti suddetti, hanno quindi gettato le linee guida per il progetto della test cell cosiddetta PASSYS: una camera di prova all'aperto, adiabatica, con struttura portante in acciaio, con un rivestimento metallico esterno per riflettere la radiazione solare diretta.

Fig.I.167. Fotografie di camere di prova all'aperto realizzate con i programmi PASSYS e PASLINK in vari paesi Europei.

Dallo studio dei risultati, ne sono emerse numerose criticità:

- l'adiabaticità della camera di prova rende l'ambiente interno non reale, quindi il comportamento del componente di prova risulta alterato dalle condizioni termo-fisiche che si innescano all'interno; è quindi necessario alleggerire l'isolamento termico e caratterizzare la camera di prova con numerosi sensori di flusso;
- numerosi sono i ponti termici che si vengono a creare tra la parete di prova e la camera di prova, è quindi necessario studiare un anello di guardia isolato in grado di accogliere un componente di prova e riuscire meglio nella sua caratterizzazione termo-fisica;

Questi accorgimenti emersi da criticità rilevate sulle prove condotte in situ, hanno consentito di sviluppare un progetto migliorativo delle camere di prova: il progetto PASLINK.

Altre test cell sono quindi state realizzate e messe in posa e utilizzate per la caratterizzazione dei componenti di facciata. Alcune di queste test cell sono state in seguito realizzate per condurre le prove sui componenti orizzontali di tetto, altre sui base girevole.

E' stato quindi definito il cosiddetto IQ-test e il Round Robin Test: due tipi di test il primo su componente verticale trasparente e il secondo

su componente verticale opaco, metodo di misura standardizzato in modo da mettere a confronto le misure sullo stesso componente ma su diverse camere di prova in Europa: i risultati convergevano nella maggior parte tranne che per quei paesi dove la radiazione solare diretta risultava essere importante; la superficie metallica esterna infatti, riflette la radiazione solare diretta ma surriscaldandosi raggiunge temperature molto elevate creando problemi di misura sul componente di prova.

Inoltre avendo alleggerito l'isolamento termico, la struttura portante in acciaio rilevava errori di misura connessi ai numerosi ponti termici innescati all'interno; e ancora, a seconda delle condizioni climatiche e della percentuale di umidità e di infiltrazioni di aria e di acqua, un altro problema da risolvere era quello legato alla decadenza strutturale della camera di prova per l'ammalorarsi della struttura soggetta a infiltrazioni.

I progetti suddetti sono stati fondamentali per l'Europa iniziare ad occuparsi di problemi legati alle *in situ measurements*: molte di quelle test cell oggi sono in disuso perché abbandonate quando necessitavano di contributi dallo stato o dalle industrie, in periodi cioè in cui la sperimentazione era solo una necessità della ricerca scientifica e non convergeva con le esigenze delle industrie. Altre sono state ristrutturate e conducono prove su componenti innovativi.

I progetti PASSYS e PASLINK hanno inoltre contribuito alla realizzazione di direttive sulla conduzione delle prove all'aperto, gettando le basi di procedure che oggi più di allora risultano di particolare necessità ed interesse per le industrie.

In Europa però non esistono solo le test cell realizzate nei progetti PASSYS e PASLINK: numerose altre sono state realizzate con finanziamenti e finalità diverse. Alcuni test site nascono come dimostrativi di edifici a basso consumo energetico – BRE Innovation park, altri sono camere di prova per il comportamento acustico dei componenti –Hangar 17, altri nascono per le prove sulle facciate ventilate –DIENCA, ovvero sui

componenti a cambiamento di fase –Ancona, altri sono laboratori in scala 1:1 che hanno come finalità lo studio dei sistemi e non dei singoli componenti, analizzando sia gli impianti che i componenti edilizi.

Sono quindi stati elencati, descritti e analizzati 21 casi studio, di cui 13 casi studio sono relativi alle esperienze dei progetti PASSYS-PASLINK, 1 è un sito dimostrativo, 1 è un laboratorio dedicato esclusivamente alle prove acustiche, 1 è un laboratorio all'interno che simula le condizioni climatiche sterne, 5 sono i casi studio di laboratorio all'esterno che conducono prove sui sistemi edilizi.

La tesi si concentra su progetto di una test cell innovativa che sia in grado di testare componenti innovativi in condizioni climatiche esterne, perché la caratterizzazione del componente in condizioni climatiche all'aperto può consentire uno studio tale da permettere poi di scrivere i codici di calcolo su strumenti di simulazione in regime dinamico che ne consentano lo studio energetico in termini di sistema; pertanto una attenta valutazione viene fatta sulle camere di prova all'aperto che testano componenti, cercando di rispondere alle esigenze e alle prestazioni che sono state definite come priorità per la progettazione.

Si è quindi fatto una riflessione sulla destinazione geografica della test cell e del clima Mediterraneo, individuandolo sia dal punto di vista delle caratteristiche climatiche sia dal punto di vista delle caratteristiche costruttive tradizionali, mettendo in evidenza anche alcuni progetti contemporanei che riflettono in un modo o nell'altro la cultura e le esigenze del vivere il Mediterraneo.

Sono infine state individuate le strategie per il comfort termico in clima Mediterraneo facendo riferimento a progetti di ricerca sviluppati negli anni precedenti e ad altri tuttora in corso.

Il capitolo ha quindi sinteticamente descritto lo stato dell'arte relativo ad una analisi che è stata condotta in maniera molto approfondita

e che ha necessitato di molti viaggi, incontri, convegni, telefonate, email e tanta tanta passione per la ricerca scientifica.