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

PARTE II: PROGETTO DELLA TEST CELL

"La progettazione è un processo circolare: la tua idea viene disegnata, provata, ripensata, ridisegnata tornando infinite volte sullo stesso punto.
Nella ricerca scientifica ti trovi di fronte equazioni con troppe variabili… allora ne fissi alcune in base ad un'intuizione che nasce dalla tua esperienza. L'equazione a quel punto si può risolvere…. La circolarità in questo senso non è solo metodologia ma è una teoria della conoscenza.
Provare e riprovare non serve solo a correggere gli errori, è un percorso per capire la qualità di un progetto, di un materiale, di una luce, di un suono…"

R. Piano, Giornale di Bordo, 1997

PREMESSA ALLA PARTE II

La Parte II della tesi è relativa al progetto innovativo della camera di prova come strumento di misura del comportamento termo-fisico di nuovi componenti edilizi di facciata, in area climatica Mediterranea.

Vengono quindi elencati e descritti i requisiti tecnologici ed ambientali che sono stati identificati come motori di ricerca per l'innovazione di progetto; viene localizzato il luogo di intervento relativo alla installazione della test cell; viene di conseguenza descritto il progetto innovativo della camera di prova a Firenze, quindi la proposta per testare componenti in scala 1:1, su base girevole, per poi esplicitare la possibile e futura opportunità di testare nello stesso sito sistemi costruttivi sia di facciata che di tetto.

La camera di prova è stata dimensionata con apposito calcolo strutturale ed essendo uno strumento di misura, è stato opportunamente progettata e studiata la strumentazione di misura che non risulta essere accessoria alla test cell, ma risulta parte del progetto di ricerca della tesi di dottorato.

Il progetto è stato verificato e validato con strumenti di simulazione in regime dinamico di cui viene fatta una sintetica descrizione per far comprendere le decisione degli strumenti adottati per la validazione.

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

Il capitolo descrive il progetto della test cell per il clima Mediterraneo, progetto che vuole rispondere a requisiti prestazionali e superare le criticità rivelate dalle test cell ad oggi realizzate in Europa.

Il capitolo include quindi i requisiti tecnologici da soffisfare, il progetto esecutivo e commentato della test cell, i calcoli effettuati sul pre-dimensionamento della struttura della camera di prova e il pre-dimensionamento della base metallica che sorregge la test cell.

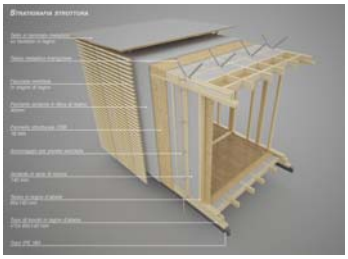


Fig.II.1 Vista in spaccato assonometrico del progetto proposto della test cell.

La prima parte del capitolo descrive i requisiti da soddisfare e mostra il progetto esecutivo e il predimensionamento fatto in collaborazione con il dipartimento di Ingegneria strutturale – Ing. Andrea Panati, e con il dipartimento di Ingegneria meccanica – Ing. Paolo Giovannetti.

Fig.II.2 Vista frontale prospettica della test cell senza il componente di prova.

La test cell proposta nella versione ad un piano, è concepita per testare componenti di facciata per rispondere al meglio alle esigenze manifestate dalle ditte di componenti presenti sul territorio Toscano e che aderiscono al progetto Abitare Mediterraneo. Il progetto della test cell, viene infatti proposto all'interno del progetto finanziato dalla Regione Toscana che vuole dotarsi di uno strumento di misura in condizioni outdoor, in grado di misurare le prestazioni energetiche in regime dinamico delle industrie del comparto edilizio.

Il componente di facciata pertanto dovrà essere piano, di dimensioni tali da potere fornire valori attendibili ed è quindi stata presa in considerazione e formulata una ipotesi progettuale di test cell di dimensioni similari a quelle nate nei progetti PASSYS e PASLINK, in modo da potere in futuro confrontare i risultati sulla test cell di Firenze con quelli ottenuti da altri test site in Europa e scambiare facilmente informazioni sui test effettuati.

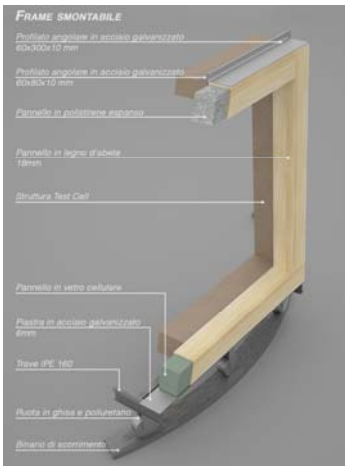


Fig.II.3
Immagine del progetto del telaio contenitore del componente di prova di facciata

II.1.1 I REQUISITI TECNOLOGICI E AMBIENTALI DA SODDISFARE

Il progetto della test cell che viene proposto, vuole rispondere alle necessità manifestate ad oggi in merito alla necessità da parte delle aziende del territorio Toscano di promuovere innovazione nell'ambito dei componenti di facciata, rispondendo alle esigenze manifestate dalle normative sul risparmio energetico degli edifici, e rispondere alle sempre crescenti ed emergenti necessità di comfort termico annuale e di contenimento dei consumi energetici sia in inverno che in estate.

La test cell progettata consente di testare in condizioni climatiche esterne nuovi componenti di facciata e viene anche proposta una test cell su due livelli, in grado di testare sia componenti di facciata che di tetto, ovvero mettere a confronto contemporaneamente soluzioni di facciata diverse. Di quest'ultima non è stato elaborato il progetto esecutivo, ma solo presentata l'idea progettuale.

Scopo di entrambe è la caratterizzazione termo fisica del nuovo componente edilizio, sia opaco che trasparente. Possono essere testati sistemi di schermatura di vario tipo, ed essendo posta su piattaforma girevole, i test possono essere condotti su orientamenti diversi.

Ciò risulta essere di particolare interesse per le facciate trasparenti, a doppia pelle, ventilate, sulle quali è particolarmente interessante misurare il contributo della radiazione solare diretta; idem per componenti di facciata che integrano fotovoltaico o solare termico ovvero schermature solari.

Dal punto di vista della forma e delle dimensioni, si vuole ottenere uno strumento in grado di testare in particolare componenti di facciata, quindi il componente di test avrà dimensioni specifiche in altezza e larghezza e la test cell proposta è a pianta rettangolare.

Di seguito i requisiti tecnologici che hanno condotto la progettazione della test cell.

II.1.1.1 CAMERA DI PROVA NON ADIABATICA

La test cell non dovrà essere iper-isolata termicamente: non si vuole realizzare una camera di prova che tende all'adiabaticità.

Di seguito le ragioni:

se la camera di prova tende ad essere adiabatica, quando voglio caratterizzare il comportamento termo fisico di un componente, specialmente se il componente di test è trasparente, la radiazione solare che attraversa il componente, rimane immagazzinata all'interno della camera di prova, provocando il surriscaldamento interno e quindi un aumento della temperatura interna. Il comportamento del componente da testare dipende proprio dai flussi di calore che si instaurano tra l'interno e l'esterno, pertanto una camera adiabatica, non consente di caratterizzare il componente di test in reali condizioni.

Si procede quindi alla caratterizzazione dei componenti che costituiscono la test cell facendo in modo che abbiano tutti la stessa trasmittanza termica e lo stesso sfasamento termico; ciò consentirà di semplificare il controllo del componente di test e definirne la caratterizzazione nella maniera più avanzata possibile, facendo sì che i vari componenti della test cell siano attraversati dallo stesso flusso termico.

II.1.1.2 CONTENIMENTO DEI PONTI TERMICI

Si procede ad un progetto architettonico e strutturale che limiti al massimo i ponti termici. E' necessario limitarli perché i vettori di dispersione si infittiscono laddove c'è una discontinuità geometrica o di materiale.

Si è quindi proposto un progetto con struttura portante in legno, con pareti verticali ed elementi orizzontali che abbiano la stessa struttura, riducendo i ponti termici agli effetti dovuti alla geometria della stanza (corner effect).

Il componente da testare sarà ospitato da un telaio che lo contiene, il frame; esso è stato opportunamente progettato per ridurre al minimo i *thermal bridges* tramite l'utilizzo di un controtelaio isolato termicamente. Il frame deve strutturalmente sostenere il carico del componente da testare, pertanto la struttura e il materiale isolante devono essere in grado di sostenere il peso, senza schiacciarsi.

II.1.1.3 CONTROLLO DELLE INFILTRAZIONI

Lo scopo è quello di avere un ambiente che non abbia infiltrazioni, per potere al meglio quantificare il flusso di calore dall'interno all'esterno e viceversa senza perdite di calore per infiltrazioni.

Si provvede quindi all'inserimento di una pellicola plastica, posta all'interno, in modo da fare delle prove di pressurizzazione della camera di prova, sia prima che dopo il montaggio del componente da testare; ciò consentirà anche di valutare se il telaio che contiene il componente da testare è stato correttamente posizionato.

II.1.1.4 CONTROLLO DEL FLUSSO TERMICO

Il flusso termico che attraversa i componenti non di prova, viene misurato e serve a quantificare quanta energia attraversa le pareti e gli orizzontamenti. Per definire e caratterizzare al meglio il flusso termico attraverso i singoli componenti, vengono installate dei sensori di flusso posti sulle superfici interne alla camera di prova.

A loro volta, questi sensori vengono rivestiti da piastrelle di metallo che hanno il duplice scopo di uniformare il flusso di calore in entrata e in uscita dal sensore, e contemporaneamente dare all'interno della test cell delle superfici piane, senza cavi che interferirebbero anche con il movimento delle tecnici all'interno.

Le piastrelle che misurano il flusso termico, *Flux tiles*, verranno adeguatamente verniciate per ridurre gli effetti di riflessione che il metallo a nudo avrebbe e che di conseguenza, sulle misure illuminotecniche, potrebbe creare disturbo.

II.1.1.5 CAMERA DI PROVA ORIENTABILE

La test cell viene progettata per essere utilizzata in clima Mediterraneo. Ciò significa che il contributo della luce all'interno degli ambienti non può essere trascurato quando si ha a che fare con componenti trasparenti.

Orientare la camera di prova, quindi farla ruotare, darà la possibilità di misurare l'illuminamento all'interno della test cell nei vari orientamenti, consentendo di effettuare delle prove che permettano di relazione il fattore di luce diurna sia al cielo coperto che al cielo sereno.

Interessanti studi di ricerca, hanno messo in evidenza la necessità di valutare con attenzione nei paesi del Mediterraneo, e comunque in quei paesi con

elevata radiazione solare diretta, il contributo del fattore di luce diurna anche con cielo sereno perché progettare con il cielo coperto potrebbe provocare un sovradimensionamento delle parti finestrate e trasparenti[1].

L'orientabilità consentirà anche ti testare schermature solari su orientamenti diversi, specialmente se si tratta di sistemi di schermatura mobile.

II.1.2 LA LOCALIZZAZIONE

L'ubicazione della test cell è prevista nell'area aperta classificata dall'attuale PRG del Comune di Firenze come zona omogenea F (sottozona F1e, verde pubblico) facente parte dell'area a verde annessa al complesso edilizio della facoltà di Ingegneria in via di Santa Marta 3. La prevista ubicazione è funzione esclusiva della tipologia di ricerca a cui la stessa è destinata per cui viene proposta in un sito sperimentale in cui è già presente un campo solare diretto dal Prof. M. De Lucia del Dipartimento di Energetica dell'Università degli Studi di Firenze.

La proprietà dell'area suddetta e di quella connessa, classificata dallo stesso PRG come zona omogenea F (sottozona F2, attrezzature e servizi pubblici esistenti) è dell'Università degli Studi di Firenze. Il complesso immobiliare della facoltà di Ingegneria è classificato in classe 0 come edificio notificato vincolato in base alla Legge 1089/39. La struttura della test cell ha un appoggio centrale su ralla rotante e appoggi sui lati corti della test cell che poggiano e scorrono su binario circolare, in modo da potere condurre le prove sul componente orientandolo in maniera diversa.

Visto che sul sito in questione non sono consentite opere o strutture in c.a., la fondazione è costituita da un sistema di viti tipo Krinner. Lo scopo è fornire la test cell di solida fondazione tramite sistema a 'viti Krinner' in acciaio impilate nel terreno, evitando basamenti in cemento o in cemento armato.

Fig.II.4
Il sito individuato per L'installazione della camera di prova all'aperto. Università degli Studi di Firenze, via Santa Marta 3, presso Dipartimento di Ingegneria Energetica

[1] Brotas L., Wilson M. *The average total daylight factor*. XII National Conference on Lighting 2007, Varna – Bulgaria.
Brotas L. Daylight and Planning in Europe. PhD Thesis, London: London Metropolitan University, 2004.

Fig.II.5 Vista tri-dimensionale della test cell a Santa Marta. Rendering: A. Di Zenzo

Fig.II.6 *Fig.II.7*

A sinistra, nel terreno sono state posizionate le viti di sostegno alla sovrastruttura del campo solare nel sito di Santa Marta, nella stessa zona in cui si propone la realizzazione della test cell. A destra, fotografia di una vite da 90 cm di altezza, utilizzata nel campo solare.

Essendo il terreno in leggera pendenza, ed essendo la test cell su pianta orizzontale e su un unico livello, verrà effettuata una adeguata opera di pulitura del terreno per poi posizionare le viti e livellarle ad un piano orizzontale.

La camera di prova o test cell, ha lo scopo di testare il comportamento termo-fisico in regime dinamico variabile di nuovi componenti di facciata. Per la sperimentazione è necessaria l'installazione di adeguati strumenti di misura e i dati rilevati dovranno essere recepiti da un server centrale.

Per la sperimentazione risulta necessario fornire la test cell di corrente elettrica sia per accendere una luce all'interno della service room, sia per il pc, sia per una resistenza elettrica al fine di riscaldare l'ambiente interno per condurre

alcune prove sulla trasmittanza termica. La descrizione viene dettagliata nel paragrafo successivo.

Fig.II.8.
Fotografia del sito su cui viene installata la test cell

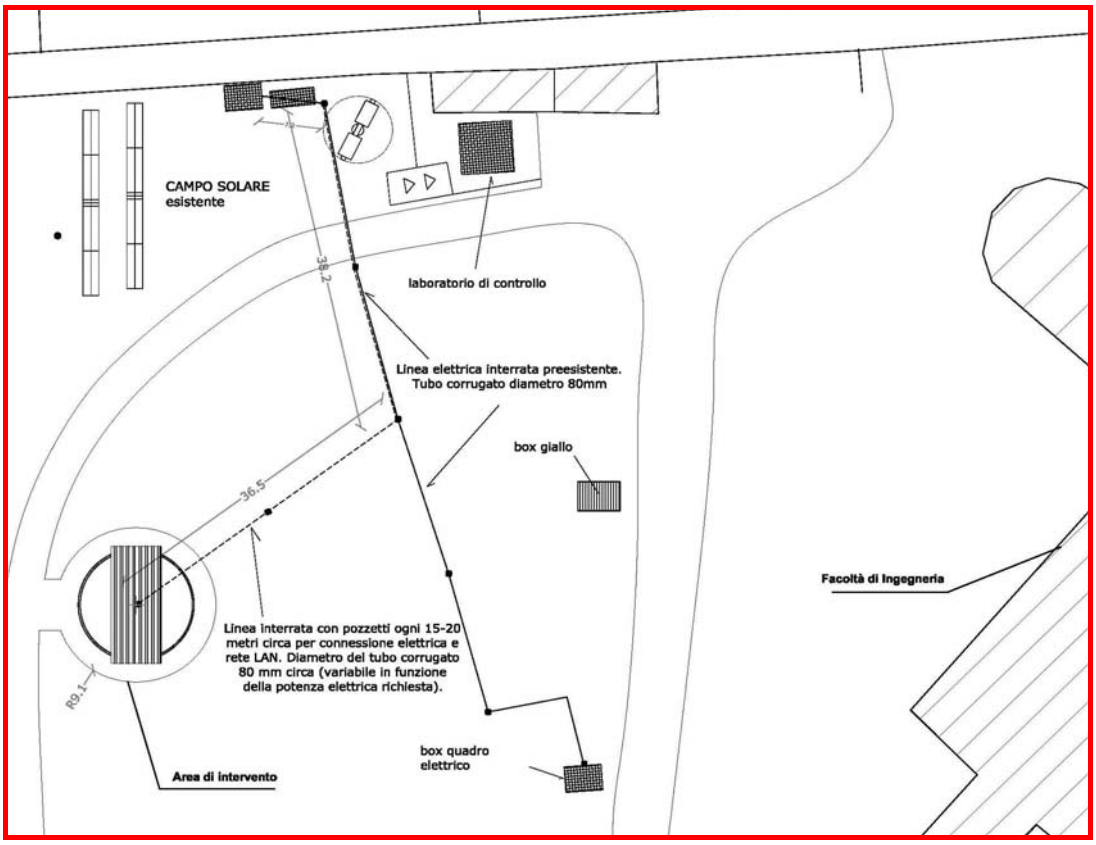


Fig II.9.
Inquadramento generale

II.1.3 IL PROGETTO

In questo paragrafo vengono presentate le tavole di progetto e vengono via via descritte e commentate.

II.1.3.1 PIANTE

In pianta, il progetto prevede la camera di prova e una stanza annessa più piccola per il rilevamento dei dati. La service room infatti sarà dotata di un server per la raccolta dei dati misurati all'interno in relazione alla temperatura ambiente, umidità relativa, velocità dell'aria, illuminamento, oltre ai dati relativi al flusso termico che attraversa i componenti della camera di prova e del componente da testare.

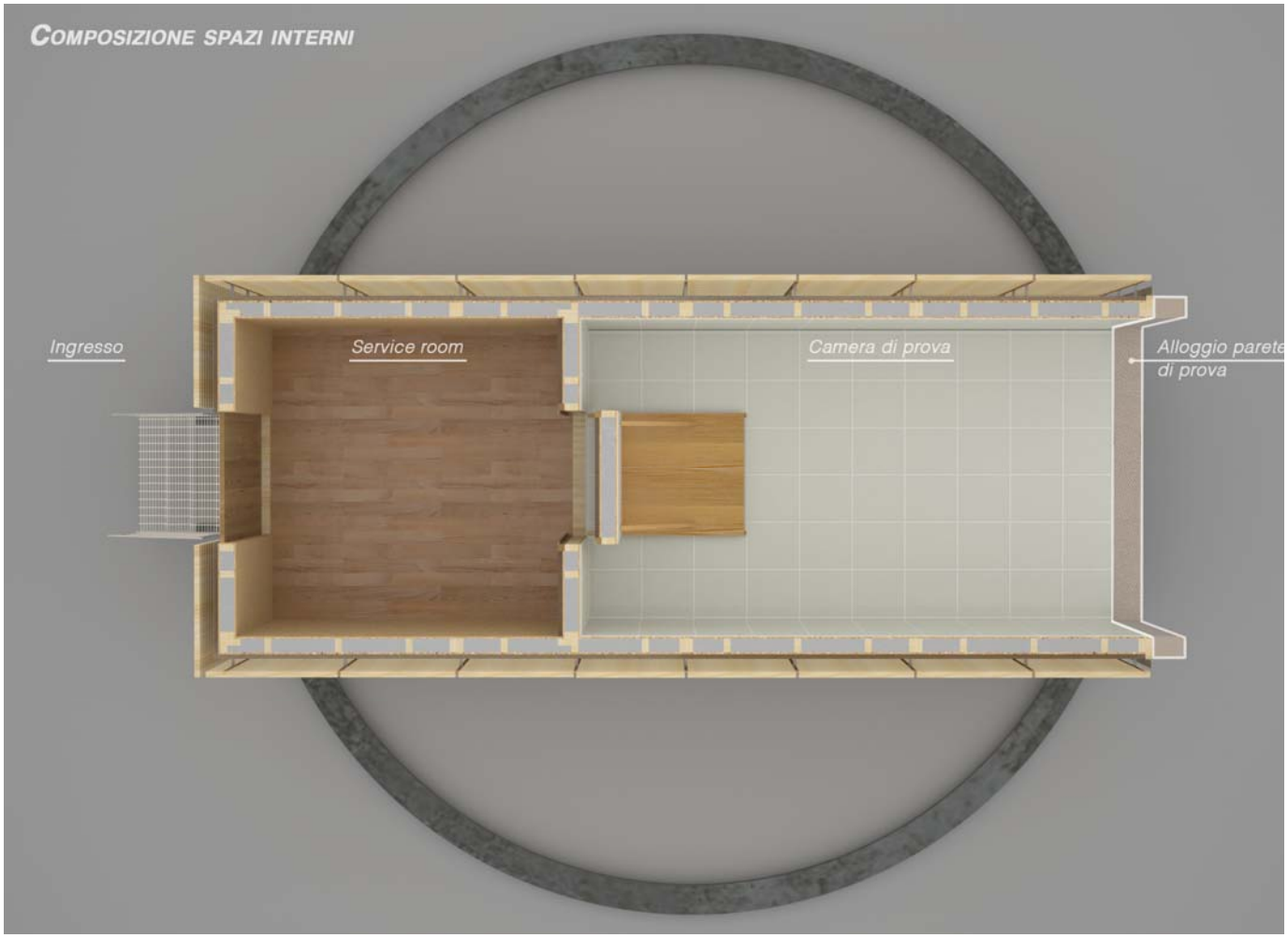


Fig.II.10 Vista prospettica dall'alto. Sulla destra la camera di prova con piastrelle-sensori di flusso termico sulla superficie interna. A sinistra la service room, senza piastrelle di flusso termico.

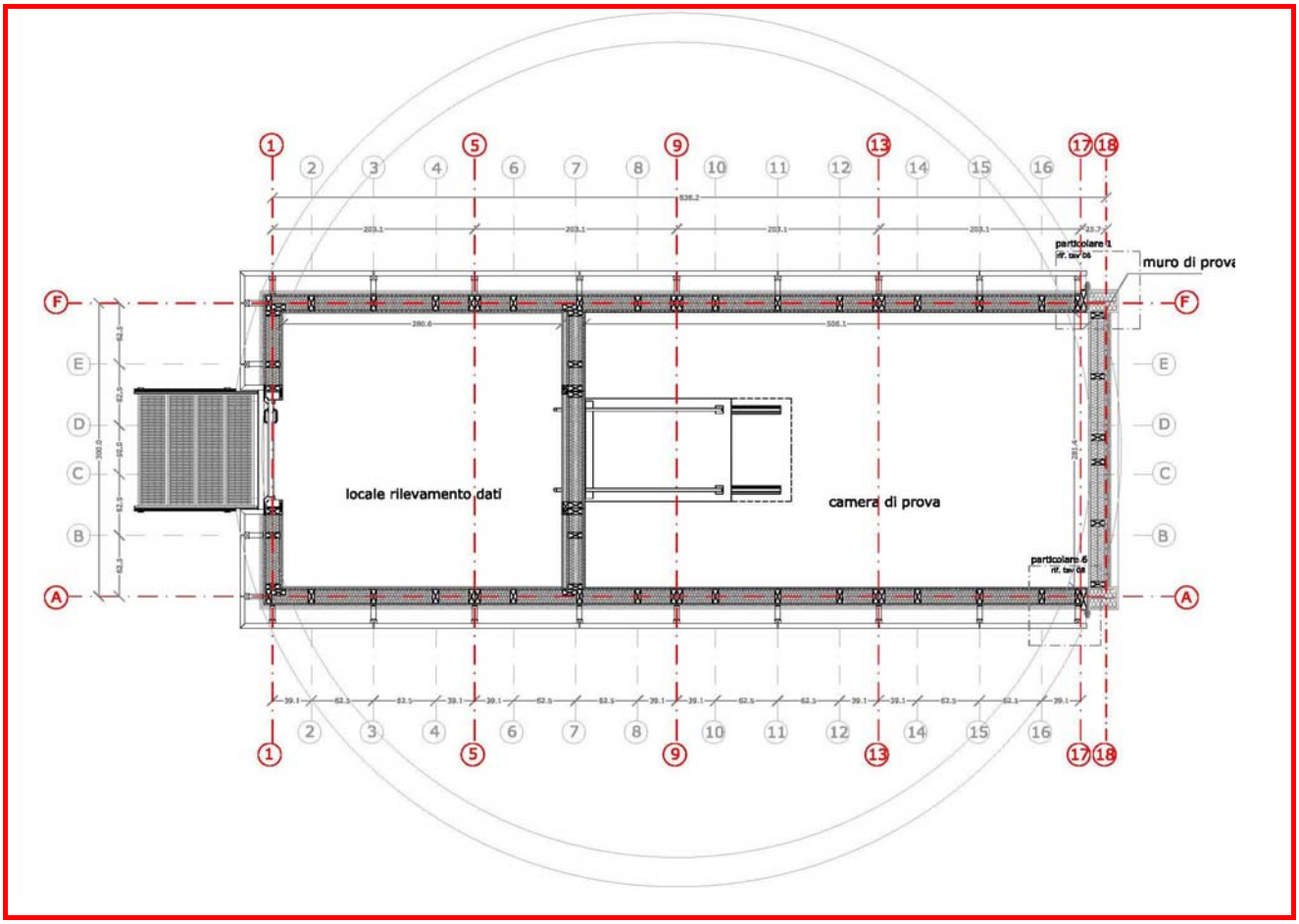


Fig.II.11. Pianta

Si accede alla test cell tramite una scala, 4 gradini, in metallo perché la camera di prova si trova sollevata rispetto al piano di calpestio esterno.

Ciò è necessario per potere porre sotto la camera di prova la strumentazione esterna per caratterizzare e controllare il pavimento, ma anche per rendere ispezionabile la ralla centrale su cui ruota la test cell; da sotto passano inoltre i cavi necessari al collegamento elettrico e alla rete LAN.

La scala di accesso dà sulla service room; questa ha dimesioni 280,1 cm x 281,6 cm, ha pianta rettangolare. Si accede dall'esterno tramite una porta di accesso che si apre verso l'interno del locale. La service room sarà accessoriata di una luce di ingresso posta sopra la porta di ingresso, di una scrivania con server e pc per la verifica dei dati rilevati; di un pressurizzatore che quando necessario pressurizza e misura la pressione nella test cell e quindi ne valuta le perdite per infiltrazioni.

Dalla service room si accede alla test room. L'accesso avviene tramite una porta che è realizzata con lo stesso materiale della muratura su cui insiste in modo

da ridurre i ponti termici. Per garantire un buon isolamento termico e ridurre le infiltrazioni, la porta scorre su ruote, su un carrello che entra nella camera di prova; sulla porta infatti ci sono due maniglie verticali che aiutano l'operatore ad entrare ed uscire dalla test room chiudendo in maniera da ridurre le infiltrazioni.
Se necessario, sull'esterno verranno poste, lungo il bordo della porta, delle guarnizioni aggiuntive che dovranno essere tolte e rimesse a seconda delle necessità.

La test room è una strumento di misura che controlla il muro di prova sottoposto a test nell'orientamento principale, cioè esponendolo a sud. Se e quando necessario, la test cell verrà ruotata per verificare o analizzare il comportamento del componente anche su altri orientamenti.

La struttura è del tipo *Platform frame*, portante, in legno, coibentata, con una trasmittanza termica di 0.29 W/m^2K.

II.1.3.2. SEZIONE TRASVERSALE DELLA TEST CELL

La test cell poggia su una struttura metallica definita da travi IPE indicate in rosso nel progetto esecutivo a sua volta appoggiate su fondazioni estraibili: si tratta infatti di viti di circa 160 cm ciascuna che vengono utilizzate con lo stesso principio dei pali di fondazione ma che trovano ragione in questo progetto per il fatto che il sito individuato per l'installazione della test cell, presso Santa Marta, è vincolato dal punto di vista paesaggistico, pertanto non sono consentite opere strutturali classiche, quali per esempio getti di calcestruzzo armato o palificate o platee di fondazione di alcun tipo.

Le dimensioni interne sono rappresentative di una camera, ovvero di un ambiente abitabile, con pianta rettangolare e con parete da testare posta sul lato corto.

Le dimensioni interne sono inoltre adattate al centimetro alla necessità di adoperare flux tiles di specifiche dimensioni, distanziate le une dalle altre di 5mm in modo da consentire il collegamento dei sensori tra una piastrella e quella accanto.

La vista della sezione, consente di vedere la porta di comunicazione tra la test cell e la service room.

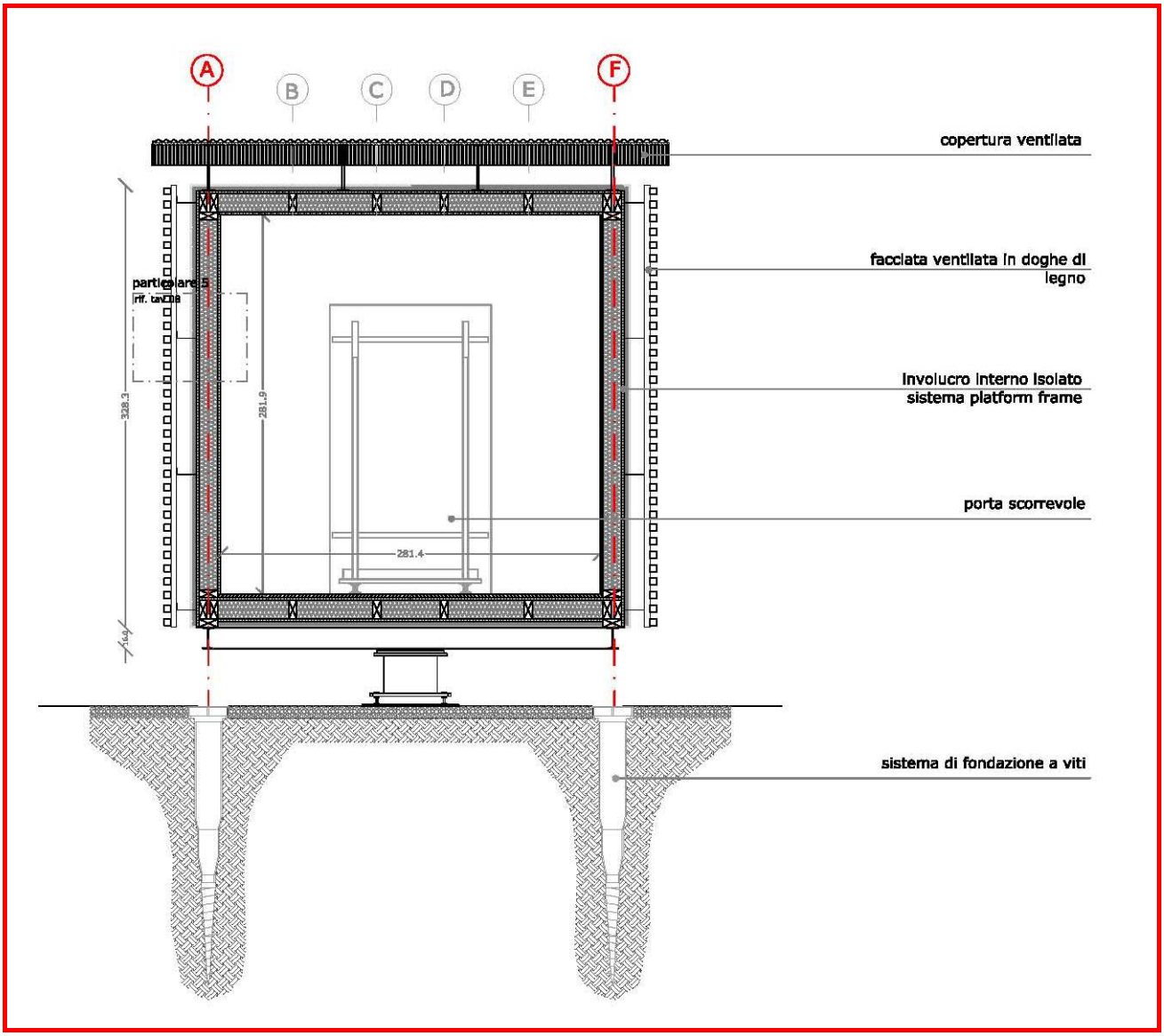


Fig.II.12

Sezione trasversale della test cell

La test cell ruota attorno ad un perno centrale e scorre lungo un binario su ruote opportunamente dimensionate dal punto di vista strutturale. Nella sezione di sopra, la rotaia è esterna rispetto alle dimensioni trasversali della test cell e per motivi di spazio non è stata rappresentata nel disegno.

Le superfici verticali della test cell sono riparate dalla radiazione solare diretta: si è infatti cercato di ridurre il surriscaldamento della camera di prova utilizzando una schermatura sulla struttura della test cell, opportunamente distanziata dalla struttura portante e in doghe di legno; si è scelto il legno perché è un materiale naturale che ben si inserisce nel contesto ambientale in cui si realizzerà la test cell.

Non è stato realizzato in metallo, per evitare che si provocassero temperature superficiali troppo elevate da non consentire alla test cell un flusso regolare tra l'interno e l'esterno e viceversa. La parete così realizzata, è una schermatura ventilata.

II.1.3.3 SEZIONE LONGITUDINALE

La sezione longitudinale mette in evidenza una schermatura solare, ventilata, anche sulla copertura. Lo scopo è evitare il contributo della radiazione solare diretta sulla copertura dell'involucro della camera di prova. La copertura ha una certa distanza dall'involucro per assicurare una adeguata ventilazione del tetto, in modo da potere misurare tra l'estradosso del tetto e la schermatura in copertura una temperatura esterna che sia del tutto simile e paragonabile alla temperatura esterna, all'ombra.

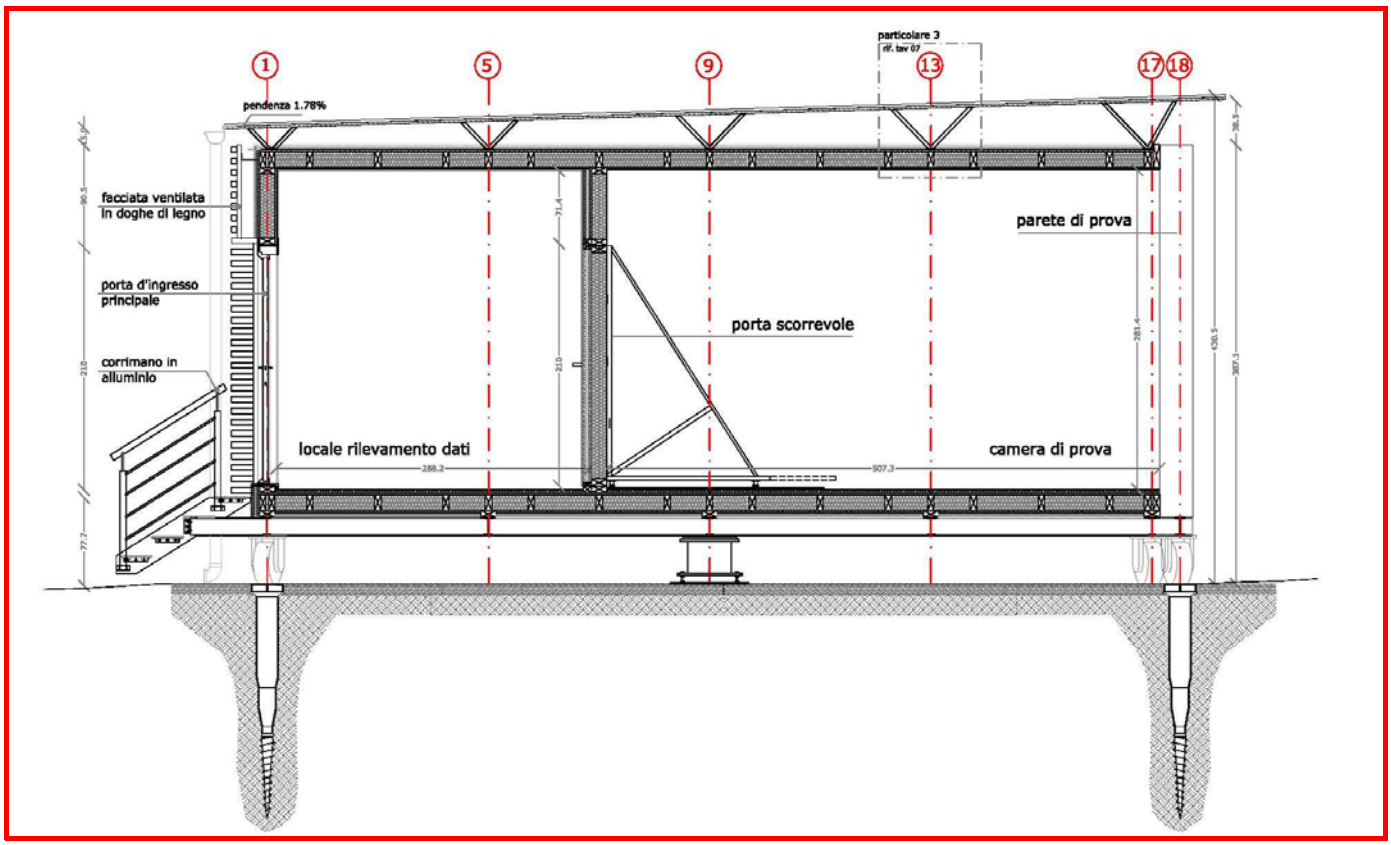


Fig.II.13.
Sezione longitudinale

II.1.3.4 PROSPETTI

Sulla sinistra, il prospetto a Nord. La test cell avrà un orientamento preferenziale con il componente di test posizionato a Sud. L'ingresso avviene tramite la porta di ingresso sul lato a nord.

A destra, il frame che contiene il muro da testare. Al momento della realizzazione della test cell, verrà chiesto alla ditta appaltatrice la realizzazione del frame con all'interno una parete che abbia le stesse caratteristiche dimensionali e gli stessi parametri termo fisici dei componenti verticali. E' infatti necessario che la test cell rimanga chiusa in modo da non fare danneggiare l'interno dalle piogge esterne ovvero dall'ingresso non desiderato di insetti e altro.

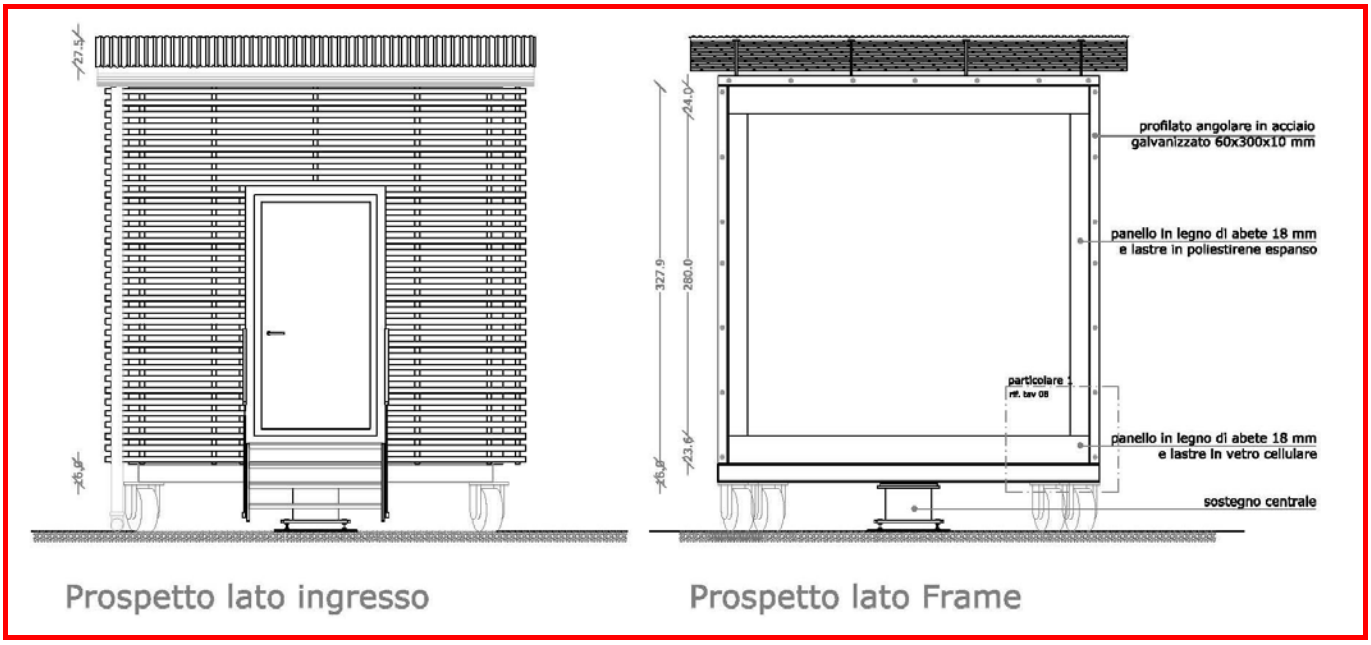


Fig.II.14. A sinistra il prospetto Nord, a destra il prospetto Sud.

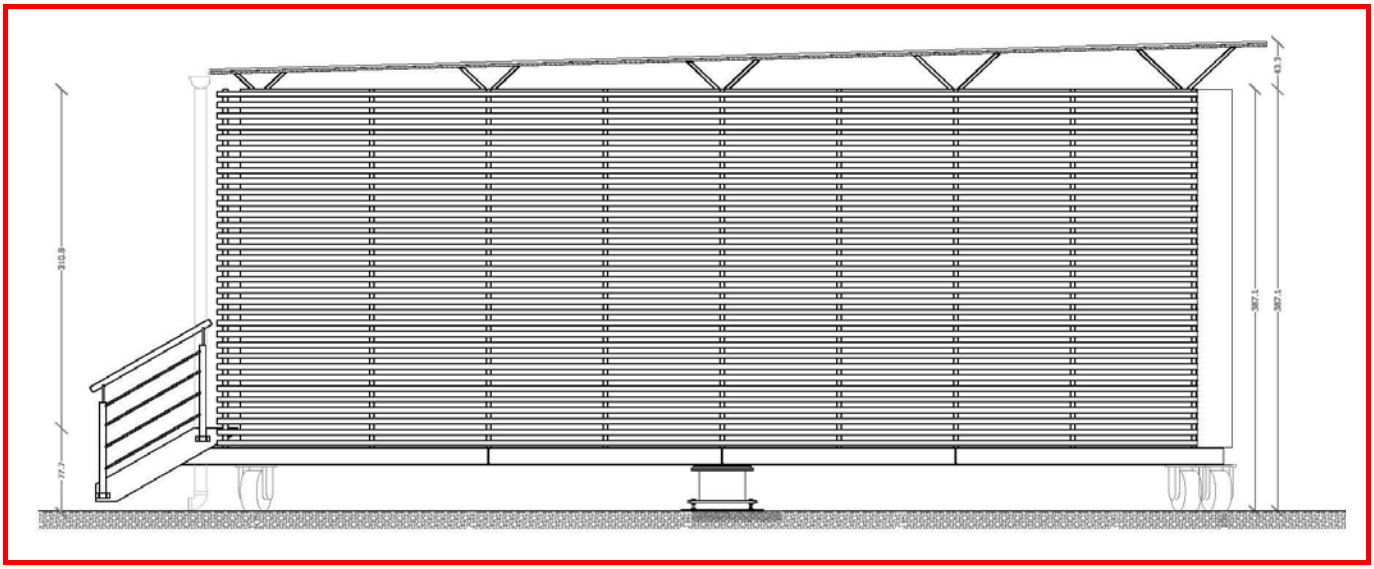


Fig.II.15. Prospetto Ovest

II.1.3.5 SOLAIO DI COPERTURA

La struttura in telaio strutturale è in legno di abete e tra un travetto e il successivo viene contenuto un isolante in lana di roccia. Il sistema viene poi chiuso all'interno di due pannelli in legno di abete di 18mm di spessore. Sulla parte interna viene posta sia una barriera al vapore che un foglio di plastica per ridurre al minimo le infiltrazioni.

Sull'esterno viene posta una barriera antivento e fuori dal pannello strutturale viene posizionato un isolante in fibra di legno per esterni.

Al travetto di legno, viene collegata la struttura metallica che sorregge la copertura ventilata in legno, utilizzata come schermatura solare.

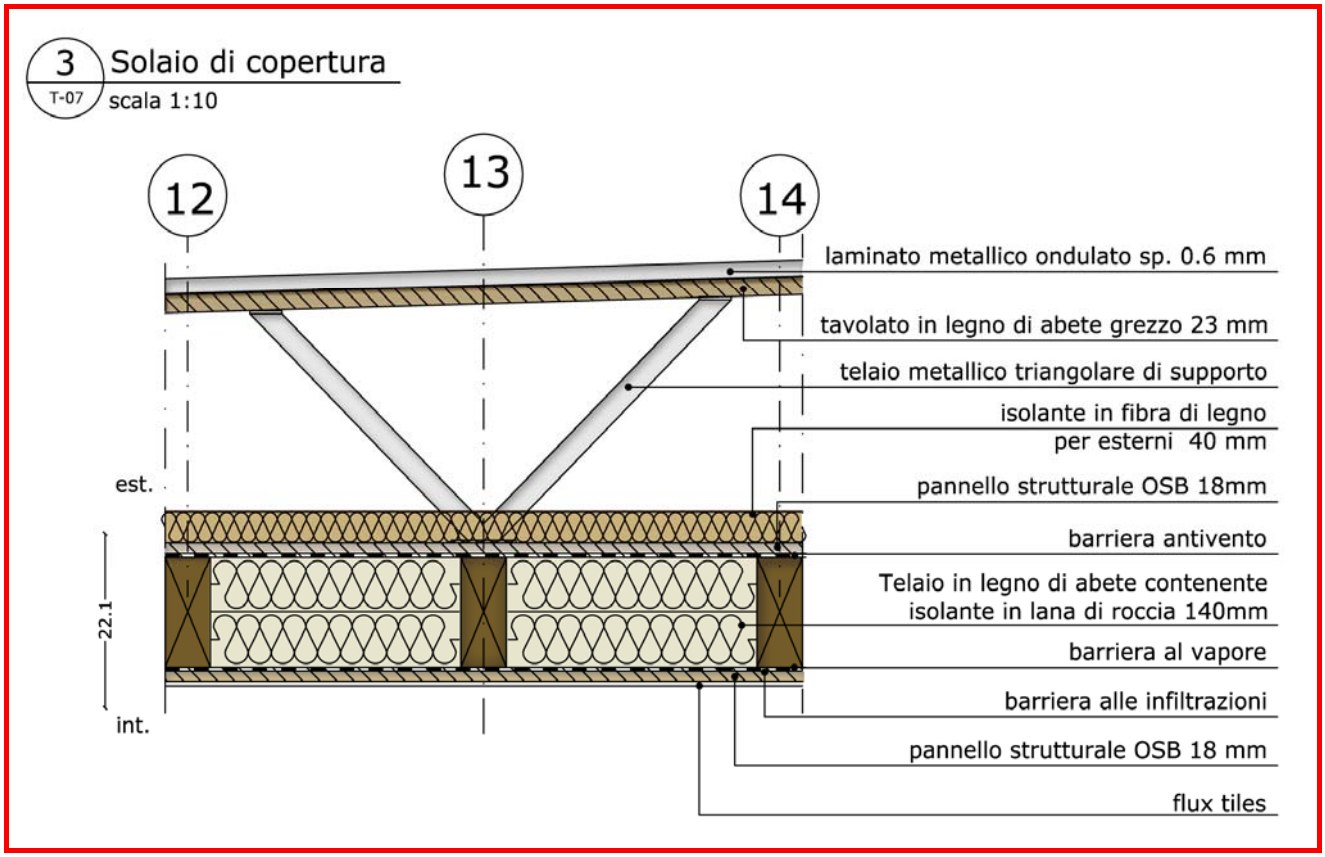


Fig.II.16.
Dettaglio costruttivo del solaio di copertura

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI

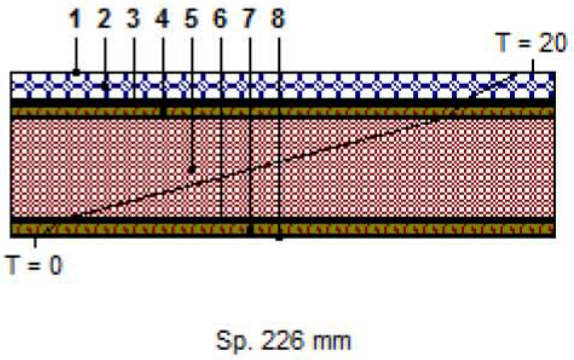
Codice Struttura: 00.00.03
Descrizione Struttura: solaio controterra

N.	DESCRIZIONE STRATO (da superiore a inferiore)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50*10¹² [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Superiore	0		7.700			0	0.130
2	Pannelli di lana di legno con leganti inorganici - mv.300.	40	0.085	2.130	12.00	80.000	1500	0.469
3	Fogli di materiale sintetico.	5	0.230	46.000	5.50	0.010	900	0.022
4	Abete (flusso perpendicolare alle fibre).	18	0.120	6.667	8.10	0.300	1700	0.150
5	Da rocce feldspatiche -pannelli semirigidi- appl. interne - mv.40.	140	0.042	0.299	5.60	150.000	1030	3.349
6	Fogli di materiale sintetico.	5	0.230	46.000	5.50	0.010	900	0.022
7	Abete (flusso perpendicolare alle fibre).	18	0.120	6.667	8.10	0.300	1700	0.150
8	Adduttanza Inferiore	0		25.000			0	0.040

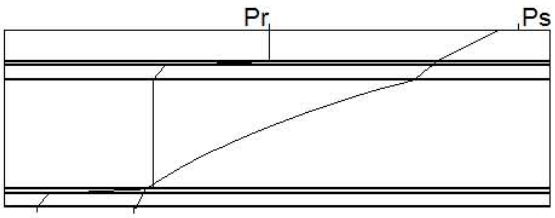
RESISTENZA = 4.332 m²K/W	CAPACITA' TERMICA AREICA (sup) = 23.779 kJ/m²K	TRASMITTANZA = 0.291 W/m²K
SPESSORE = 226 mm	CAPACITA' TERMICA AREICA (inf) = 21.950 kJ/m²K	MASSA SUPERFICIALE = 45 kg/m²
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.15 W/m²K	FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.65	SFASAMENTO = 5.59 h

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmittanza = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.i..

STRATIGRAFIA STRUTTURA



DIAGRAMMI DELLE PRESSIONI



	Ts [°C]	Pss [Pa]	Prs [Pa]	URs [%]	Ti [°C]	Psi [Pa]	Pri [Pa]	URi [%]
DIAGRAMMI DELLE PRESSIONI	20.0	2 337	1 215	52.0	0.0	611	173	28.3

Ts = Temperatura superiore; Pss = Pressione di saturazione superiore; Prs = Pressione relativa superiore; URs = Umidità superiore; Ti = Temperatura inferiore; Psi = Pressione di saturazione inferiore; Pri = Pressione relativa inferiore; URi = Umidità inferiore.

Fig.II.17.
Dettaglio delle caratteristiche termiche e igrometriche del solaio di copertura

II.1.3.6 SOLAIO DI CALPESTIO

Il solaio di calpestio ha una struttura simile a quella del solaio di copertura: la scelta è legata al fatto che dal punto di vista termico si vuole realizzare una struttura che abbia simili dispersioni termiche attraverso i componenti di involucro, quindi si è cercata una soluzione che strutturalmente e termo-fisicamente soddisfacesse le esigenze, sia strutturali che termo fisiche.

Il piano di calpestio è ricoperto da sensori di flusso che vengono inglobati in piastrelle di alluminio verniciato in modo da avere una distribuzione del flusso di calore in maniera omogenea sulla piastrella chiamata flux-tiles.

Lo spessore complessivo dei sensori di flusso sulle piastrelle che ricoprono l'intero pavimento è di circa 5 mm.

Sul pavimento si dovrà avere la accortezza di camminare senza scarpe o indumenti che possano rovinare le piastrelle.

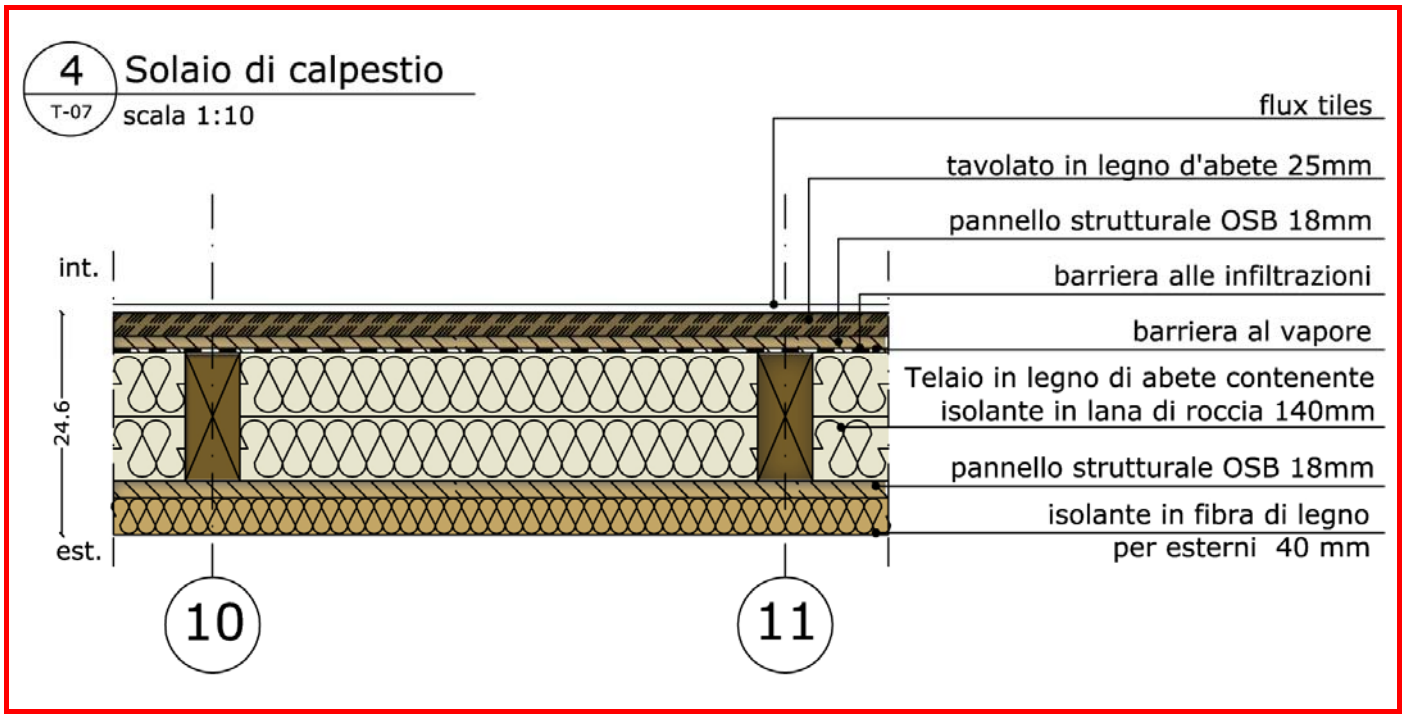


Fig.II.18.
Dettaglio del solaio di calpestio

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI

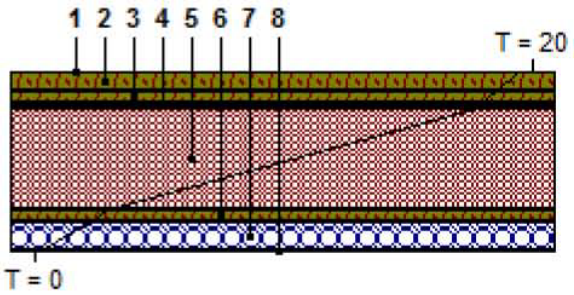
Codice Struttura: 00.00.03
Descrizione Struttura: solaio copertura

N.	DESCRIZIONE STRATO (da superiore a inferiore)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50*10¹² [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Superiore	0		7.700			0	0.130
2	Abete (flusso perpendicolare alle fibre).	25	0.120	4.800	11.25	0.300	1700	0.208
3	Abete (flusso perpendicolare alle fibre).	18	0.120	6.667	8.10	0.300	1700	0.150
4	Fogli di materiale sintetico.	5	0.230	46.000	5.50	0.010	900	0.022
5	Da rocce feldspatiche -pannelli semirigidi- appl. interne - mv.40.	140	0.042	0.299	5.60	150.000	1030	3.349
6	Abete (flusso perpendicolare alle fibre).	18	0.120	6.667	8.10	0.300	1700	0.150
7	Pannelli di lana di legno con leganti inorganici - mv.300.	40	0.085	2.130	12.00	80.000	1500	0.469
8	Adduttanza Inferiore	0		25.000			0	0.040

RESISTENZA = 4.519 m²K/W	**CAPACITA' TERMICA AREICA (sup) = 30.664 kJ/m²K**	**TRASMITTANZA = 0.291 W/m²K**
SPESSORE = 246 mm	**CAPACITA' TERMICA AREICA (inf) = 25.611 kJ/m²K**	**MASSA SUPERFICIALE = 51 kg/m²**
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.14 W/m²K	**FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.61**	**SFASAMENTO = 6.98 h**

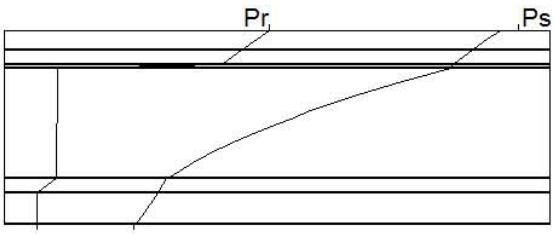
s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmittanza = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.i..

STRATIGRAFIA STRUTTURA



Sp. 246 mm

DIAGRAMMI DELLE PRESSIONI



	Ts [°C]	Pss [Pa]	Prs [Pa]	URs [%]	Ti [°C]	Psi [Pa]	Pri [Pa]	URi [%]
DIAGRAMMI DELLE PRESSIONI	20.0	2 337	1 215	52.0	0.0	611	173	28.3

Ts = Temperatura superiore; Pss = Pressione di saturazione superiore; Prs = Pressione relativa superiore; URs = Umidità superiore; Ti = Temperatura inferiore; Psi = Pressione di saturazione inferiore; Pri = Pressione relativa inferiore; URi = Umidità inferiore.

Fig.II.19.
Dettaglio delle caratteristiche termiche e igrometriche del solaio di calpestio

II.1.3.7 PARETI VERTICALI

Le pareti verticali sono realizzate in pannelli strutturali OSB da 18 mm che contengono all'interno la struttura intelaiata in legno di abete con interposto tra una trave e l'altra della lana di roccia.

La sovrastruttura esterna è in legno ed è progettata per garantire una ventilazione dell'intercapedine e una schermatura totale dell'involucro della camera di prova.

Il componente verticale della test cell prevede una barriera antivento per ridurre le infiltrazioni, una barriera al vapore per ridurre il rischio di umidità all'interno della muratura portante, e prevede inoltre una specifica barriera alle infiltrazioni per potere cioè effettuare le prove di pressurizzazione della camera di prova. Quest'ultima non è altro che un foglio di plastica trasparente incollato sulla barriera al vapore. Il pannello in legno di chiusura dovrà essere posto in modo tale da non creare fori superflui sulla barriera alle infiltrazioni.

Lo stesso spessore della tavola di legno, pari a 18mm consente l'avvitamento dei sensori di flusso termico e delle relative piastrelle di flusso in modo da non forare la barriera alle infiltrazioni.

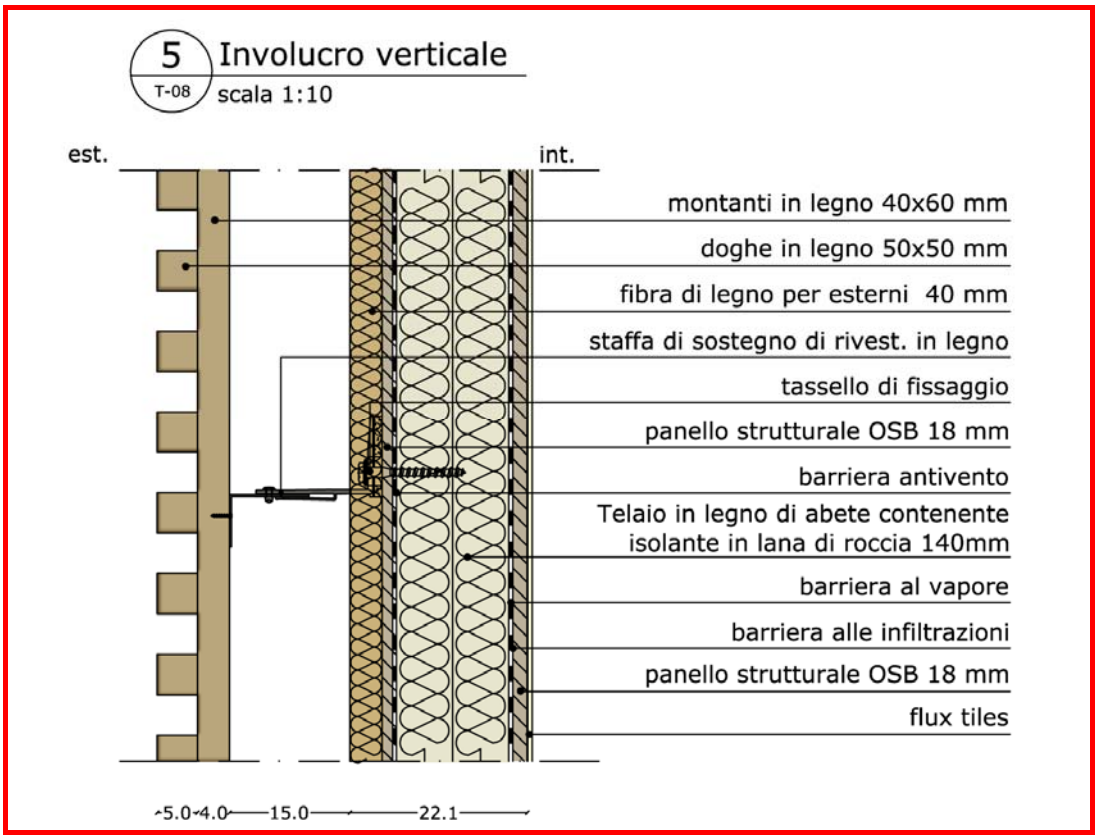


Fig.II.20. Dettaglio delle pareti verticali

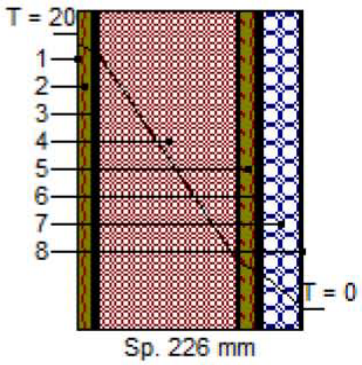
Figg.II.21, 22, 23. Installazione della barriera alle infiltrazioni durante le operazioni di ristrutturazione della test cell di Vitoria-Gasteiz. A destra, colla utilizzata.

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [kg/m²]	P<50*10¹² [kg/msPa]	C.S. [J/kgK]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Interna	0		7.700			0	0.130
2	Abete (flusso perpendicolare alle fibre).	18	0.120	6.667	8.10	0.300	1700	0.150
3	Fogli di materiale sintetico.	5	0.230	46.000	5.50	0.010	900	0.022
4	Da rocce feldspatiche - feltri resinati - appl. interne - mv.30.	140	0.045	0.322	4.20	150.000	1030	3.104
5	Abete (flusso perpendicolare alle fibre).	18	0.120	6.667	8.10	0.300	1700	0.150
6	Fogli di materiale sintetico.	5	0.230	46.000	5.50	0.010	900	0.022
7	Pannelli di lana di legno con leganti inorganici - mv.300.	40	0.085	2.130	12.00	80.000	1500	0.469
8	Adduttanza Esterna	0		25.000			0	0.040

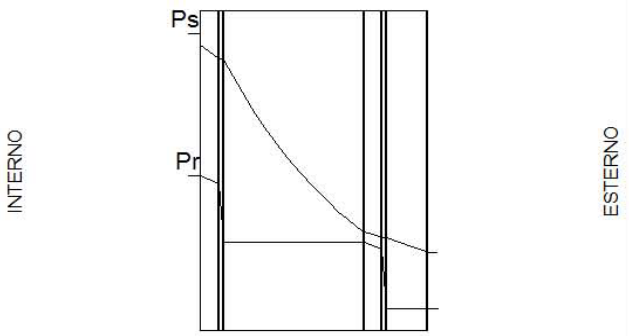
RESISTENZA = 4.087 m²K/W		**TRASMITTANZA = 0.285 W/m²K**
SPESSORE = 226 mm	**CAPACITA' TERMICA AREICA (int) = 20.638 kJ/m²K**	**MASSA SUPERFICIALE = 43 kg/m²**
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.17 W/m²K	**FATTORE DI ATTENUAZIONE = 0.70**	**SFASAMENTO = 5.25 h**

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmittanza = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D.Lgs.192/05 e s.m.i..

STRATIGRAFIA STRUTTURA



DIAGRAMMI DELLE PRESSIONI



	Ti [°C]	Psi [Pa]	Pri [Pa]	URi [%]	Te [°C]	Pse [Pa]	Pre [Pa]	URe [%]
DIAGRAMMI DELLE PRESSIONI	20.0	2 337	1 215	52.0	0.0	611	173	28.3

Ti = Temperatura interna; Psi = Pressione di saturazione interna; Pri = Pressione relativa interna; URi = Umidità relativa interna; Te = Temperatura esterna; Pse = Pressione di saturazione esterna; Pre = Pressione relativa esterna; URe = Umidità relativa esterna.

Fig.II.24. Dettaglio delle caratteristiche termiche e igrometriche delle pareti verticali

II.1.3.8 APPOGGIO TEST CELL – STRUTTURA DI BASE

La test cell ha una struttura in legno che deve ruotare su una piattaforma in acciaio. Per evitare il consumo della zona di appoggio, sono previsti dei cuscinetti ammortizzatori che riducano l'usura, che consentano di scaricare il peso su una zona più ampia e minimizzino le dispersioni termiche.

Di seguito un dettaglio costruttivo.

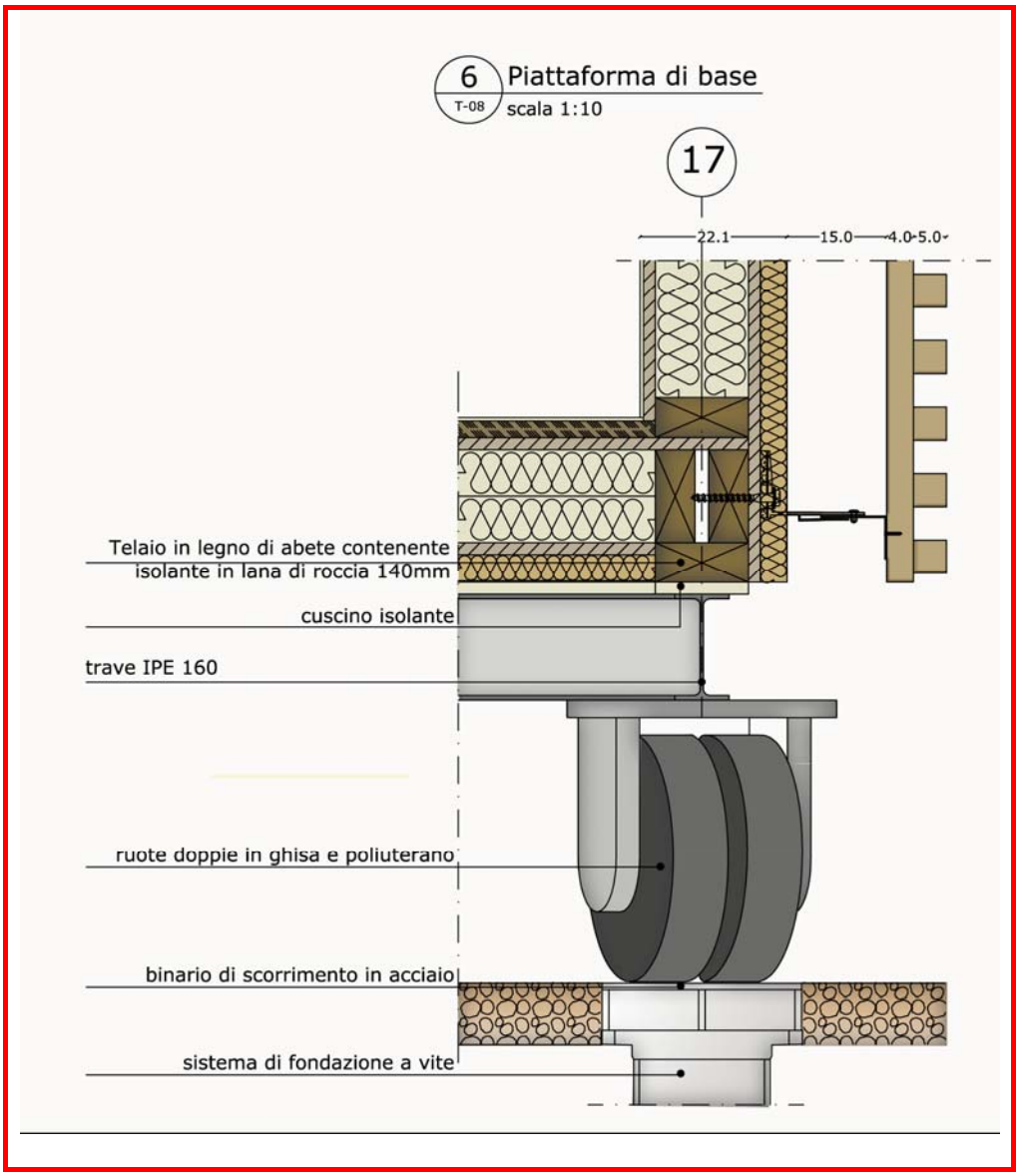


Fig.II.25.
Dettaglio dell'appoggio su carrello

II.1.3.9 LA PORTA TRA LA CAMERA DI PROVA E LA SERVICE ROOM

La porta di comunicazione tra le due zone, viene realizzata con lo stesso materiale delle pareti in modo da contenere i ponti termici e avere maggiore uniformità nelle dispersioni termiche attraverso i componenti della test cell.

Per ridurre al minimo le infiltrazioni, la porta sarà del tipo scorrevole, con maniglie a spingere poste sul lato della service room.

La porta scorrerà su un carrellino a ruote, su binario in legno e saranno poste delle guarnizioni sul lato della service room, per evitare dispersioni per ventilazione quando necessario.

Ogni volta che si deve testare un nuovo componente, sarà necessario effettuare una prova di pressurizzazione per misurare le perdite di pressione all'interno della camera di prova, in modo da potere quantificare le dispersioni per infiltrazioni.

Se le misure sulla pressione risultano tali da consentire le prove sul componente perché ritenute sufficientemente accettabili, allora bene, altrimenti sarà necessario sganciare e riagganciare il muro di prova, mettere delle apposite guarnizioni anche attorno alla porta di collegamento tra la camera di prova e la service room e quindi effettuare nuovamente il test di pressurizzazione.

Anche la parete su cui si inserisce la porta scorrevole sarà rivestita, internamente alla camera di prova, di sensori di flusso atti a misurare il flusso termico che attraversa la parete divisoria tra la service room e la test room.

Sulla struttura trasversale in legno tra la porta scorrevole e il piano di scorrimento, saranno previsti dei ganci per potere all'interno della test cell posare una torcia o lampada portatile: la stanza infatti sarà sprovvista di luce interna, ci sarà una ciabatta cui collegare solo al momento delle ispezioni una lampada portatile che quindi avrà la necessità di essere appoggiata o agganciata in modo da non disturbare la sensoristica.

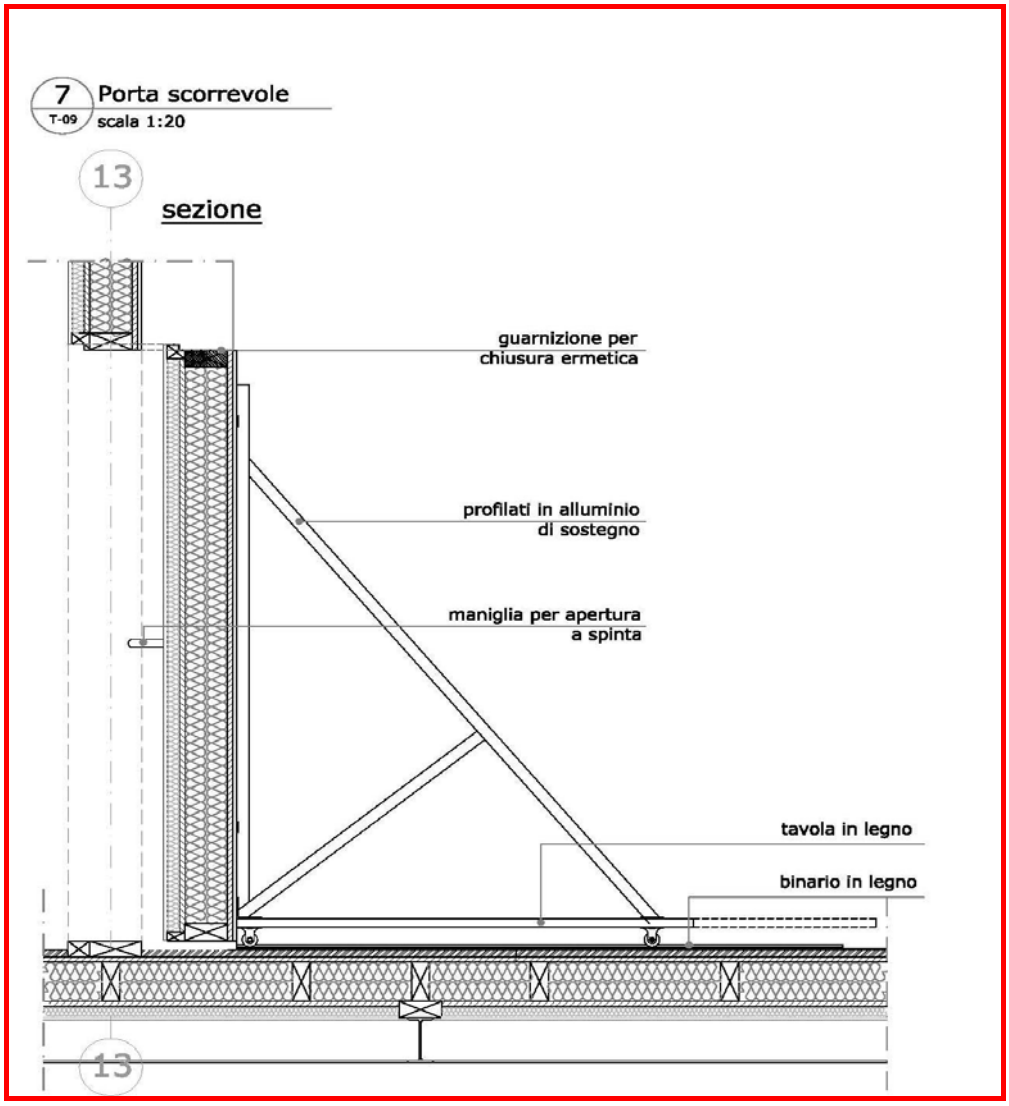


Fig.II.26.
Dettaglio della porta scorrevole

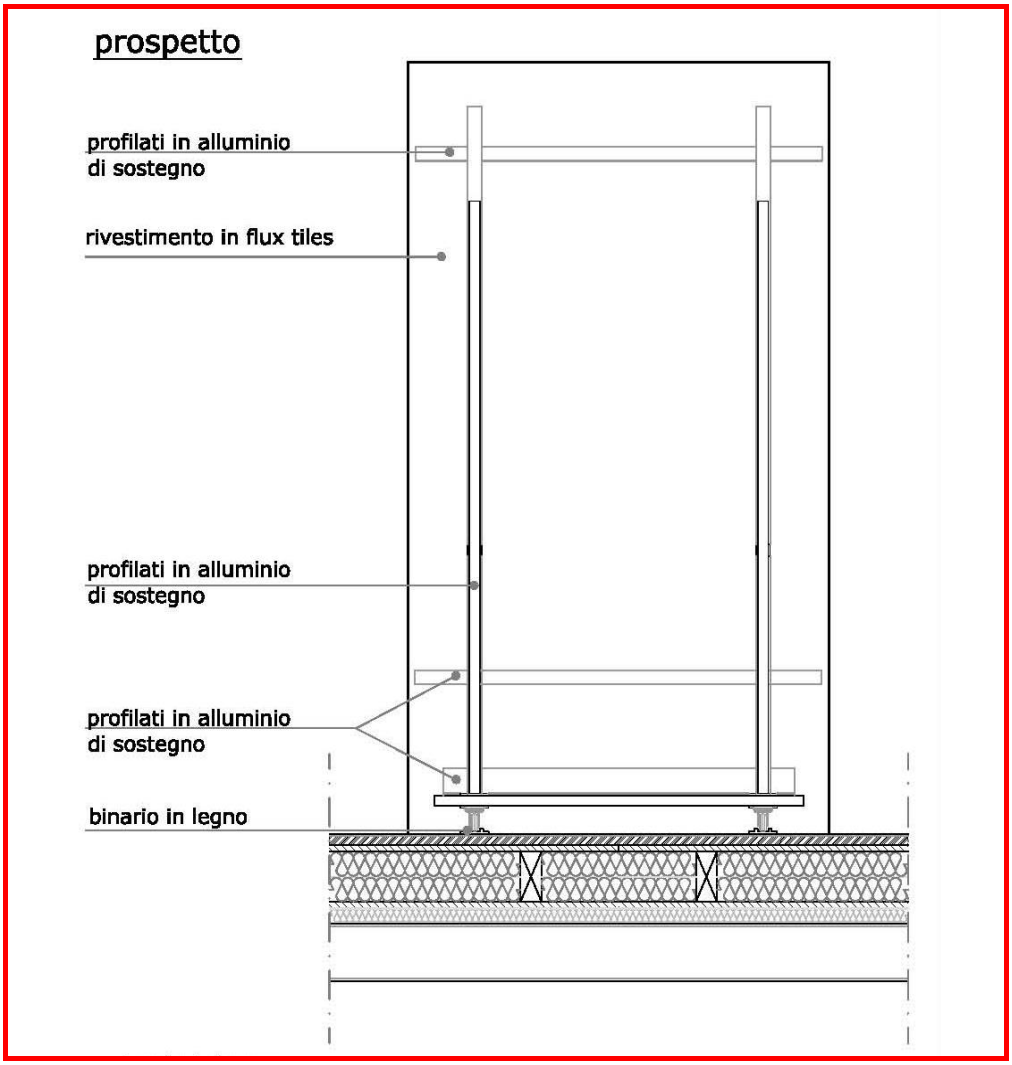


Fig. II.27. Prospetto della porta scorrevole

II.1.3.10 BINARIO E RALLA CENTRALE

La test cell ha una struttura portante in legno e dovrà poggiare su una struttura di base a sua volta appoggiata alle fondazioni viti krinner. La piattaforma su cui fare appoggiare la test cell è un binario su cui la test cell potrà ruotare, in modo da garantire la rotabilità della camera di prova per testare nuovi componenti su orientamenti diversi.

Il basamento consiste in una piattaforma in acciaio, base d'appoggio per l'involucro della Test Cell, dotata di una ralla centrale per ottenere una rotazione motorizzata su rotaia tramite ruote in acciaio.

L'appoggio tra la test cell e la piattaforma in acciaio sarà interconnesso da cuscinetti ammortizzatori necessari per il contenimento delle vibrazioni durante la rotazione e in modo che nel punto di appoggio la struttura in legno non si deteriori.

Sono state calcolate 31 viti krinner lungo una circonferenza di raggio pari a 4.329 metri. Le viti hanno una lunghezza pari a 1.60 metri e il calcolo è stato effettuato considerando il rapporto geologico e geotecnico elaborato su convenzione tra l'Università degli Studi di Firenze e il Dipartimento di Ingegneria edile e strutturale messa a disposizione dal Dipartimento di Strutture[2].

Una volta posizionate le viti nel terreno, esse dovranno essere livellate per predisporre un piano orizzontale su cui appoggiare delle piastre, un cuscinetto e la struttura del binario su cui fare ruotare la test cell.

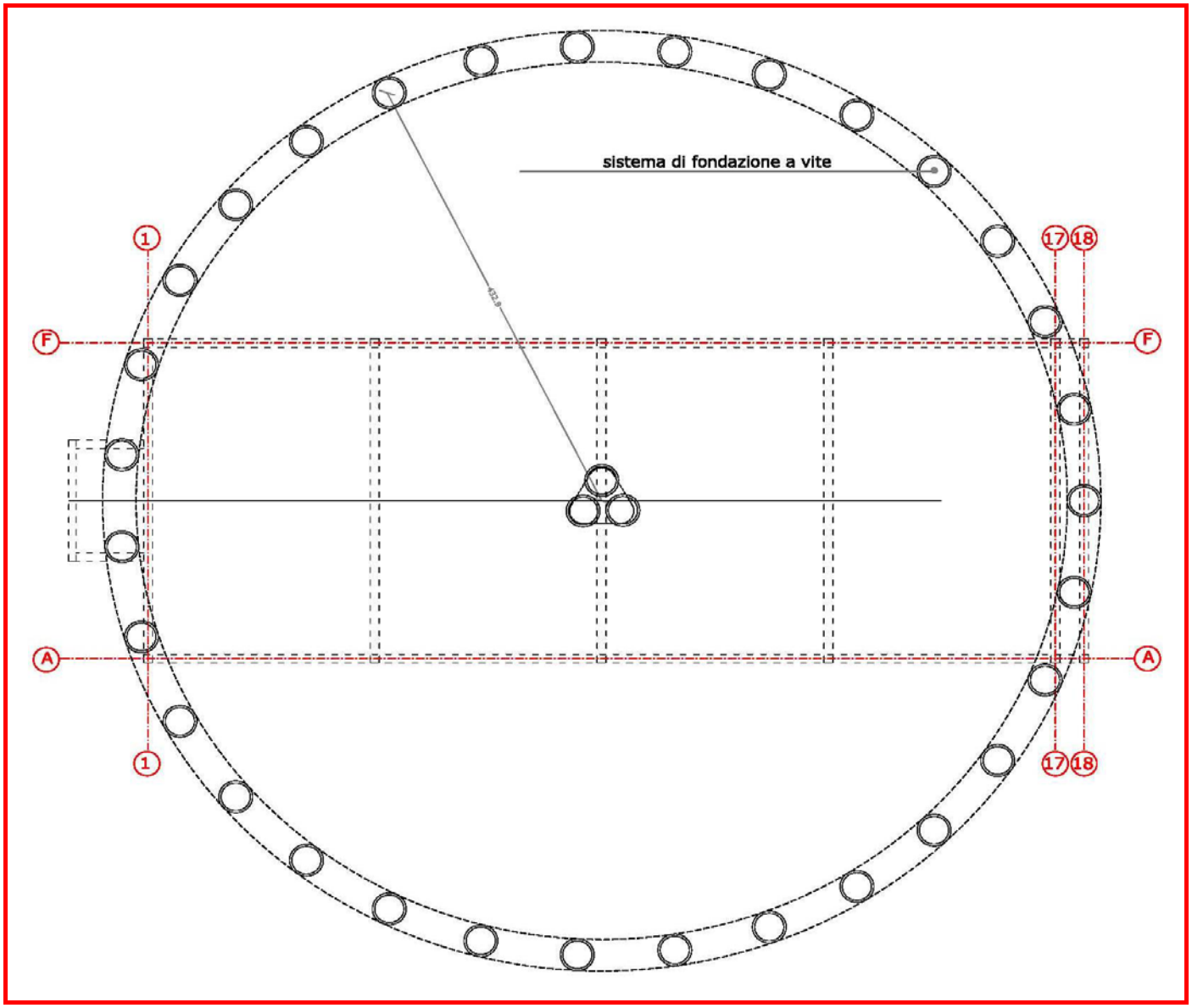


Fig.II.28.
Pianta Fondazioni: 31 viti krinner

[2] Rapporto Geologico e Geotecnico elaborato da Prof. Geol. Massimo Rinaldi e Prof. Ing. Giovanni Vannucci. Firenze, Marzo 2006.

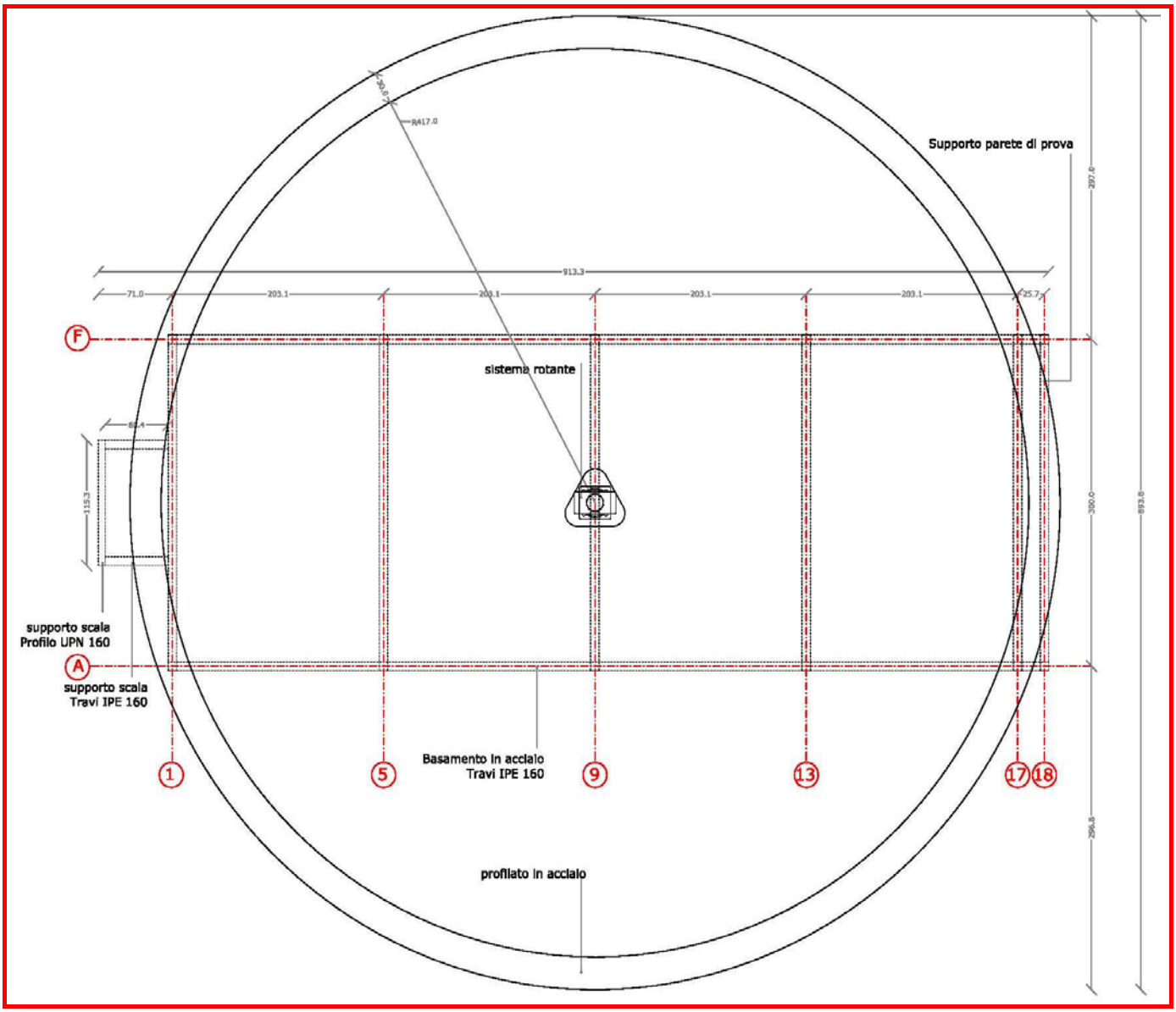


Fig.II.29.
Pianta binario di rotazione della test cell. Il binario è una struttura in acciaio realizzata con un raggio di curvatura interna pari a 4.17 metri, con uno spessore di 0.30 metri; sarà realizzata da 6 tratti che verranno saldati in loco tra di loro e poi bullonati alle viti Krinner sottostanti.

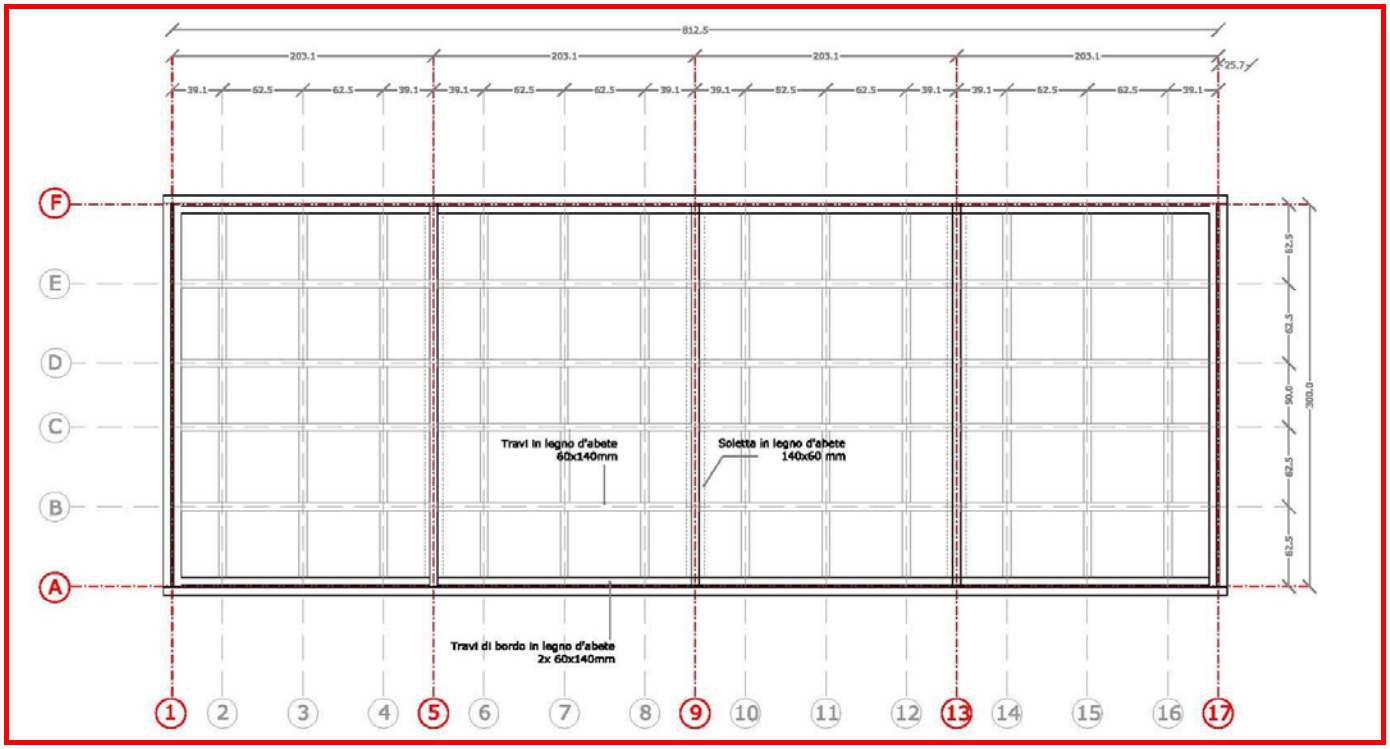


Fig.II.30
Pianta della sottostruttura metallica su cui appoggia la test cell.

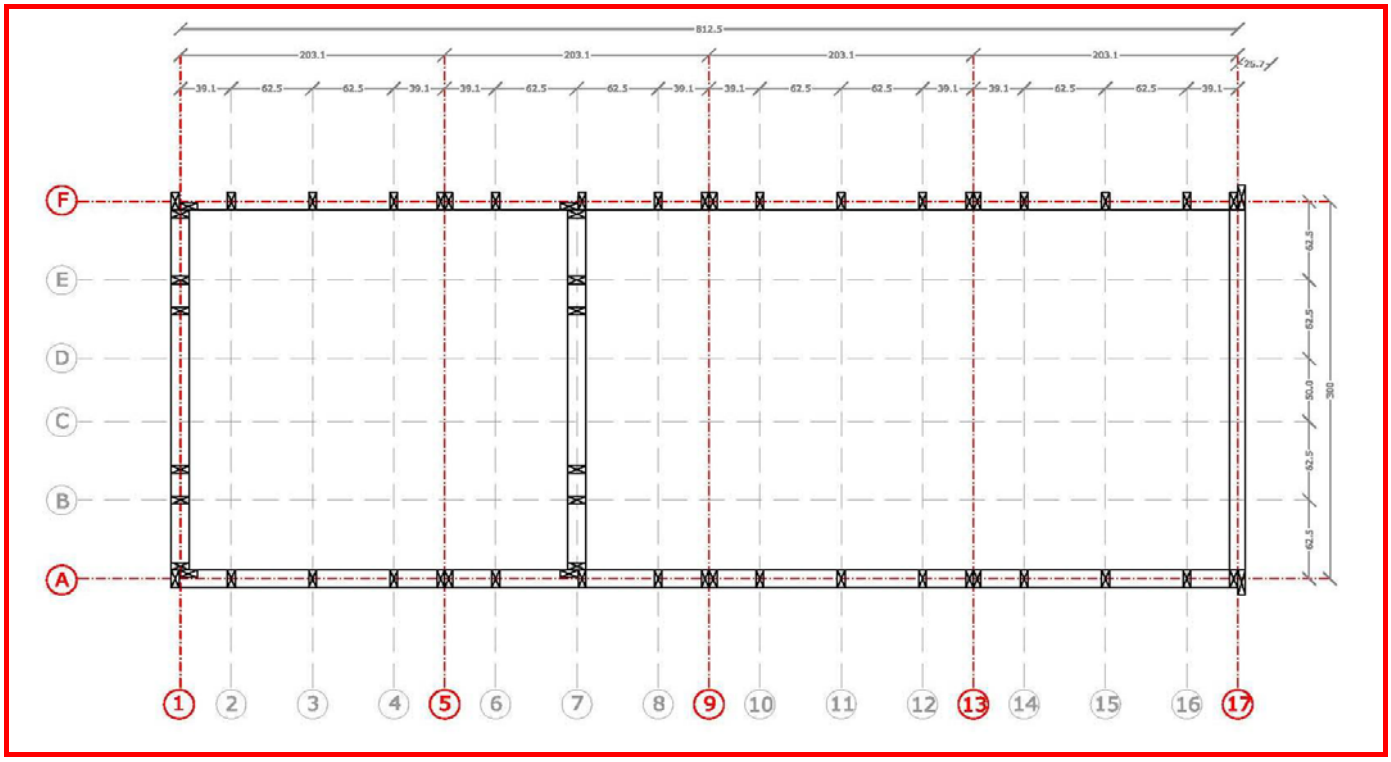


Fig.II.31
Pianta telaio in legno della struttura della camera di prova e della service room

II.1.3.11 LA PARETE DI PROVA

Il componente di prova deve essere testato in facciata dopo essere stato montato su apposito telaio, *frame*, rimovibile. Il telaio di supporto del componente di prova consiste di due parti: in un controtelaio fisso in acciaio opportunamente fissato all'involucro in legno ed un telaio rimovibile, anche esso in acciaio.

Quest'ultimo deve essere rivestito da una scatola in legno contenente materiale isolante in grado di sopportare il peso anche di pareti in muratura portante. Il telaio, durante le prove su materiali pesanti, dovrà poggiare su appositi appoggi in modo da non provocare sbilanciamenti dell'intera struttura della test cell. Il frame con il telaio e il suo controtelaio in materiale isolante, dovrà contenere all'interno le pareti da testare.

Il materiale isolante dovrà quindi essere posto sui quattro lati del telaio; alla base, il materiale isolante con il telaio dovrà essere in grado di sostenere il componente di prova senza schiacciarsi o danneggiarsi, quindi si potrà prevedere alla base un materiale isolante con più alta densità rispetto agli altri materiali usati sui rimanenti tre lati, ma con eguale conducibilità termica λ.

E'quindi stato individuato come isolante alla base del frame il vetro cellulare per le sue specifiche caratteristiche di resistenza meccanica a flessione e taglio.

Le altre tre parti del telaio sono isolate con polistirene espanso, più leggero del vetro cellulare, meno denso ma con eguale conducibilità termica.

E' necessario infatti prevedere un frame isolato affinché le dispersioni termiche possano essere contenute.

Una simulazione in 3-D infatti, mette a confronto gli effetti di bordo tra un frame isolato e uno non isolato termicamente.

Le dimensioni del componente da testare sono pari alle dimensioni interne al frame. La ditta interessata a sviluppare nuovi componenti di facciata, quindi, avrà la possibilità di realizzare in azienda il componente, direttamente all'interno del frame che gli verrà fornito dal laboratorio della test cell.

Una volta usato, a seconda del componente da testare e quindi a seconda della rimozione del componente, sarà possibile ri-utilizzare il frame; diversamente sarà necessario riprodurlo per il nuovo componente da testare.

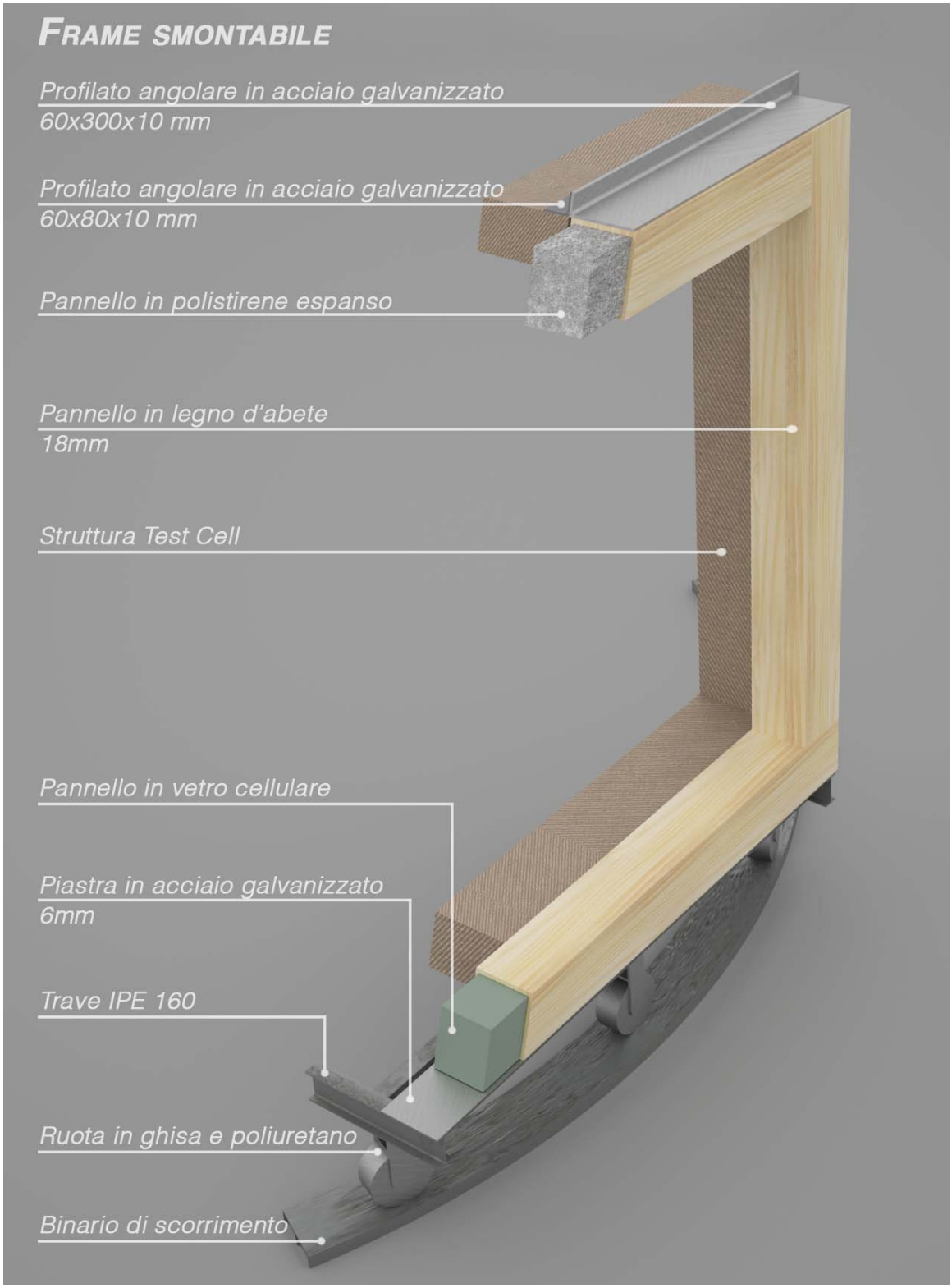


Fig.II.32. Spaccato assonometrico del frame

I componenti possono essere sia opachi che trasparenti, con dimensioni pari a 2.81 metri di altezza e 2.82 metri di larghezza. Il frame standard, potrà

accogliere componenti di facciata con spessore fino a 30 cm. Per spessori maggiori, sarà realizzato un apposito telaio.

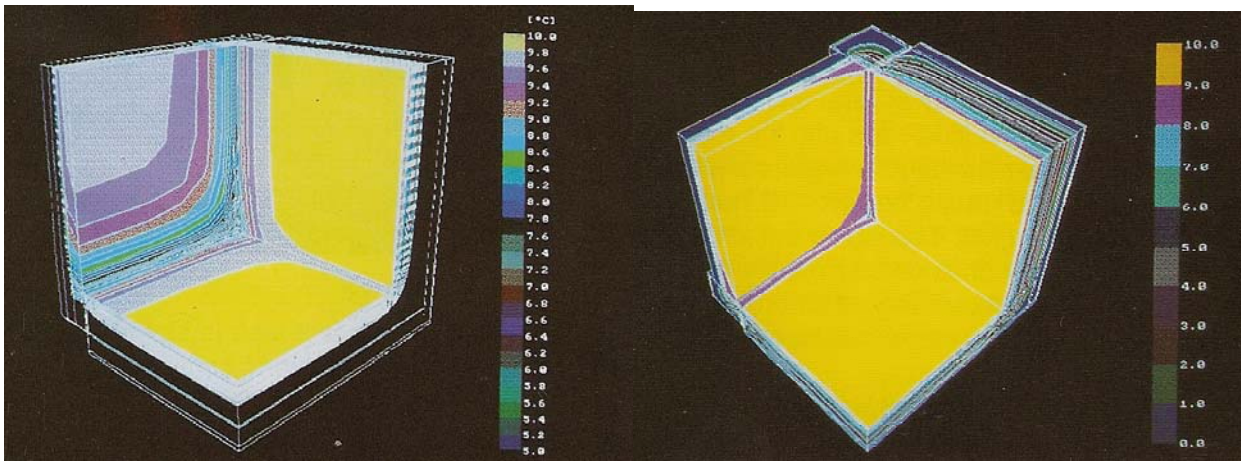


Fig.II.33. Simulazione 3-D delle dispersioni termiche tra un frame opportunamente isolato ed un altro non isolato termicamente

Essendo la struttura della test cell relativamente leggera, ed essendoci la possibilità di testare componenti di facciata particolarmente pesanti, è previsto che prima di montare un componente di facciata, la test cell venga sottoposta ad analisi dei carichi, con particolare riguardo al ribaltamento.

Per evitarlo, è previsto che il frame venga appoggiato su appositi sostegni.

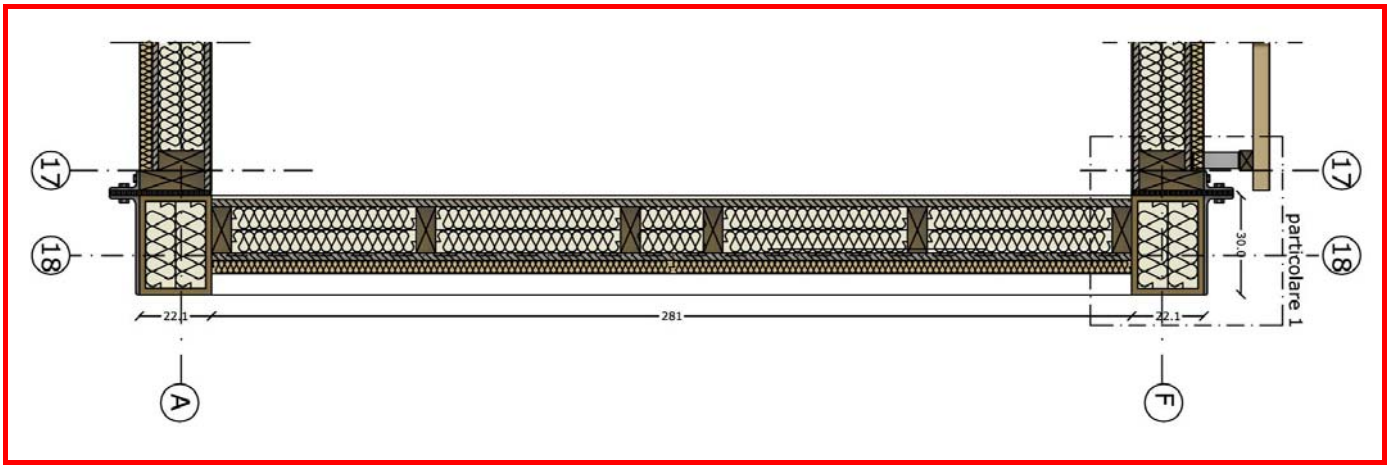
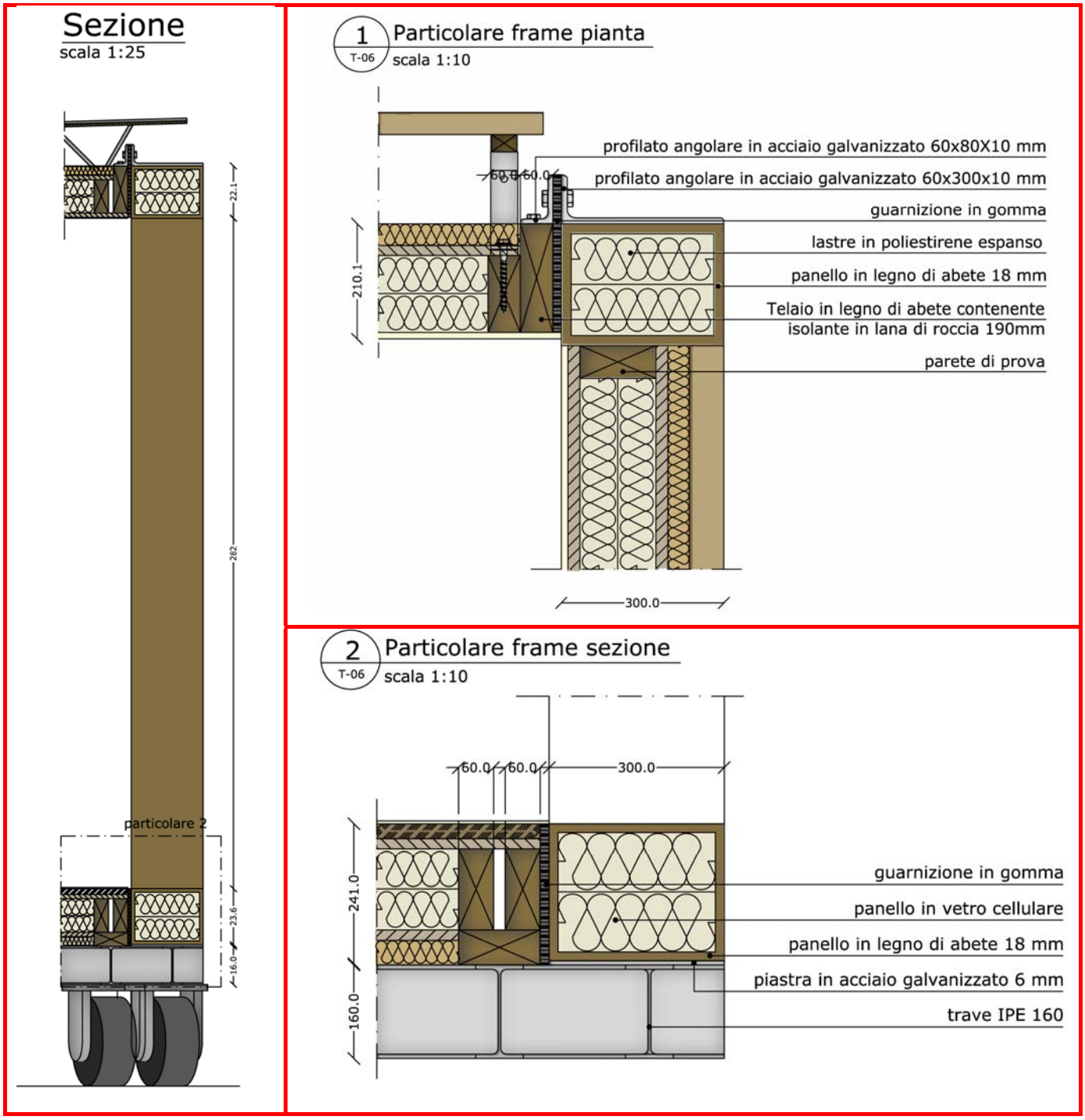


Fig.II.34 Sezione orizzontale sul frame. Scala 1:25



Figg. II.35, 36, 37
Dettagli costruttivi frame

II.1.3.12 COMPONENTI DA TESTARE

Di seguito vengono elencate una serie di rendering del progetto finale della test cell con possibili componenti da testare. L'involucro della test cell viene rivestito da una sovrastruttura esterna che ha una duplice funzione:

- riparare dalla radiazione solare diretta
- riparare dalle infiltrazioni in modo da rendere la struttura riparata dalle intemperie esterne.

La schermatura della radiazione solare diretta è in listelli di legno che si agganciano ad una struttura che è distaccata di 15 cm dalla struttura della test cell, in modo da garantire ventilazione e in modo tale da potere ottenere tra l'intercapedine una temperatura eguale a quella esterna, senza incorrere in problemi di surriscaldamento.

Altre soluzioni individuate sulla schermatura esterna sono relative ad una possibile parete verticale eventualmente da proporre in siti in cui è possibile caricare ulteriormente la struttura, senza problemi di fonazioni in calcestruzzo armato.

Di seguito quindi, alcune viste relative alla test cell con lo sfondo di Santa Marta, nel campus dell'Università degli Studi di Firenze, con componenti di prova diversi.

Fig. II.38
Componente di prova opaco, massivo, in blocchi di calcestruzzo.

Fig. II.39
Componente di prova trasparente con telaio in legno e senza schermatura esterna.

Fig. II.40
Componente di prova opaco con sistema finestrato al centro e telaio di legno.

Fig. II.41
Componente di prova opaco: muratura massiva in blocchi di laterizio.

Fig. II.42
Componente di prova opaco ventilato con superficie esterna in cotto.

La sperimentazione dei nuovi componenti da parte delle ditte che hanno aderito al progetto ABITARE Mediterraneo, è in corso.

Sono stati durante i due cicli di dottorato precedenti al XXIII, sviluppati due componenti innovativi di facciata:

- il primo, opaco, elaborato durante la tesi di dottorato dall'Arch. Milagros Villalta Begazo, Università degli Studi di Firenze, XXIII ciclo.
- il secondo, finestrato, elaborato durante la tesi di dottorato dall'Arch. Rosa Romano, dell'Università degli Studi di Firenze, XXIII ciclo.

I due componenti, in fase di realizzazione, verranno sperimentati e testati tramite test cell, in condizioni controllate, all'aperto, nel campus dell'Università degli Studi di Firenze. Di seguito una loro breve descrizione.

Fig.II.44.
Shading Screen: Sistema di facciata ventilata a schermo avanzato. Tesi di Dottorato Arch. M. Villalta.
Il progetto sta per essere realizzato da Palagio Engineering in collaborazione con Cotto Impruneta.
Credits: M. Villalta

Fig.II.43. Facciata ventilata a schermo avanzato come nuovo componente da testare in condizioni climatiche esterne.
Rendering: A. Di Zenzo

Fig.II.45.
Spaccato assonometrico dello Shading Screen
Credits. M. Villalta

L'involucro multistrato ventilato a schermo avanzato è composto da due sub-sistemi: il primo, più interno formato da un sistema multistrato montato a secco, il secondo, quale sistema di chiusura esterna, formato da un "pacchetto" a "parete ventilata".

L'involucro verticale multistrato è costituito da un sistema di elementi montati a secco, che costituiscono una sub-struttura stratificata di elementi costruttivi leggeri e ad alte prestazioni. Il sistema di chiusura esterna a schermo avanzato é composto da uno strato esterno di lastre estruse in laterizio: "Shading Screen".

Obiettivi del componente di facciata sono:

- creare un elemento auto-ombreggiante di rivestimento per facciate ventilate;
- ottimizzare la geometria della superficie esterna, in modo che essa stessa contribuisca ad attenuare l'assorbimento di calore attraverso uno sviluppo più ampio possibile della superficie disperdente;
- disegnare un profilo esterno adatto al deflusso delle acque meteoriche.

Il calcolo della trasmittanza è stato svolto con il **programma CRTherm** conforme ai requisiti previsti dalla UNI EN ISO 1745, Appendice D, utilizzando il **"metodo degli elementi finiti".**

La resistenza termica delle cavità delle lastre è stata valutata secondo la metodologia indicata nella UNI EN ISO 6946-1996, punto 5.2.

La test cell consentirà di misurare la trasmittanza termica del componente in regime dinamico, quindi confrontare i dati con la simulazione.

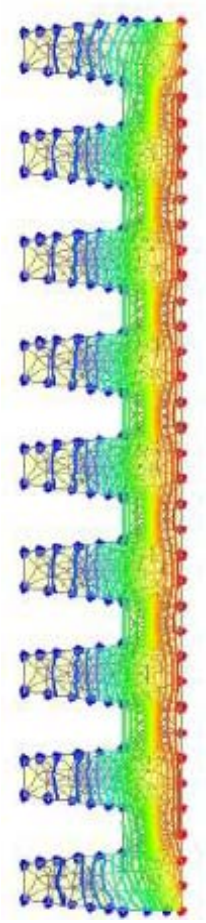


Fig.II.46. Immagine elaborata da CRTherms,per il calolo della trasmittanza termica calcolata agli elementi finiti. Credits: M. Villalta.

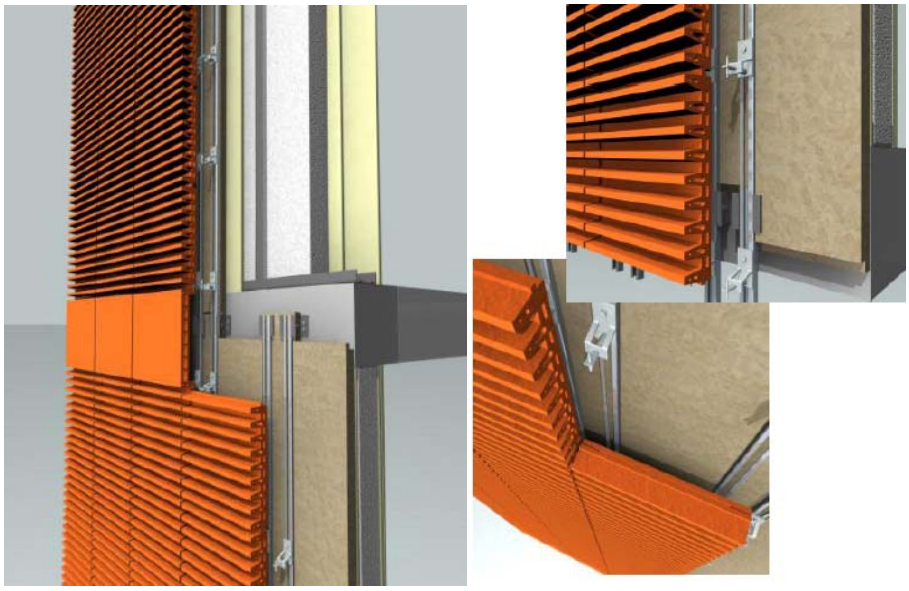


Fig.II.47. Particolari costruttivi. Credits: M. Villalta

Di seguito viene brevemente descritto il componente finestrato che è stato sviluppato nella tesi di dottorato dall'Arch. Rosa Romano.

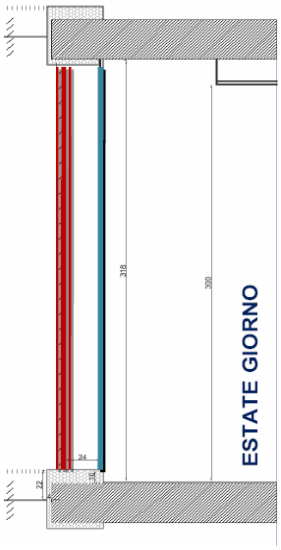


Fig.II.48.
Sistema Domino, nuovo componente trasparente da testare in condizioni climatiche esterne.
Rendering: A. Di Zenzo

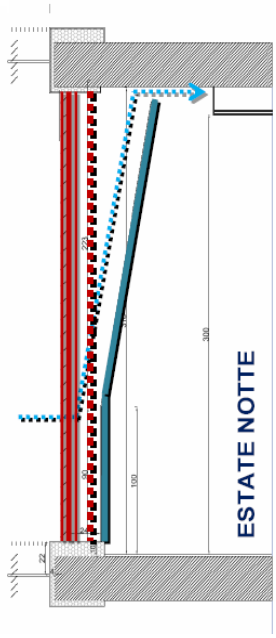
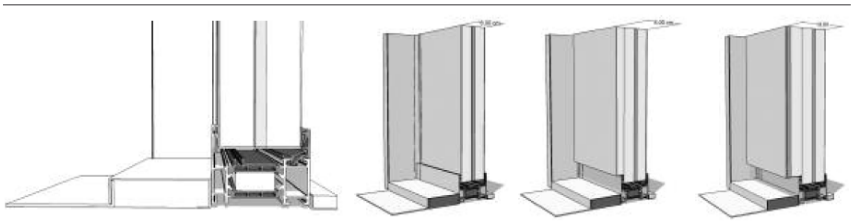


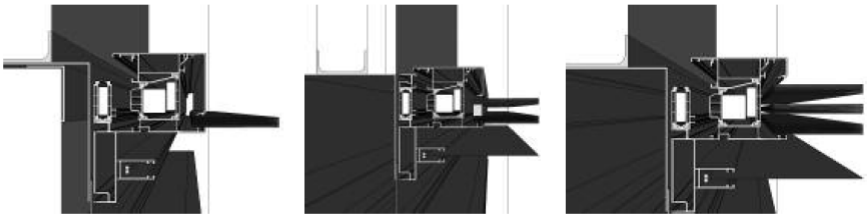
Fig.II.49.
Sistema Domino: Sistema di facciata ventilata trasparente. Tesi di Dottorato Arch. R. Romano.
Il prototipo e la verifica funzionale del componente dinamico di facciata sono state sviluppate in collaborazione con l'azienda Davini s.r.l. di Lucca
Credits: R. Romano

Fig.II.50. Fotografia del prototipo Sistema Domino. Credits. R. Romano



Spessore pannello isolante (mm)	60	80	100
Spessore lastre di alluminio (mm)	4	4-5	5
Peso (kg/m²)	9,2	10,6	12,1
K (W/m²K)	0,38	0,24	0,21
kcal/m²h°C	0,28	0,21	0,18

Fig.II.51. Analisi delle prestazioni in termini di isolamento termico della componente opaca all'incremento dell'isolante termico.



Tipologia di vetratura	44.4	44.4-16-55.5	44.4-12-44.4-12-55.5
Intercapedine	-	Argon 90%	Argon 90%
Peso (kg/m²)	20,4	45,8	66,2
Spessore (mm)	8,0	31,0	51
Trasmissione %	71%	24%	13
Riflessione sterna %	7%	31%	35
Assorbimento A1 %	22%	37%	30
Assorbimento A2 %	-	7%	9
Assorbimento A3 %	-	-	12
Fattore solare g %	0,77	0,32	0,31
Shading coefficient SC %	0,88	0,37	0,36
Trasmissione termica (W/m²K)	5,70	1,1	0,8

Fig.II.52. Analisi delle prestazioni in termini di isolamento termico della componente trasparente in relazione al tipo di vetro adottato. Credits: R. Romano

Il componente di facciata proposto, costituito da una parte opaca e una trasparente, integra un sistema di pannelli scorrevoli su un telaio di tipo scrigno, che garantiscono l'alternanza di elementi mobili a partiture fisse con tamponamento trasparente e opaco, nelle quali possono trovare alloggiamento pannelli fotovoltaici, pannelli solari termici o semplicemente dei materiali mediamente traslucenti (vetri serigrafati, TIM, PCM ecc.) capaci di incrementare le prestazioni termoigrometriche dell'intero componente.

La soluzione proposta garantisce una riduzione delle perdite di calore dovute ad un isolamento non ottimale o insufficiente, integrando nel sistema di facciata componenti trasparenti dai ridotti coefficienti di trasmittanza termica. I vetri basso emissivi assicurano un'elevata resistenza termica e consentono di mantenere un buon illuminamento naturale degli spazi confinati. Il sistema di schermatura riduce invece i carichi termici nei mesi estivi, garantendo comunque una buona illuminazione dello spazio interno grazie alla possibilità di regolare l'inclinazione delle lamelle della schermatura.

Figg.II.53, 54, 55. Fotografie di tre diverse soluzioni del sistema Domino.
Credits: R. Romano

II.1.3.13 LA PROPOSTA DI UNA TEST CELL SU DUE PIANI

La test cell su due livelli viene proposta come idea da sviluppare nel prossimo futuro sul sito di prova di Firenze.

Esprime la necessità delle aziende di verificare non solo le prestazioni termiche e igrometriche di nuovi componenti sottoposti a condizioni climatiche esterne, in regime reale e dinamico, ma la possibilità di effettuare dei test su un sistema di componenti, mettendo nello specifico a confronto soluzioni standard con soluzioni di miglioramento del comfort indoor nei sottotetti.

Figg.II.56, 57, 58. Rendering della soluzione di test cell su due livelli. Rendering: A. Di Zenzo

In questo caso, sarebbe possibile testare soluzioni diverse da mettere a confronto, ovvero verificare le differenze di comfort indoor tra una stanza posta a piano terra ed una all'ultimo piano.

La test cell inoltre consentirebbe di valutare il comportamento di sistemi di tetto, ovvero di sistemi fotovoltaici e solare termico da sistemare sul tetto.

Consente di valutare strategie di ventilazione diversa, per esempio considerando eguale superficie vetrata nelle due stanze di prova con diversa distribuzione della superficie vetrata che delle aperture.

Si tratta quindi di un sistema che consente la valutazione e il confronto tra sistemi diversi, su orientamenti diversi, ma non consente la caratterizzazione del singolo componente perché influenzato dal sistema adiacente.

La struttura portante in legno, è proposta in X-lam, garantendo maggiore stabilità alla struttura su due livelli, senza ponti termici.

II.1.4 VERIFICHE STRUTTURALI

Sono state effettuate due tipi di verifiche strutturali:

- verifica della struttura metallica, sottobase della test cell, effettuata in collaborazione con l'Ing. Paolo Giovannetti del Dipartimento di Energetica dell'Università degli Studi di Firenze
- verifica dimensionamento della struttura in legno della test cell. Quest'ultima è stata condotta in collaborazione con l'Ing. Andrea Panati del Dipartimento di Ingegneria strutturale dell'Università degli Studi di Firenze.

II.1.4.1 STRUTTURA IN LEGNO

La tipologia strutturale con la quale verrà realizzata la **test cell** va sotto il nome di "platform frame". Essa discende direttamente dal concetto delle costruzioni intelaiate, formate da elementi di superficie (pareti e solai) realizzati attraverso telai ricoperti da fogli di OS o compensato, aventi funzione di stabilizzazione e di lastra. Solitamente il telaio è costituito da sezioni rettangolari in legno massiccio poste ad un interasse che va dai 40 ai 60 cm, in relazione alla larghezza dei pannelli strutturali di OSB.

La connessione fra pannellature e montanti avviene mediante chiodi (solitamente con gambo da 3 mm) disposti ad un interasse di 10-15 cm sui bordi dei pannelli e di 30 cm sui montanti interni. Le pareti vengono poi collegate fra di loro da un ulteriore corrente superiore, sempre della medesima sezione unificata, che svolge la funzione di cordolo di collegamento.

La verifica strutturale è stata condotta in collaborazione dell'Ing. Andrea Panati del Dipartimento di Ingegneria strutturale, Università degli Studi di Firenze.

I codici di calcolo utilizzati nel predimensionamento della struttura sono i seguenti:

- DM 14.01.2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC)
- Circolare 2 febbraio 2009 n° 617 del C.S.LL.PP.
- UNI EN 1995-1-1:2005 - Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno - Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici
- UNI EN 338 - Legno strutturale: classi di resistenza
- UNI EN 300 - Pannelli di scaglie di legno orientate (OSB) - Definizioni, classificazione e specifiche

- CNR DT 206/2007 – Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle strutture di legno

Il materiale utilizzato per i profilati è legno massiccio conforme alla norma UNI EN 338 classe C24. Esso presenta le seguenti caratteristiche:

		Softwood species												Hardwood species							
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Strength properties (in N/mm^2)																					
Bending	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
Tension parallel	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
Tension perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compression parallel	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
Compression perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Shear	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Stiffness properties (in kN/mm^2)																					
Mean modulus of elasticity parallel	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20
5 % modulus of elasticity parallel	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Mean modulus of elasticity perpendicular	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
Mean shear modulus	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Density (in kg/m^3)																					
Density	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900
Mean density	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080

NOTE 1 Values given above for tension strength, compression strength, shear strength, 5 % modulus of elasticity, mean modulus of elasticity perpendicular to grain and mean shear modulus, have been calculated using the equations given in Annex A.
NOTE 2 The tabulated properties are compatible with timber at a moisture content consistent with a temperature of 20 °C and a relative humidity of 65 %.
NOTE 3 Timber conforming to classes C45 and C50 may not be readily available.
NOTE 4 Characteristic values for shear strength are given for timber without fissures, according to EN 408. The effect of fissures should be covered in design codes.

Per le pareti strutturali sono stati considerati pannelli OSB classe 3 conformi alla UNI EN 300. Le caratteristiche sono riportate nella tabella successiva:

Board type (technical class) OSB/3	Test method	Unit	Requirement				
			Board thickness range (mm, nominal)				
Property			6 to 10	> 10 to < 18	18 to 25	> 25 to 32	> 32 to 40
Bending strength — major axis	EN 310	N/mm^2	22	20	18	16	14
Bending strength — minor axis	EN 310	N/mm^2	11	10	9	8	7
Modulus of elasticity in bending — major axis	EN 310	N/mm^2	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500
Modulus of elasticity in bending — minor axis	EN 310	N/mm^2	1 400	1 400	1 400	1 400	1 400
Internal bond	EN 319	N/mm^2	0,34	0,32	0,30	0,29	0,26
Swelling in thickness — 24 h immersion	EN 317	%	15	15	15	15	15

If it is made known by the purchaser that the boards are intended for specific use in flooring, walls or roofing, the performance standard EN 12871 has also to be consulted. This can result in additional requirements having to be complied with.

I carichi agenti sulla struttura sono quelli derivanti dai pesi dei materiali scelti per i "pacchetti" delle sezioni in copertura, per le pareti e per il solaio di calpestio.

Vista la particolare natura dell'opera, che non subirà affollamenti significativi durante il proprio ciclo di vita, i carichi accidentali che insistono sul solaio di calpestio saranno dimezzati rispetto a quelli indicati nella normativa italiana. Pertanto sarà assunto un valore di **100 kg/mq** in luogo dei **200 kg/mq** previsti per le abitazioni civili.

Per il frame è stato considerato un carico massimo di 5000 kg.

Viene considerata anche l'azione sismica, assumendo come luogo di costruzione il comune di Firenze, nello specifico la sede della facoltà di Ingegneria, Via S. Marta n° 3.

Le combinazioni delle azioni prese in considerazione sono le seguenti:

- Stato limite ultimo (SLU)
- Stato limite di esercizio (SLE)
- Combinazione SISMICA

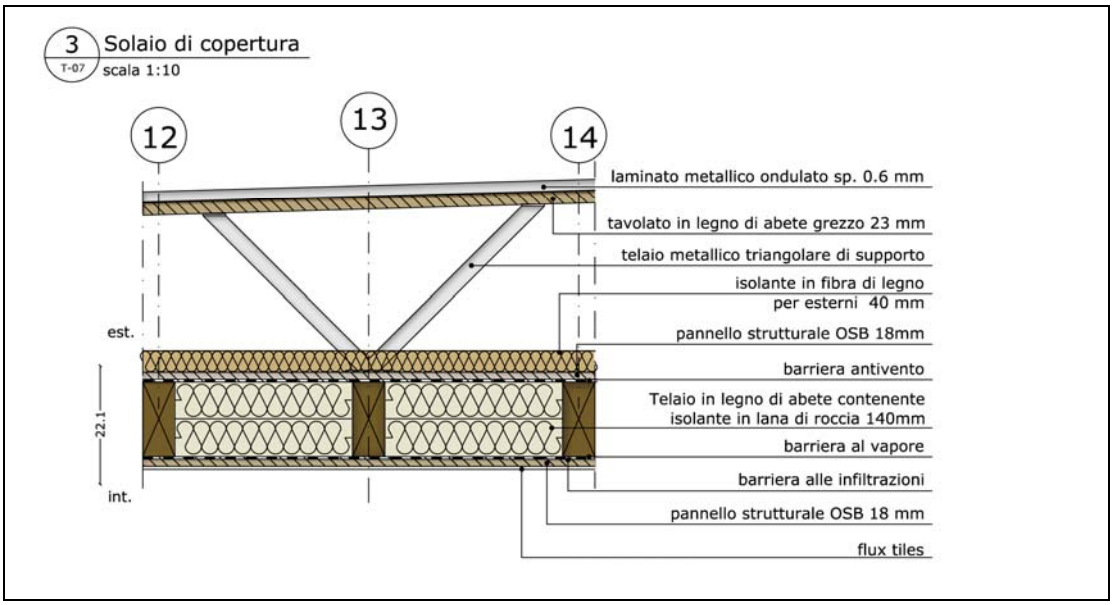
I valori caratteristici dei carichi verranno combinati secondo la Tab. 2.6.I delle NTC 2008, di seguito riportata:

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli sfavorevoli	γ_{G1}	0,9 1,1	1,0 1,3	1,0 1,0
Carichi permanenti non strutturali(1)	favorevoli sfavorevoli	γ_{G2}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3
Carichi variabili	favorevoli sfavorevoli	γ_{Qi}	0,0 1,5	0,0 1,5	0,0 1,3
(1)Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.					

I carichi permanenti si considerano compiutamente definiti e quindi, in base a quanto riportato nella nota (1) della tabella stessa, sono soggetti allo stesso coefficiente dei carichi strutturali.

Di seguito il riepilogo sintetico:

Solaio di copertura



$G_{k1} + G_{k2} = 82\ kg/mq$

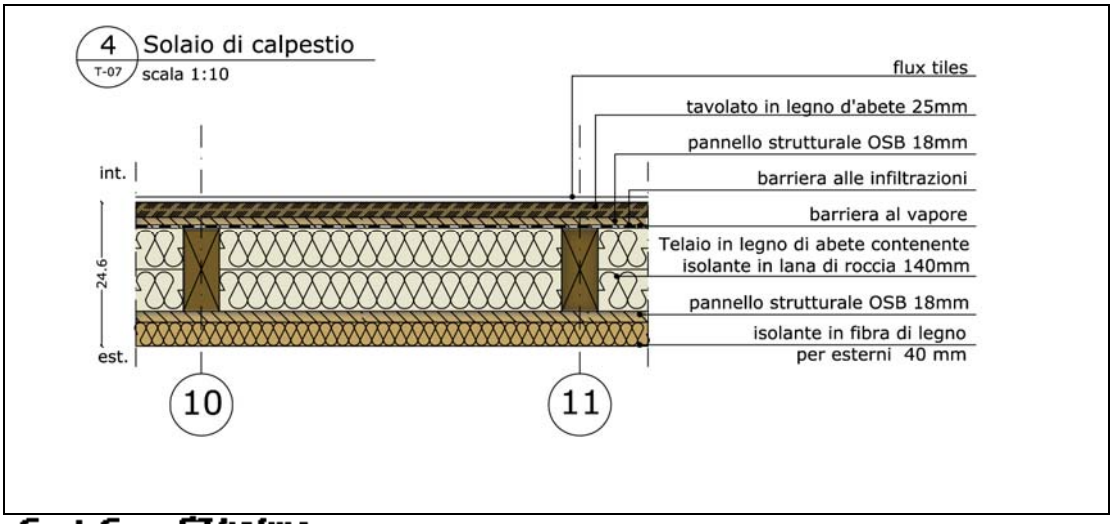
$Q_{k1} = 100\ kg/mq\ (neve)$

$q_{SLU} = 1.3 \times G_{k1} + 1.3 \times G_{k2} + 1.5 \times Q_{k1} = 1.3 \times 82 + 1.5 \times 100 = 256\ kg/mq$

$q_{SLE,RARA} = G_{k1} + G_{k2} + Q_{k1} = 82 + 100 = 182\ kg/mq$

$q_{SISMICA} = G_{k1} + G_{k2} + \psi_{21} Q_{k1} = 82 + 0.3 \times 100 = 112\ kg/mq$

Solaio di calpestio



$G_{k1} + G_{k2} = 57\ kg/mq$

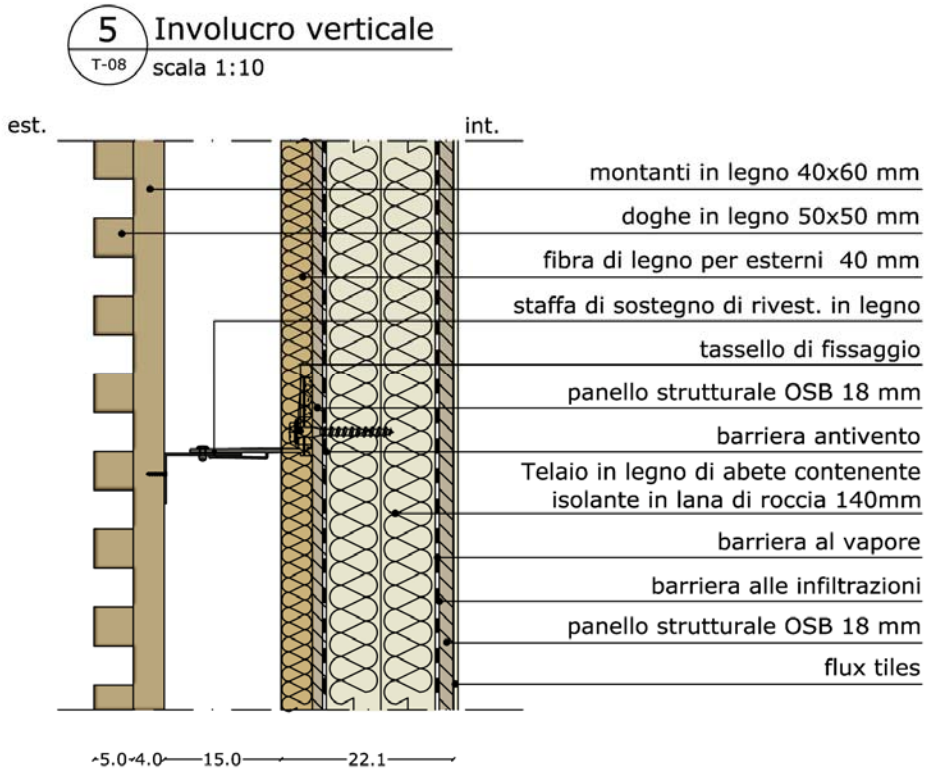
$Q_{k1} = 100\ kg/mq\ (accidentale)$

$q_{SLU} = 1.3 \times G_{k1} + 1.3 \times G_{k2} + 1.5 \times Q_{k1} = 1.3 \times 57 + 1.5 \times 100 = 224\ kg/mq$

$q_{SLE,RARA} = G_{k1} + G_{k2} + Q_{k1} = 57 + 100 = 157\ kg/mq$

$q_{SISMICA} = G_{k1} + G_{k2} + \psi_{21} Q_{k1} = 57 + 0.3 \times 100 = 87\ kg/mq$

Pareti esterne



Località	Firenze
a_s altezza di riferimento del sito di costruzione	$\cong 70\,m\ slm$
Classe di rugosità	C
Copertura	Piana
z (altezza della costruzione)	$3.3\,m$

$G_{k1} + G_{k2} = 80\ kg/mq$

$Q_{k1} = 78\ kg/mq$ (*vento in direzione orizzontale*)

Carichi riferiti alle azioni verticali

$q_{SLU} = 1.3 \times G_{k1} + 1.3 \times G_{k2} = 1.3 \times 80 = 104\ kg/mq$

$q_{SLE,RARA} = G_{k1} + G_{k2} = 80\ kg/mq$

$q_{SISMICA} = G_{k1} + G_{k2} = 80\ kg/mq$

Carichi riferiti alle azioni orizzontali

$q_{SLU} = 1.5 \times Q_{k1} = 1.5 \times 78 = 117\ kg/mq$

$q_{SLE,RARA} = Q_{k1} = 78\ kg/mq$

L'azione sismica è stata determinata secondo un'analisi statica lineare così come prevista al §7.3.3.2 delle NTC 2008.

Le verifiche agli stati limite sono riassunte in seguito:

COMBINAZIONE DEI CARICHI (SLU)					
$q_{lunga\ durata}$	104	kg/m	$q_{media\ durata}/q_{lunga\ durata}$	2.44	
$q_{media\ durata}$	254	kg/m	$k_{mod,media}/k_{mod,lunga\ dur}$	1.33	

2.44>1.33	le azioni di media durata prevalgono su quelle di lunga durata

AZIONI CONSIDERATE			q	254	kg/m	
SOLLECITAZIONI			**VERIFICHE SLU**			
M	346	kgm	ó	7.07	N/mm^2	**OK**
T	419	kg	ô	0.42	N/mm^2	**OK**

Di seguito il riepilogo delle verifiche a deformabilità allo stato limite ultimo:

Carichi		Freccia massima		Confronto tra freccia max e limite			Esito
perman.	t=0	0.22	cm	$f_{max(t=0)}$	0.49	cm	**OK**
	t=inf	0.35	cm	$f_{lim(t=0)}$	0.83	cm	
variabili	t=0	0.27	cm	$f_{max(t=inf)}$	0.70	cm	**OK**
	t=inf	0.35	cm	$f_{lim(t=inf)}$	1.10	cm	

Le verifiche sulla struttura in legno risultano soddisfatte.

II.1.4.2 STRUTTURA METALLICA

Come da specifiche, è stata effettuata un'analisi strutturale della struttura ruotante, sulla base dei carichi definiti dal dimensionamento della test cell e dei frame installabili nel banco prova.

In particolare, il dimensionamento ha effettuato una verifica della struttura mobile, investigando le sollecitazioni imposte dai carichi e le reazioni vincolari attese nei punti di collegamento alla struttura fissa, ovvero i 4 attacchi ruote ed il centro di rotazione.

Di seguito sono riportati i risultati delle simulazioni realizzati dal dipartimento di ingegneria meccanica, Ing. Paolo Giovannetti, con il software Ansys.

Carichi applicati:
4500kg frame
5000kg Test Cell

:

Le simulazioni hanno evidenziato la presenza di punti critici nella struttura, in particolare nella zona del frame.

Poiché nel calcolo sono state impiegate travi IPE 120 per la realizzazione di tutta la struttura, si ritiene che l'inserimento di una ulteriore barra in senso longitudinale (3 metri) posta in prossimità del punto di appoggio del frame e tramite l'impiego di una trave a sezione maggiore (IPE 160), sia necessaria in modo che la struttura sia in grado di sorreggere i carichi imposti con un margine di sicurezza adeguato per sistemi sperimentali.

Di seguito in evidenza i punti critici:

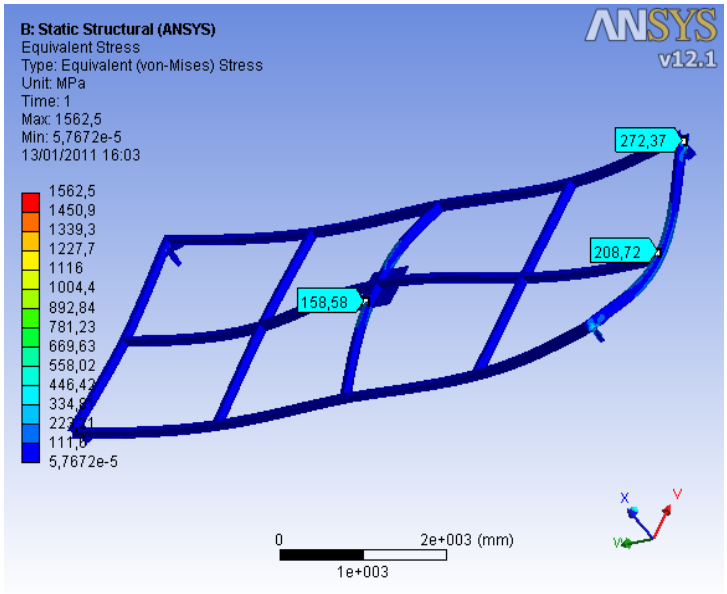


Fig.II.59. Carichi strutturali sulla struttura metallica di base.
Credits: P. Giovannetti

Sulla base delle tavole progettuali, sono state definite le caratteristiche costruttive delle strutture direttamente con una officina specializzata in carpenteria meccanica (off. Brunetti SNC, Borgo San Lorenzo (FI)), al fine di ottenere un'offerta economica di un prodotto finito.

In sede di colloquio, per la struttura superiore, è stata scelta una soluzione smontabile, al fine di semplificare i lavori di trasporto e installazione.

È stato definito inoltre il metodo di realizzazione del binario di scorrimento per le ruote.

Verrà realizzato in un numero di parti compreso tra 4 e 6 e sarà realizzato per saldatura di un settore circolare di lamiera (sp. 10mm), realizzato per taglio

laser, rinforzato sulla parte inferiore tramite n°3 ferri piatti di dimensione 10x60 mm, saldati.

I vari settori circolari verranno fissati tra di loro ed al sistema di fondazioni tramite saldatura sul posto. In sede di colloquio sono state definite anche le ruote, sulla base delle reazioni vincolari ottenute dalle simulazioni. È stato scelto, in accordo con il responsabile dell'officina, di impiegare il modello "300x80+80 Serie 227 ruota doppia in ghisa e poliuretano con supporto fisso in acciaio elettrosaldato".

Le ruote scelte, soddisfano le specifiche richieste, tuttavia è stato scelto di impiegarne 5 in totale, aggiungendone una rispetto alla configurazione iniziale, posizionandola al centro del frame, riducendo in questo modo i carichi sulla struttura nel punto più critico. Per quanto riguarda il punto di rotazione centrale, l'officina non è stata in grado di definire un sistema ruotante adeguato; pertanto è stata effettuata una ricerca di mercato sulle possibili soluzioni.

Fig.II.60.
Ruota scelta per la test cell. Catalogo CDR, Firenze

La scelta è ricaduta su un cuscinetto reggispinta di grandi dimensioni, di seguito sono riportate le caratteristiche del componente:

Drawing Number	Dimensions and weight					Mounting holes				Load ratings			
	Outside diameter, outer ring	Inside diameter, inner ring	Inside diameter, outer ring	Outside diameter, inner ring	Weight	Pitch circle diameter, outer ring	Number of holes, outer ring	Pitch circle diameter, inner ring	Number of holes, inner ring	Static	Static	Dynamic	Dynamic
	D_a [mm]	d_i [mm]	D_i [mm]	d_a [mm]	G [kg]	L_a [mm]	n_a [-]	L_i [mm]	n_i [-]	$C_{0\,rad}$ [kN]	$C_{0\,ax}$ [kN]	C_{rad} [kN]	C_{ax} [kN]
10-16 0200/0-08010	280	140	203	197	10	240	12	160	12	101	207	99	85

È stata progettata anche la struttura di sostegno.

Il montaggio del sostegno centrale prevede una regolazione dell'altezza, in modo da compensare eventuali assestamenti della struttura e deve essere prevista la realizzazone di n°4 saldature sul posto (delle 4 viti M24), per garantire il perfetto allineamento con il centro di rotazione del sistema.

Il basamento su cui poggia l'intera struttura è stato ipotizzato realizzato interamente con viti Krinner, ipotizzando un numero di viti necessarie all'intera struttura pari a 31.

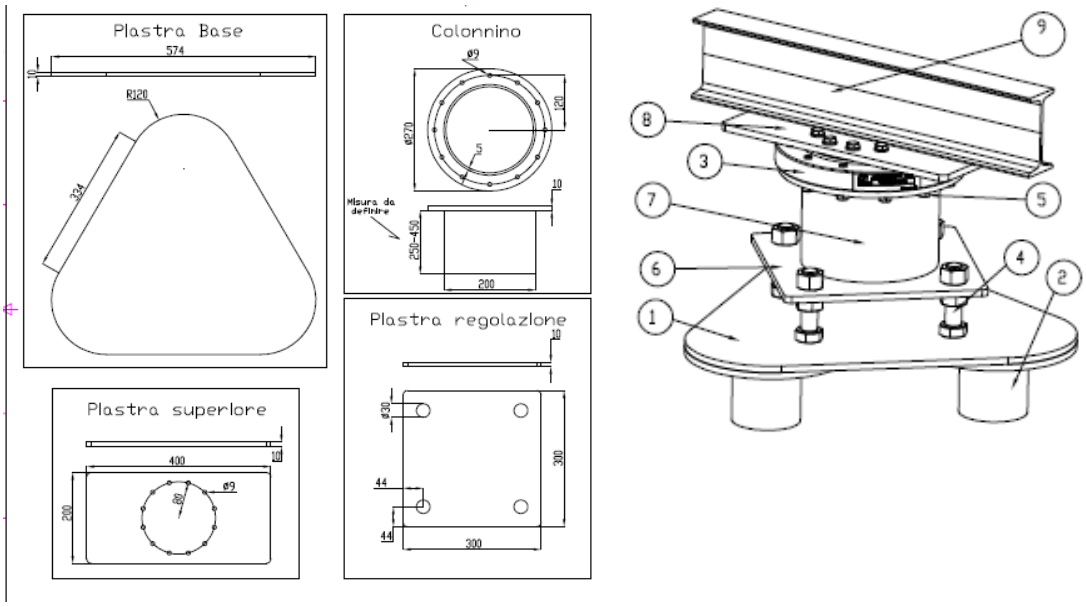


Fig.II.61
Disegni della struttura di sostegno centrale.

II.1.5 STRUMENTAZIONE DI MISURA

In questa seconda parte del capitolo vengono descritti gli strumenti di misura che risultano necessari agli scopi prefissi dalla test cell.

E' stato più volte detto che la test cell rappresenta uno strumento utile alla caratterizzazione in regime dinamico di un nuovo componente edilizio. Progettata allo scopo di caratterizzare nuovi componenti edilizi di facciata da utilizzare in clima Mediterraneo, dovranno essere condotte misure sulla trasmittanza termica, sul fattore di attenuazione, sulla condensa interstiziale, in modo da definire l'inerzia termica del componente in condizioni reali.

Si tratta pertanto di accessoriare la test cell non soltanto di strumentazione necessaria da installare sul componente di test, ma dovranno essere misurate le condizioni climatiche interne, le condizioni climatiche esterne e dovranno essere misurati i flussi di calore che attraversano il componente così come quelli che attraversano l'involucro della test cell.

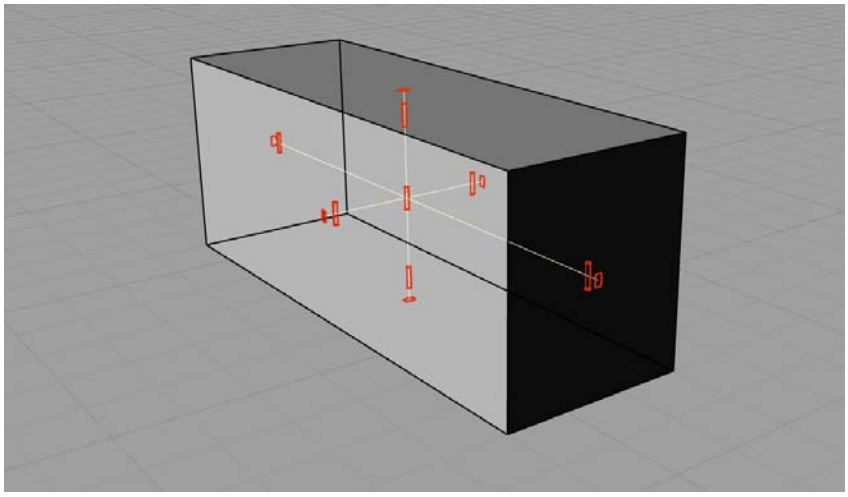


Fig.II.62.
Posizionamento delle PT100: a 20 cm da ciascun componente, oltre una al centro della camera di prova.

II.1.5.1 SENSORI DI FLUSSO TERMICO

Si tratta di un sistema di sensori di flusso termico posti sulla superficie dei componenti della test cell: nello specifico sulle pareti verticali –tranne la parete da caratterizzare – oltre che sul soffitto e sul pavimento. Vengono installate sull'involucro interno e sono in grado di misurare i flussi termici sia in entrata che in uscita dalla test cell.

Il sistema è stato originariamente ideato dal TNO e oggi prodotto esclusivamente da una ditta Olandese, HUSFLUX che ne detiene il brevetto.

Sperimentate nei progetti PASLINK, hanno consentito di caratterizzare al meglio le prove condotte sui componenti di test, studiando tutto i percorsi dei flussi termici che si innescano all'interno della test cell. Di dimensioni ridotte –circa 15 cmq – sono state incollate su piastrelle metalliche con finitura e colorazione a piacere del cliente in modo da contenere non a vista tutti i cavi di collegamento tra i sensori ed evitare quindi di potere interrompere le connessioni in maniera involontaria, ed inoltre ottenere una superficie interna uniforme anche dal punto di vista delle inter-riflessioni dovute alla eventuale trasparenza del componente di test.

Proposte e adottate anche sull'ultima test cell di tipo PASLINK, cioè quella del sito di Vitoria, Bilbao (Spagna), ha manifestato alcune lacune.

Ciascun sensore infatti viene opportunamente calibrato dalla casa madre e spedito al cliente con un certificato di calibrazione. Successivamente viene incollato sulla piastrella di alluminio e posto in opera.

I dati raccolti su una prova sperimentale a Vitoria, risultavano particolarmente sospetti e quindi sono state dal laboratorio effettuate delle prove di calibrazione: la calibrazione della piastrella con il sensore montato ha un valore di circa il 20% di differenza rispetto al singolo sensore. In definitiva, la calibrazione andrebbe fatta sul sistema flux tile finito.

In questo senso, all'interno del progetto Abitare Mediterraneo, si è chiesto al dipartimento di ingegneria energetica di studiare le flux tile

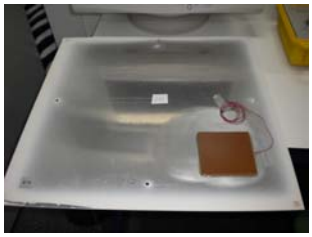


Fig.II.63

Fig.II.64

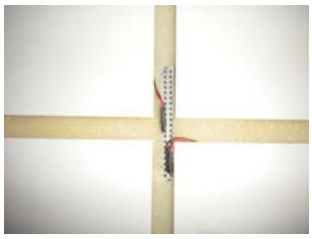


Fig.II.65

Immagini dei sensori di flusso montati su piastrella di alluminio di supporto presso il test site di Bilbao. Credits: G. Alcamo

esistenti e progettarne di nuove anche in virtù del fatto che il preventivo richiesto per le flux tiles della test cell è particolarmente elevato.

Il sensore proposto dalla ditta e già utilizzato in alter test cell si chiama HFP03 che viene utilizzato per misure di flusso termico attraverso elementi di involucro edilizio. E' stato progettato in modo da essere in grado di misurare anche piccoli flussi termici, inferiori a 10 W/m2.

Di seguito una scheda tecnica del sensore:

HFP03	
Sensitivity	500 ìV/ W.m-2
Diameter	**172 mm**
Resistance	18 Ù
Weight including 5 m cable	**0.8 kg**

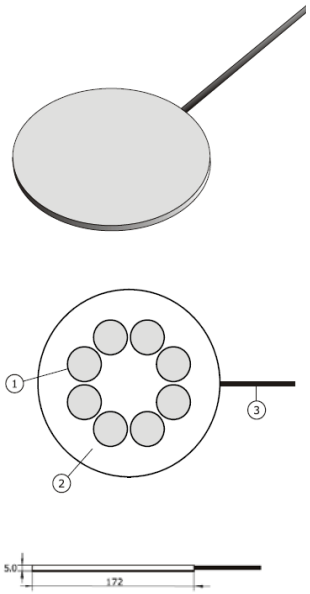


Fig.II.66 Dimensioni del sensore di flusso: (1) area del sensore, (2) anello di guardia in materiale composito di plastica e ceramica, (3) cavo di lunghezza standard di 5 m. Le dimensioni del disegno sono in mm. Credits: HUKSEFLUX

Di seguito il preventivo fornito dalla ditta.

	Prezzo unitario in euro	numero	Costo in euro
tiles with sensors	239	204	48756
multitile	**488**	**13**	**6344**
tiles wo sensors	72	59	4248
Strumentazione per l'installazione	**3300**	**1**	**3300**
Cavi e connessioni	2200	1	2200
Trasporto e assicurazione	**1320**	**1**	**1320**
installazione			18425
Totale			**84593**

Visto il costo elevato e il fatto che le tiles non sono calibrate con il sensore, il Dipartimento di Ingegneria Energetica dell'Università degli Studi di Firenze, sta elaborando soluzioni alternative da sviluppare direttamente all'interno dell'Università di Firenze.

II.1.5.2 TERMOCOPPIE

Fig.II.67
Termocoppie Rame/Costantana(T)ricavata da cavo TF/TF-24-TT con isolamento in teflon L=Mt.7 con terminali liberi e giunto caldo saldato su capocorda con foro di diametro 4 mm
Credits: G. Alcamo

La **termocoppia** è un sensore di temperatura economico, facilmente sostituibile, standardizzato e in grado di misurare un ampio intervallo di temperatura.

Le termocoppie funzionano sfruttando l'effetto Seebeck: nel 1821 il fisico Thomas Seebeck, scoprì che in un circuito formato da due conduttori di natura differente, sottoposto a un gradiente di temperatura, si instaura una differenza di potenziale. Una termocoppia, quindi, è costituita da una *coppia* di conduttori elettrici di diverso materiale uniti tra loro in un punto.

Questa giunzione è convenzionalmente chiamata giunto caldo ed è il punto relativo alla temperatura da misurare. L'altra estremità, costituita dalle estremità libere dei due conduttori, è convenzionalmente chiamata giunto freddo.

Quando esiste una differenza di temperatura tra la zona del giunto caldo e la zona del giunto freddo, si può rilevare una differenza di potenziale elettrico tra le estremità libere della termocoppia in corrispondenza del giunto freddo.

Subito all'esterno, i due conduttori sono connessi ad una morsettiera contenuta dentro una testina di protezione. Altri due conduttori elettrici di metallo uguali a quelli della termocoppia prolungano il collegamento elettrico fino alla morsettiera di uno strumento indicatore di temperatura. Questa temperatura viene misurata tramite una termoresistenza e utilizzata, all'interno dello strumento, per correggere elettricamente il segnale proveniente dalla termocoppia.

Lo strumento misuratore avrà sulla sua scala o sul suo display l'indicazione direttamente in gradi Celsius (e non in mV), in quanto al suo interno esistono sistemi che tengono conto anche della non linearità del segnale in ingresso. Le termocoppie verranno utilizzate sui componenti di prova, in numero sufficiente a seconda della stratigrafia del componente da testare.

II.1.5.3 TERMORESISTENZE

La termoresistenza, comunemente chiamata termometro a resistenza o RTD (dall'acronimo inglese *Resistance Temperature Detector*), è un sensore di temperatura che sfrutta la variazione della resistività di alcuni materiali al variare della temperatura.

I Termometri a Resistenza di Platino, PRT Platinum resistance thermometers, o Termoresistenza di Platino, PT, offrono eccellente precisione su un largo range di temperatura (da -200 a + 850°C). Sensori standard di questo tipo sono prodotti da molte aziende con diverse specifiche e diversi package per adattarsi alla maggior parte delle applicazioni.

Il tipo più comune chiamato sensore PT100 ha una resistenza di 100 Ohm a 0°C. e 138.4 Ohm a 100°C.

Per la test cell verranno installati all'interno 3 PT100 per le misure relative alle temperature in prossimità delle pareti, una in prossimità del soffitto e una in prossimità del pavimento. Una PT 100 verrà inoltre posta al centro della stanza. Sull'esterno verranno poste ulteriori 4 PT 100 in prossimità degli elementi opachi disperdenti verso l'esterno.

Tutte le PT 100, essendo sensibili alla radiazione solare, verranno opportunamente schermate, come quelle in figura a lato.

Termoresistenza Pt 100 ohm a 0°C
Classe "A" –
guaina inox diametro 6 mm e
L=120 mm con ingrossamento diametro 25 mm
Mt.7 di cavo di collegamento a 4 fili isolato in PVC

Fig.II.68.
PT100 non schermate.
Credits: G. Alcamo

Fig.II.68.
PT100 con schermatura solare cilindrica bianca, per misurare la temperatura in prossimità delle pareti verticali.
Credits: G. Alcamo

II.1.5.4 PIRELIOMETRO

Fig.II.69. Pireliometro

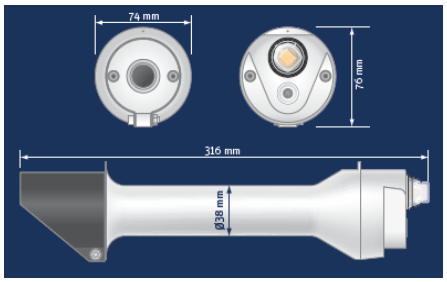


Fig.II.70. Dimensioni del pireliometro. Dal catalogo KIPP and ZONEN

Il sole irradia gli astrati atmosferici terrestri con una intensità media di 1367 W/m². Attraversando l'atmosfera, i raggi solari vengono assorbiti e deviati. La radiazione solare diretta arriva direttamente dal sole, le altre componenti arrivano come componenti della radiazione solare diffusa. Il **Pireliometro** o Piroeliometro, è uno strumento per la misurazione della radiazione solare assoluta che colpisce l'unità di superficie terrestre normale ai raggi solari nell'unità di tempo. Gli strumenti per questo tipo di misurazione possono essere anche piuttosto differenti: il più comune è costituito da un lungo tubo nero.

Poiché ha una superficie ricevente ristretta è necessario il montaggio su di un braccio che segue il Sole per tutto il suo cammino. All'estremità del cilindro è perpendicolarmente posizionato un "sensore", cioè un dispositivo nero, che assorbendo tutta la radiazione solare che gli è possibile, si riscalda; dalla variazione di temperatura del corpo in questione, si può poi risalire all'intensità della radiazione solare che lo ha colpito e quindi, all'energia assorbita. Verrà quindi posto all'esterno della test cell su una base ad inseguimento solare. Di seguito, le specifiche tecniche del pireliometro scelto.

ISO CLASSIFICATION	First Class
Response time (95%)	5 s
Zero offsets due to temperature change (5 K/hr)	± 1 W/m²
Non-stability (change/year)	± 0.5 %
Non-linearity (0 to 1000 W/m²)	± 0.2 %
Temperature dependence of sensitivity	± 0.5 % (-20 to +50 °C)
Sensitivity	7 to 14 µV/W/m²
Impedance	10 to 100 Ω
Operating temperature	-40 to +80 °C
Spectral range (50% points)	200 to 4000 nm
Typical signal output for atmospheric applications	0 to 15 mV
Maximum irradiance	4000 W/m²
Expected daily uncertainty	± 1 %
Full opening view angle	5 ° ± 0.2 °
Slope angle	1 ° ± 0.2 °
Required tracking accuracy	± 0.5 ° from ideal
Weight (excluding cable)	0.9 kg
CHP 1 has a standard cable lenght of 10 m Optional cable lenghts 25 m and 50 m	
Fitted with both 10 K Thermistor and Pt-100 temperature sensor as standard	
Supplied with individual temperature dependence test data	

II.1.5.5 SONDE FOTOMETRICHE

La sonda fotometrica misura l'illuminamento (lux) definito come il rapporto tra il flusso luminoso (lumen) che attraversa una superficie e l'area della superficie considerata (m2).

La curva di risposta spettrale di una sonda fotometrica è uguale a quella dell'occhio umano, nota come curva fotopica standard V(λ). La differenza di risposta spettrale fra la sonda e la curva fotopica standard V(λ) è valutata attraverso il calcolo dell'errore f1'.

La calibrazione della sonda è eseguita per confronto con un Luxmetro campione tarato da un Istituto Metrologico Primario. La procedura di calibrazione è conforme a quanto specificato nella pubblicazione CIE No 69 (1987) "Method of Characterizing Illuminance Meters and Luminance Meters".

Sono previste due sonde per esterno e sette per interno.

Nello specifico:

- sei sonde all'interno, sul piano orizzontale e una sul componente di prova;
- due sonde all'esterno, una sulla centralina metereologica, l'altra sul componente per misurare l'illuminamento a seconda dell'esposizione della parete da testare.

Principio di Funzionamento:

la sonda si basa su un sensore a stato solido la cui risposta spettrale è stata corretta mediante filtri per adattarla alla risposta dell'occhio umano. La curva di risposta spettrale relativa tipica è riportata nella figura a lato.

CARATTERISTICHE TECNICHE
Sensibilità tipica : 0.5÷1.5 mv/klux
Campo spettrale tipico V(ë)
Incertezza di taratura: <4%
f1' (accordo con risposta fotopica V(ë)) <6%
f2 (risposta come legge del coseno): <3%
f3 (linearità): <1%
Temperatura di lavoro: -40°C ÷ +60°C
Versione con uscita normalizzata 4÷20 mA: 4mA=0 klux, 20mA=150 klux
Versione con uscita normalizzata 0÷10 V: 0V=0 klux, 10V=150 klux

Fig.II.71.
Sonde fotometriche per interni.
Da catalogo DELTA OHM

Fig.II.72.
Sonda fotometrica per esterno.
È progettata e costruita per l'installazione all'esterno per lunghi periodi. La misura fotometrica per uso esterno viene utilizzato per la misura della luce diurna in campo meteorologico e climatologico.
Da catalogo DELTA OHM

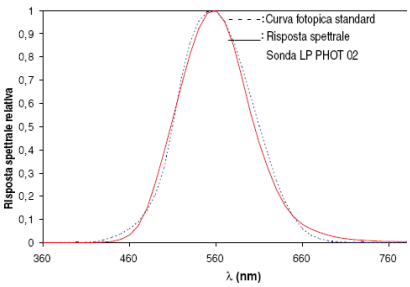


Fig. II.73.
A confronto la curva di risposta spettrale dell'occhio umano standardizzata, e quella della sonda fotometrica.
Da catalogo DELTA OHM

Fig.II.74

Sonda globotermometro sensore Pt100, globo Ø 150 mm. Gambo Ø 14 mm, lunghezza 110 mm. Cavo lunghezza 2 metri.

Da catalogo: DELTA OHM

II.1.5.6 GLOBOTERMOMETRO

Un corpo irradia calore verso le superfici più fredde e riceve calore radiante attraverso le tempeIl globotermometro misura la *Temperatura globotermometrica* TG (°C).

La temperatura del globotermometro o del globo nero si ottiene tramite una sonda di temperatura sistemata all'interno di una sfera di rame, a parete sottile, verniciata in nero opaco con pittura d'emittenza E pari a 0.95.

La superficie metallica, riscaldata per irraggiamento, trasmette all'aria contenuta all'interno della sfera una quantità di calore proporzionale all'irraggiamento termico, alla temperatura e alla velocità dell'aria dell'ambiente**.**

Rappresenta quindi un corpo nero quasi perfetto, che riceverà, dopo un certo tempo, tutto il calore radiante proveniente dall'ambiente.

La costruzione particolare di questa sonda dovrebbe simulare l'assorbimento di energia radiante del corpo umano.

Il termoglobotermometro, è quindi uno strumento che verrà posto all'interno della test cell per misurare la temperatura media radiante e anche per misurare la WBGT, Wet Bulb Globe Temperature; quest'ultimo è un parametro di temperatura che correla le temperature a bulbo secco, a bulbo umido e la temperatura media radiante.

E' inoltre l'indicatore più usato per la valutazione dello stress termico negli ambienti di lavoro:

WBGT = 0,7 Tvn + 0,2Tg + 0,1 Ts

dove: Tvn= temp. bulbo umido a ventilazione naturale

Tg = temp. globotermometro

Ts= temp. aria bulbo secco

La centralina ricava automaticamente la temperatura media radiante *(Tr)*, note che siano la temperatura secca e la velocita dell'aria.

Da questi parametri il software abbinato alla centralina calcola la temperatura operativa *To*, il Voto Medio Previsto *PMV* e la Percentuale Prevedibile di Insoddisfatti *PPD*, indici di benessere relativi agli ambienti moderati, come descritti dalla Norma ISO 7730/1997.

II.1.5.7 SONDE PER LA VELOCITÀ E LA DIREZIONE DEL VENTO

Fig.II.75.

Sonda a filo caldo omnidirezionale per la misura della velocità dell'aria nel campo da 0 .. 5 m/s.
Diametro della sonda di 8 mm.
Sonda completa di impugnatura, asta estensibile da 360 mm a 1060 mm. e cavo da 1800 mm.

La test cell viene corredata di strumentazione per la misura della velocità dell'aria e per la misura della velocità e direzione del vento.

Il primo tipo di sonda, viene posta all'interno: si tratta di anemometro a filo caldo che consente di misurare la velocità dell'aria all'interno della test cell.

All'esterno, viene invece posizionato una sonda per la velocità del vento e anche per la direzione del vento.

Questa risulta necessaria per monitorare le condizioni climatiche esterne che influenzano il comportamento termo-fisico del componente da testare.

Nel caso di test su pareti ventilate, verranno posti anemometri a filo caldo anche all'interno delle intercapedini di aria, in misura ed altezza sufficiente per identificare il comportamento di una parete ventilata.

Caratteristiche tecniche dell'Anemometro a filo caldo	
Campo di misura velocità	da 0 ... 5 m/s
Risoluzione velocità	0.01 m/s
Precisione velocità	± 0.05 da 0 a 1 m/s e ± 0,1 da 1 a 5 m/s.
Velocità minima	0 m/s
Diametro sonda	8 mm.
Lunghezza cavo	1,80 mt

Fig.II.76.
Anemometro per la misura della direzione – a sinistra – del vento e per la misura della velocità, a destra, del vento.

Il sensore di velocità del vento consiste in tre cucchiai collegati ad un corpo che a seconda dell'intensità del vento, fa ruotare il corpo a velocità variabile creando un segnale elettrico direttamante proporzionale alla velocità.

Il sensore della direzione del vento consiste in un'aletta che seguendo la direzione del vento produce un segnale 4-20 mA che corrisponde ad un angolo da 0 a 360º.

Essendo entrambe le misure tradotte in un segnale elettrico, possono essere rilevate manualmente mediante una centralina elettronica oppure acquisite automaticamente mediante un'unità di acquisizione dati.

Di seguito, le caratteristiche dell'anemometro per esterni.

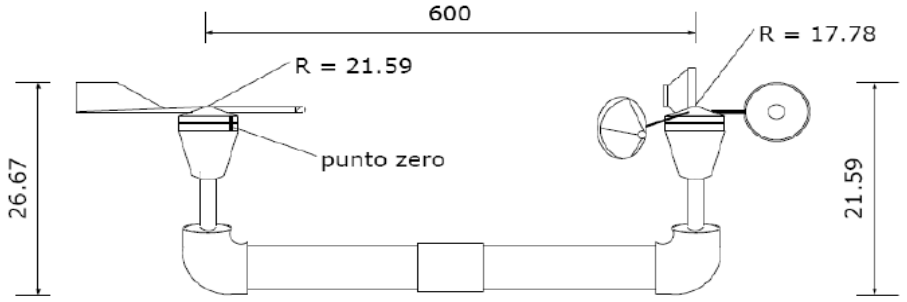


Fig.II.77. Dimensioni di ingombro di un anemometro per esterni. Da catalogo.

Caratteristiche tecniche dell anemometro da esterni	
Alimentazione	10-36 V (DC)
Uscita	4-20 mA
Campo di misura	0-50 m/s
Precisione	0.2 m/s
Warm up	3 sec
Temp. di funzionamento	-40÷+55 ºC
Dimensioni	Ø 178 x 216 mm
Peso	0.450 Kg.

II.1.6 IL CONTROLLO DEI DATI MISURATI

II.1.6.1 POSTAZIONE PC E BABUC DATI

La strumentazione della test cell non è un accessorio; la test cell infatti può essere considerata nel suo insieme uno strumento di misura del comportamento termo fisico di nuovi componenti di facciata.

La raccolta dei dati è pertanto molto importante.

Verranno collezionati sia i dati provenienti dalla strumentazione interna che i dati provenienti dalla strumentazione esterna alla test cell; i dati verranno sincronizzati in modo da correlare le misure interne alle misure esterne.

Fig.II.78.
Acquisitore dati modello Agilent
Credits: G. Alcamo

Fig.II.79.
Credits: G. Alcamo

Fig.II.80
Credits: G. Alcamo

Essenzialmente le misure esterne sono relative a:

- temperatura
- umidità relativa
- velocità del vento
- direzione del vento
- radiazione solare diretta
- radiazione solare diffusa

All'interno vengono fatte le seguenti misure:

- temperatura radiante
- temperatura a bulbo secco
- velocità dell'aria
- umidità relativa
- radiazione solare diretta e diffusa
- flusso termico entrante ed uscente

Tutti i dati sopra indicati, saranno integratati ai dati relativi alle misure effettuate sul componente di prova.

I dati convergono ad un BABUC localizzato nella service room, per poi essere elaborati da opportuni software quali il LORD con la opportuna stima degli errori.

I dati raccolti dal BABUC verranno a loro volta inviati ad un computer dedicato alle operazioni di controllo dei dati raccolti e di lavoro sui dati raccolti.

Di seguito il BABUC che è stato scelto per la raccolta dei dati.

Fig.II.84
Agilent Modello 34980 A. Immagini da catalogo.

Fig.II.81
PC per visualizzare i dati della stazione metereologica.
Credits: G. Alcamo

Fig.II.82
PC per visualizzare i dati raccolti dal babuc, sulle misure condotte sulla test cell.
Credits: G. Alcamo

Fig.II.83
PC per visualizzare i dati raccolti dal babuc, sulle misure condotte sulla test cell.
Credits: G. Alcamo

Per riassumere, all'interno della test room vengono installati i sensori di temperatura, di umidità relativa, due anemometri, un globo termometro, le flux tiles.

Nella stanza adiacente, service room, vengono invece raccolti i dati provenienti dalle misure interne; i dati vengo trasferiti tramite LAN ad un PC all'interno degli uffici del Dipartimento di Tecnologia dell'Architettura e Design.

Un secondo acquisitori dati, raccoglierà i dati rilevati dalla stazione metereologica esterna e verranno anche essi trasferiti via LAN e visualizzati da un secondo PC.

Importante sarà la correlazione dei dati nel tempo.

CAPITOLO II.2 VALIDAZIONE DELLA PROPOSTA TRAMITE SOFTWARE DI SIMULAZIONE

II.2.1 PREMESSA

Il capitolo vuole sintetizzare alcuni metodi e strumenti di simulazione del comportamento energetico di un edificio, strumenti utili al progettista sia in fase di progetto preliminare che nel caso di indagini energetiche mirate alla riqualificazione di un edificio esistente. Da precisare che non esiste un unico strumento in grado di dare tutte le risposte utili all'analisi di un edificio, analisi che può essere non solo energetica ma sul soleggiamento e sui percorsi solari, analisi della ventilazione naturale, analisi del comfort indoor (termico, luminoso, acustico).

A seconda del livello di approfondimento, può essere talvolta necessario utilizzare più di uno strumento; in generale si tende a fare una indagine di massima e poi se necessario approfondire le tematiche con strumenti specifici.

Lo studio e il progetto di nuovi edifici o di riqualificazione di edifici esistenti passa oggi quasi in maniera obbligata dall'indagine energetica che sempre più di frequente viene condotta con l'uso di software di simulazione. Le indagini possono essere di vario tipo e l'approccio di analisi prevede in generale i seguenti passaggi obbligati:

- costruzione del modello di analisi
- recupero file climatico del sito
- caratteristiche dell'involucro
- analisi dei risultati

Proviamo ad entrare più nel dettaglio e quindi esplicitare meglio i punti suddetti.

II.2.1.1 COSTRUZIONE DEL MODELLO DI ANALISI

Il modello deve rispondere alle esigenze dell'indagine; questo vuol dire che il progettista deve inizialmente stabilire l'obiettivo dell'analisi. A secondo del tipo di indagine da svolgere, il modello geometrico da costruire nel software di simulazione, avrà caratteristiche diverse. Uno dei passaggi più delicati infatti è

proprio la simulazione di un edificio cercando di sintetizzarlo e semplificarlo in maniera opportuna.

Se devo investigare dal punto di vista del soleggiamento e dell'illuminazione naturale, non è importante definire le caratteristiche termofisiche dei componenti edilizi, ma sarà necessario e sufficiente individuare lo spessore delle murature (che su edifici esistenti storici possono influire notevolmente sull'illuminazione naturale di interni) e le caratteristiche delle finiture superficiali (per esempio il colore della finitura superficiale e l'eventuale rugosità della superficie), nonché il contesto esterno che influenza la luce riflessa all'interno dell'ambiente.

Nel caso in cui invece dovessi svolgere analisi di tipo termico, sarà necessario avere informazioni sulle caratteristiche termo-fisiche dell'involucro; spesso è necessario sintetizzare l'edificio e ragionare per zone termiche, cioè per zone che scambio energia tra di esse e con l'esterno. Per esempio: se volessi confrontare il comportamento termico di un appartamento posto all'ultimo piano di un edificio con il comportamento termico di un appartamento posto ad un piano intermedio, sarà sufficiente costruire sul modello geometrico due sole zone termiche da mettere a confronto.

Se invece lo scopo dell'indagine termica è vedere il comportamento energetico di ciascuna zona dell'appartamento, sarà allora necessario costruire un modello geometrico con un numero di zone termiche pari al numero di vani dell'appartamento, oltre alle zone termiche con cui l'appartamento scambia energia (per esempio vani scala o appartamenti vicini o garage o cantine).

II.2.1.2 RECUPERO FILE CLIMATICO DEL SITO

E' necessario contestualizzare l'oggetto da studiare, non solo dal punto di vista plano-altimetrico ma anche dal punto di vista delle coordinate geografiche (latitudine e longitudine per gli studi legati al soleggiamento) e dal punto di vista delle informazioni climatiche.

Normalmente si cercano file climatici compatibili con lo strumento software che si sta adoperando; i file climatici possono essere di vario tipo e con estensione diversa e possono contenere informazioni orarie giornaliere annuali oppure informazioni sui valori medi mensili. In entrambi i casi, un file climatico contiene normalmente informazioni su:

- temperature esterne
- umidità relativa esterna
- velocità del vento
- prevalenza del vento
- piovosità dl sito
- radiazione solare diretta
- radiazione solare diffusa

Il governo degli Stati Uniti D'America[1], raccoglie file climatici in formato *.stat* oppure in formato *.epw* e sono il risultato di valori medi di almeno 10 anni di dati climatici. Ma cosa fare se devo studiare il comportamento energetico di un edificio sito in una località di cui non trovo lo specifico file climatico? In questo caso ho due strade da perseguire:

- posso costruire un file climatico raccogliendo le informazioni necessarie e cioè la raccolta dati di almeno 10 anni
- oppure posso cercare tra i file climatici esistenti quelli che sono più simili al sito di interesse.

II.2.1.3 CARATTERISTICHE DELL'INVOLUCRO

Per uno studio approfondito sul comportamento termo-dinamico dell'edificio è necessario fornire al sistema software le informazioni necessarie per caratterizzare i componenti opachi e trasparenti dell'involucro.

E' necessario quindi indicare le stratigrafie delle pareti e degli elementi orizzontali con indicazioni sulla conduttività termica, peso specifico, densità, capacità termica; per gli elementi trasparenti è necessario specificare le caratteristiche del telaio e dei vetri. Lo scopo è fornire ai sistemi software informazioni sufficienti affinché sia possibile stimare il comportamento termico dell'involucro nel suo insieme, tenendo conto degli scambi termici per trasmissione, convezione e irraggiamento, e della massa termica dell'involucro.

L'orientamento dell'edificio influenzerà gli apporti solari termici gratuiti e darà informazioni sulle dispersioni per ventilazione legate alla prevalenza dei venti e alle aperture dell'involucro verso l'esterno.

[1] http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm

II.2.1.4 ANALISI DEI RISULTATI

A seconda dello studio effettuato e del tipo di software utilizzato, gli output possono essere di vario tipo, per esempio:

- comportamento termico e consumi energetici
- illuminazione naturale e integrazione di luce artificiale e relativi consumi
- valutazione del comfort interno (benessere termo-igrometrico e/o luminoso e/o acustico)
- qualità dell'aria interna
- scambi termici tra zone adiacenti
- ventilazione degli ambienti (meccanica e naturale) e percorsi di ventilazione (CFD)
- infiltrazioni d'aria
- efficacia dei sistemi di ombreggiamento
- studio dei percorsi solari relativi al sito
- effetti dell'orientamento

Gli output possono quindi essere forniti dagli strumenti software in modalità tabellare o grafica ovvero, nel caso dei percorsi solari per esempio, anche attraverso delle *movie*.

I suddetti risultati possono essere talvolta estrapolati da un unico strumento software e spesso possono essere correlati tra loro. Tuttavia, esistono anche strumenti che non consentono lo studio globale, nei termini suddetti, ma si occupano solo di uno o di alcuni di questi punti.

Maggiori sono le problematiche prese in considerazione, più complesso è il modello. Naturalmente, per fornire strumenti più adeguati alle prime fasi del processo di progettazione, il numero dei problemi considerati si mantiene al minimo.

Di conseguenza, l'uso di strumenti più complessi è adatto negli stadi più avanzati del progetto in modo da garantire che tutti i problemi energetici connessi siano analizzati nei minimi dettagli. Laddove le problematiche diventano più complesse o critiche, diventa necessario l'uso di strumenti di simulazione agli elementi finiti.

Tuttavia, lo scopo principale nell'uso di tali strumenti, per una progettazione

energeticamente efficiente, consiste nel raggiungere un buon equilibrio tra tutti i fattori che in essa concorrono al fine di minimizzare il consumo energetico.

Sfortunatamente nessuno strumento di progettazione permette di raggiungere tale risultato automaticamente, in quanto si tratta di un processo iterativo che richiede una determinata competenza del team di progetto, insieme all'utilizzo di strumenti appropriati.

Sono disponibili diversi pacchetti software che analizzano l'aspetto specifico di uno o più componenti dell'edificio e alcuni di essi verranno esposti di seguito.

II.2.2 I SOFTWARE DI SIMULAZIONE IN REGIME STATICO VS I SOFTWARE DI SIMULAZIONE IN REGIME DINAMICO

Gli strumenti di controllo per la valutazione dell'efficienza energetica degli edifici possono essere classificati in due gruppi principali: strumenti di valutazione in regime dinamico e strumenti di valutazione in regime stazionario.

Gli strumenti di valutazione energetica in regime dinamico sono software che utilizzano algoritmi di calcolo complessi, spesso agli elementi finiti, e possono essere utilizzati dal progettista per il controllo di uno specifico componente ovvero per il controllo del sistema edilizio nel suo complesso. Vengono utilizzati per valutare la prestazione energetica di un edifico sito in una specifica località, contestualizzando le caratteristiche termo-igrometriche dei singoli componenti studiandone l'effetto di sistema e apprezzandone il comportamento in termici dinamici.

Tengono quindi in conto non solo gli effetti delle specifiche trasmittanze termiche, ma anche dell'inerzia termica del sistema costruito in un determinato contesto climatico, con un determinato orientamento, quindi specificamente soggetto a radiazione solare variabile durante la giornata e venti di velocità e temperatura variabili durante l'arco orario annuale.

Il progettista utilizza sempre più spesso strumenti in regime dinamico sia in fase di progettazione preliminare che in fase di controllo del costruito. Negli ultimi anni, i cambiamenti climatici, le esigenze di sostenibilità ambientale hanno portato i progettisti ad un controllo più consapevole del progetto architettonico dal punto di vista energetico ed ecco quindi la necessità di sviluppare nuove

competenze anche sullo studio del patrimonio edilizio esistente sempre più spesso soggetto ad interventi di riqualificazione energetica.

Anche in quest'ultimo caso, software di simulazione in regime dinamico, consentono lo studio comparativo di edifici esistenti con edifici potenzialmente meno energivori che, con opportuni interventi di riqualificazione, consentono una ottimizzazione dei consumi energetici annuali e un miglioramento delle condizioni di confort termico, luminoso e acustico.

Gli strumenti che consentono di studiare il comportamento termico di un edificio in regime dinamico utilizzano algoritmi di calcolo complessi che fanno riferimento al contesto climatico esterno, variabile, e le variabili climatiche sono relative alla temperatura esterna, all'umidità relativa esterna, alla radiazione solare diretta e diffusa, alla componete di cielo (coperto o sereno), alla velocità e alla direzione del vento e tengono spesso conto della piovosità, in termini di precipitazioni. I dati climatici sono generalmente archiviati in files che contengono le informazioni precedenti orarie, annuali e sono generalmente costruiti facendo riferimento alla media dei valori orari di almeno 10 anni.

Oggi la tendenza in Europa è di introdurre i software in regime dinamico per la valutazione del comportamento energetico di un edificio con algoritmi di calcolo unificati che possano consentire il controllo e la valutazione di edifici diversi in tutti i paesi Europei.

Gli strumenti di valutazione energetica in regime stazionario, sono normalmente utilizzati per verificare che l'edificio soddisfi dal punto di vista energetico le normative vigenti, nazionali. Si tratta quindi di codici di calcolo che tengono conto per esempio delle temperature medie mensili e che non consentono di ottimizzare il comportamento energetico dell'edificio adattandolo alle variabili orarie annuali.

Consentono però di prevedere la spesa energetica annuale, per riscaldamento, raffrescamento, acqua calda sanitaria, ventilazione e illuminazione, senza tenere conto della variabilità del clima, consentendo quindi il dimensionamento dei relativi impianti in condizioni estreme.

Tra gli strumenti suddetti, alcuni possono essere classificati come strumenti di

controllo specifico mentre altri possono essere classificati come strumenti di controllo globale.

Gli strumenti di controllo specifico forniscono, assistenza alla progettazione per esempio nel calcolo delle trasmittanze termiche dei componenti dell'edificio oppure per valutare l'impiego di tecniche specifiche come l'uso della ventilazione naturale, infine, per analizzare il comportamento dell'intorno ambientale in cui insiste l'edificio per studiarne per esempio i percorsi solari giornalieri, annuali o l'effetto canyon..

Questi strumenti di controllo possono aiutare i progettisti a comprendere e valutare in che modo influiscono le diverse tecniche e i sistemi introdotti nell'edificio, nelle differenti condizioni al contorno, consentendo, così, un'indagine approfondita dei parametri specifici dell'ambiente costruito.

Questi strumenti prevedono procedure di calcolo indipendenti da quelle volte alla definizione di un comportamento globale dell'edificio e, infatti, non prevedono la valutazione nel quadro ambientale globale dell'edificio.

Come detto precedentemente, si tratta di strumenti che forniscono complessi algoritmi di calcolo e necessitano spesso di specifiche competenze o di un'assistenza progettuale per calcolare la performance specifica del componente edilizio, oppure di una tecnica precisa, oppure per investigare su una parte dell'intorno ambientale dell'edificio.

Questi strumenti sono normalmente utilizzati per ottenere un pre-dimensionamento dei componenti dell'involucro. Per esempio: il comportamento termico di un componente opaco o di un componente trasparente viene spesso associato ad un parametro chiamato conduttanza termica espressa in W/m2K.

Oggi si tende ad introdurre nel progetto edilizio sistemi e componenti innovativi le cui performance energetiche non sono adeguatamente studiate; nello specifico ci riferiamo all'uso di pareti ventilate, oppure all'utilizzo di nuovi materiali isolanti che sono stati realizzati con l'uso di nanotecnologie. In questi casi, calcolare il comportamento energetico del componente o del sistema in regime stazionario, non è sufficiente proprio per le peculiarità per esempio delle pareti ventilate che hanno un comportamento diverso a seconda dell'altezza della parete, a seconda dello spessore della camera d'aria, della finitura superficiale e dell'irraggiamento sulla superficie esterna. Si tende quindi a simulare e prevedere

il comportamento di questi nuovi sistemi utilizzando strumenti in grado di prevedere la ventilazione all'interno della parete ventilata, correlando il movimento dell'aria alla differenza di pressione e temperatura che si ha alle varie altezze della parete.

In questo caso risultano particolarmente interessanti gli strumenti che consentono di valutare i fenomeni di trasferimento di massa (ventilazione ed infiltrazione). Questi ultimi consentono anche di valutare il movimento dell'aria tra edifici e ambiente circostante e tra le varie zone dell'edificio, tutti effetti che giocano un ruolo importante nella determinazione dell'equilibrio termico dell'edificio, in quanto regolano simultaneamente i livelli di comfort termico e la qualità dell'aria interna.

Gli strumenti di controllo globale mirano ad integrare tutte le procedure di calcolo utili alla valutazione complessiva del comportamento energetico e spesso anche delle caratteristiche della qualità dell'aria dell'edificio. Questi strumenti si basano generalmente su codici dettagliati di simulazione anche se alcuni di essi si basano su metodi semplificati.

Questi strumenti integrano procedure di calcolo che descrivono quasi tutti i più importanti fenomeni di trasferimento del calore e forniscono all'utente una serie di informazioni sul comportamento termodinamico sia dei singoli componenti sia dell'intero edificio.

Quelli semplificati, basati su algoritmi empirici o statistici validi sotto precise condizioni di limite, permettono il calcolo del consumo energetico globale dell'edificio, ma senza la possibilità di simularne le caratteristiche dinamiche; naturalmente devono essere usati tenendo in considerazione i limiti della loro precisione ed approssimazione.

I cosiddetti modelli CFD, Computational Fluid Dynamic si basano sulla risoluzione delle equazioni di Navier-Stokes combinate con i modelli di turbolenza. Questi strumenti consentono di determinare la velocità dell'aria in una zona e prevedere il percorso dell'aria cioè i flussi d'aria attraverso i vari componenti e la concentrazione di inquinanti interni nelle varie zone.

Sebbene questi strumenti siano molto potenti, hanno un limite non indifferente e cioè la loro complessità è tale che spesso solo esperti sanno

utilizzarli in maniera adeguata. Talvolta inoltre, il loro costo rimane eccessivamente elevato. Questi strumenti sono più efficienti quando il flusso d'aria è causato da differenze di temperature e di pressione piuttosto che dal vento.

Di seguito, in ordine alfabetico, la breve descrizione di alcuni strumenti di controllo specifico e di controllo globale.

II.2.2.1 DESIGN BUILDER

DesignBuilder è stato sviluppato per semplificare il processo di simulazione energetica di un edificio, confrontare soluzioni progettuali diverse e mettere a confronto i risultati con i relativi costi benefici.

DesignBuilder Software Ltd

Palace Chambers
41 London Rd, Stroud
Gloucestershire
GL5 2AJ
UK
T: +44 (0) 1453 755500
F: +44 (0) 1453 750507
E: sales@designbuilder.com
W: www.designbuilder.com

E' molto utilizzato per:

- verifiche sul comportamento energetico di edifici in fase di progettazione
- verifiche sull'efficacia della ventilazione naturale
- verifiche sul raggiungimento dei valori minimi di fattore di luce diurna
- controllo del sistema impiantistico

Si tratta di uno strumento molto diffuso in UK perché consente le verifiche richieste dalle procedure espresse nella Part-L2 in merito alla performance energetica degli edifici in fase di progetto, oltre alla possibilità di rilasciare il certificato energetico così come richiesto in UK, secondo il metodo BREEAM.

Dal punto di vista grafico inoltre, consente di ottenere rendering anche sugli edifici, in modo da dimostrare I risultati direttamente sull'edificio oltre che per via tabellare.

Di seguito, alcune immagini di risultati in Design Builder tratte da depliant pubblicitari.

Fig.II.85
Rendering di edificio simulato in Design Builder.

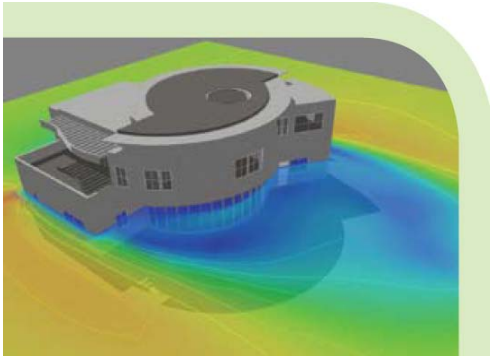


Fig.II.86
Visualizzazione dei venti correlati alle temperature del vento.

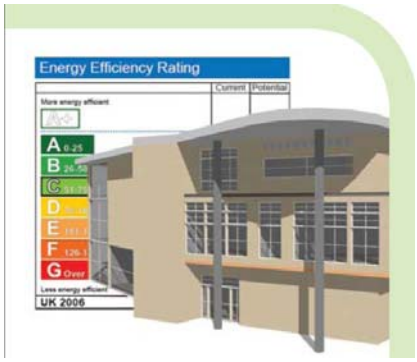


Fig.II.87
Certificazione energetica secondo il BREEAM.

II.2.2.2 DOE-2

DOE-2 è uno strumento creato per facilitare il lavoro di calcolo degli impiantisti ed è in grado di prevedere I consumi energetici di un edificio e i relativi costi, consentendo di prendere in considerazione diverse strategie energetiche così come anche le tecniche solari passive.

DOE-2

Simulation Research Group
Lawrence Berkeley National Laboratory
MS 90-3147
Berkeley, CA 94720
USA
Tel: 510-486-5711
Fax: 510-486-4089
W: www.doe2.com

Il programma consente la valutazione del comportamento termico per qualsiasi tipo di impianto HVAC. Gli outputs del programma consentono di definire le performance dell'impianto installato, la performance termica dell'edificio e, infine, definire una precisa analisi costi-benefici.

Consente la simulazione oraria energetica dell'edificio e viene spesso utilizzato per confrontare I costi energetici associate a talune soluzioni tecnologiche ed impiantistiche piuttosto che ad altre.

Lavora sia su sistemi Linux che windows, ha una elevate accuratezza di calcolo consentendo una simulazione attendibile sia dal punto di vista energetico che della luce naturale.

Sviluppato da Laurence Berkeley Laboratory, California, USA, è disponibile presso Laurence Berkeley Laboratori, Window and Daylighting Group, Berkeley, CA 94720.

II.2.2.3 ECOTECT

Si tratta di uno strumento di simulazione globale, che consente cioè lo studio energetico di un edificio dal punto di vista termico, del soleggia mento, delle schermature, della luce naturale e artificiale, lo studio della performance acustica.

Restituisce output sia in modalità grafica che tabellare e risulta di facile approccio perché la grafica è molto intuitiva. Si utilizza diffusamente per capire il comportamento energetico di un edificio per grandi linee.

I risultati possono essere visualizzati sia graficamente che in maniera tabellare e possono essere esportati in ESP-r, Energy Plus, WIN4AIR.

Consente inoltre di realizzare delle movie, particolarmente interessanti per la visualizzazione degli effetti delle schermature.

Dal 2008 è commercializzato e distribuito da Autodesk http://usa.autodesk.com

Ecotect Analysis

Distribuito da
SYSTEMA SRL (MO)
via G.Galilei ,145
MODENA (MO)
Modena-41100
Italia

Tel: 059 234491
Email:
vcastelnuovo@systemasrl.it
W: http://www.autodesk.it

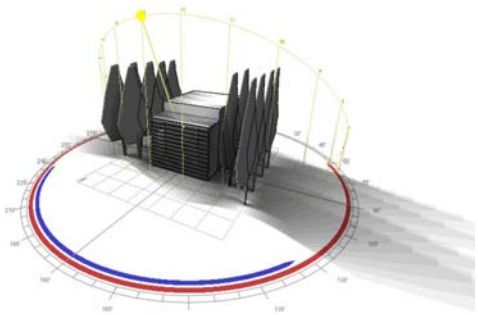


Fig.II.88. Studio dei percorsi solari e delle schermature in ECOTEC. Autore: B. Castelli

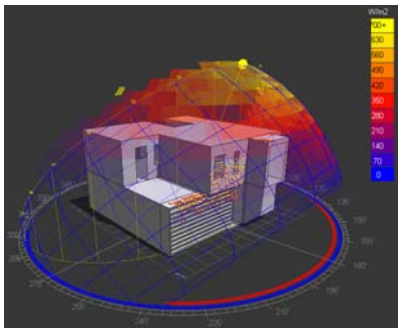


Fig.II.89. Studio dei percorsi solari con ECOTEC. Autore: M. Sbrissa

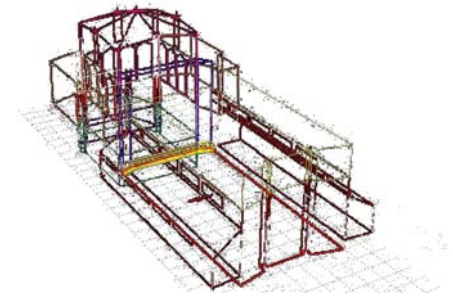


Fig.II.90. Studio del comportamento energetico di edifici di culto in ECOTECT. Autori: G. Alcamo, S. Murgia

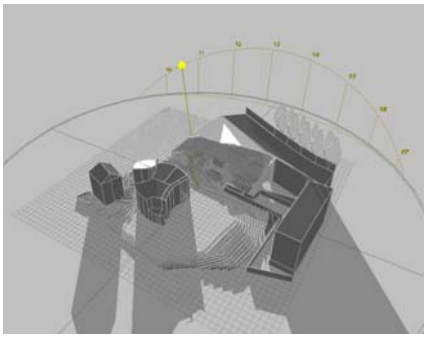


Fig.II.91. Percorso solare e studio delle ombre in ECOTECT. Autori: G. Alcamo, S. Murgia

II.2.2.4 ENERGY PLUS

EnergyPlus consente di studiare il comportamento energetico di un edificio sia dal punto di vista termico, dal punto di vista del raffrescamento, della luce artificiale, della ventilazione e consente di quantificare i relativi consumi anche inerenti all'acqua calda sanitaria o all'uso integrato dei sistemi fotovoltaici.

Si tratta della versione *friendly* del software DOE-2, nel senso che ha una interfaccia grafica che rende lo strumento di lavoro intuitivo e facilmente utilizzabile.

Consente di ottenere in output le simulazioni orarie oppure si può investigare su risultati per esempio ogni 15 minuti, cioè in un arco di tempo più ristretto. Il software non è commercializzato ed è disponibile presso U.S Department of Energy all'indirizzo:

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/

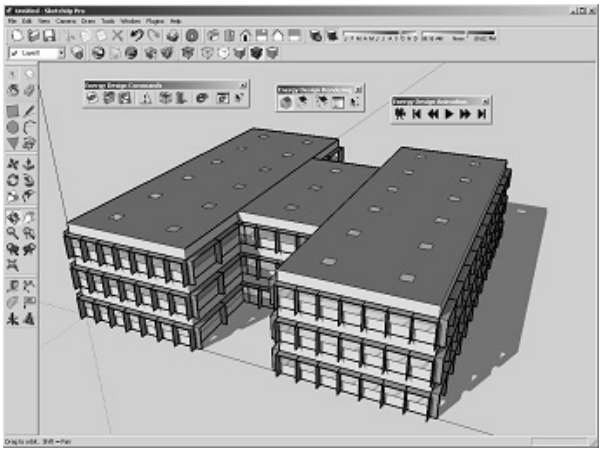


Fig.II.92. Rendering di edificio simulato in Energy Plus. Credits: depliant della casa produttrice

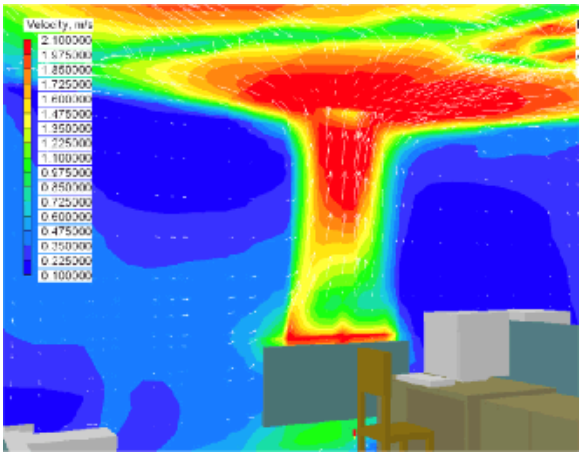


Fig.II.93. CFD realizzato con i risultati di E+ Credits: depliant della casa produttrice

II.2.2.5 ESP-r

Si tratta di un programma gratuito, Open Source, capace di modellare e quindi prevedere il comportamento energetico di componenti e di sistemi, consente lo studio termo-fluido dinamico e consente lo studio combinato del sistema edificio-impianto; il tutto in ambiente di tipo dinamico, cioè con lo studio dell'interazione edifico-impianto con il sistema climatico esterno variabile.

Richiede personale specializzato per essere utilizzato in maniera proficua.

E' in grado di prevedere il comportamento termo-fluido dinamico di facciate ventilate. Si interfaccia con altri strumenti di simulazione quali per esempio Radiance.

La versione originale è nata nel lontano 1973 con applicazioni alla meccanica dei fluidi, su piattaforma Linux; nel tempo è stato rivisto per le applicazioni energetiche su edifici. I risultati vengono restituiti sia sotto forma tabellare che sotto forma grafica, non in grafica 3D.

Oggi è disponibile anche una versione per windows.

Lo strumento è reperibile anche al seguente indirizzo: http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm

ESP-r

University of Strathclyde ESRU

James Weir Building
75 Montrose Street
Glasgow G1 1XJ
Scotland

Phone: +44 141 548 3986
Fax: +44 141 552 5105
Email: esru@strath.ac.uk
W: http://www.strath.ac.uk/esru

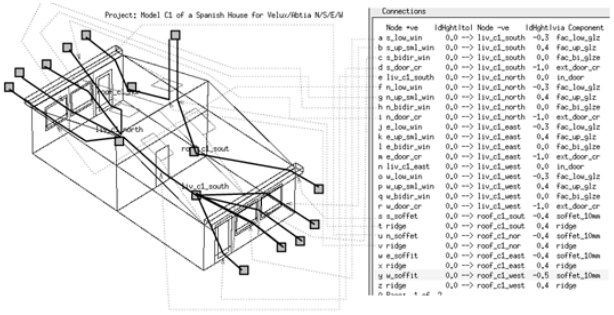


Fig.II.94. Modello con air-flow network realizzato in ESP-r.
Credits: G. Alcamo

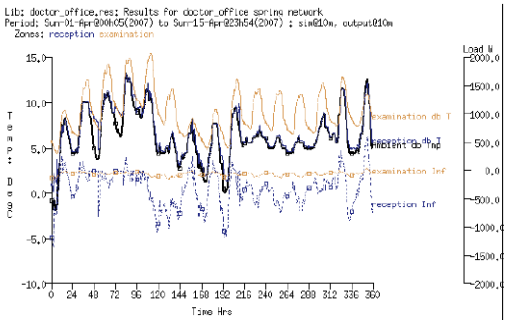


Fig.II.95. Grafico con andamento delle temperature.
Credits: G. Alcamo

II.2.2.6 LAMAS

E' uno strumento prevalentemente dedicato alla valutazione del controllo solare dovuto all'uso di tende combinate alle finestre. Il programma è sofisticato e molto appropriato per i progettisti interessati all'ottimizzazione dei sistemi di protezione solare.

Sviluppato in sede di programma di ricerca Pascool finanziato dalla Commissione Europea, Direzione generale di Scienze, Ricerca e Sviluppo, è oggi disponibile presso GR-BES, University of Athens, Physics Department, division of Applied Physics, Laboratory of Meteorology, Panepistimioupolis, Build. PHYS-V, GR 15784 Athens, Greece.

II.2.2.7 PASSPORT

PASSPORT è uno strumento di valutazione basato su un sistema di correlazioni che consente di valutare la richiesta di riscaldamento per gli edifici residenziali; questo strumento fa riferimento in particolare ad uno Standard Europeo. Un gruppo di lavoro dell'European Standardization Committee (CEN TC 89 WG4) ha, infatti, lavorato in stretta collaborazione per lo sviluppo delle basi teoriche di questo strumento di progettazione.

L'utente di Passport può scegliere se seguire strettamente gli Standards indicati, o definire ulteriori caratteristiche specifiche, che non siano state prese in considerazione dal CEN per ragioni di semplificazione, con l'intento di migliorare l'accuratezza dei risultati.

Il metodo si basa sullo stato di equilibrio energetico, indicato per determinate zone, che tiene conto delle variazioni di temperatura esterna e dell'effetto dinamico dei guadagni gratuiti interni e solari.

Si compone di due moduli:

- PASSPORT PLUS: è stato sviluppato da University of Seville - Group of Thermotechnia in collaborazione con Group Building - Environmental Studies of Athens. Oggi è disponibile presso GR-BES, University of Athens, Department of Physics, Division of Applied Physics, Laboratory of Meteorology, Panepistimioupolis, Build. PHYS-V, Athens, GR 15784, Greece.

- PASSPORT AIR: sviluppato da Group Building Environmental Physics, University of Athens, Greece, in collaborazione con I partner del progetto PASCOOL Research Program finanziato dalla Commissione Europea, Directorate General for Science, Research and Development. E' anche esso disponibile presso GR-BES, University of Athens, Physics Department, Division of Applied Physics, Laboratory of Meteorology, Panepistimioupolis, Build. PHYS-V, GR 15784, Athens, Greece.

II.2.2.8 PHOENICS

PHOENICS

CHAM Concetration Heat & Monumentum Limited

Bakery House High Street
Wimbledon Village
London SW19 5AU
UK

Website:
http://www.cham.co.uk/default.php

E' uno strumento che consente di simulare il processo relativo ai percorsi dei fluidi, al trasferimento di massa e di calore, alle reazioni chimiche e alla combustione di equipaggiamenti ingegneristici.

Anche se creato e usato prevalentemente per il mondo aeronautico e meccanico, ha applicazioni anche nel campo dell'ingegneria civile.

Lo strumento è stato sviluppato da CHAM Concentration Heat and Monumentum Limited .

Di seguito alcune immagini CFD che dimostrano le potenzialità di rappresentazione grafica dello strumento. Le immagini sono estrapolate dal depliant commerciale.

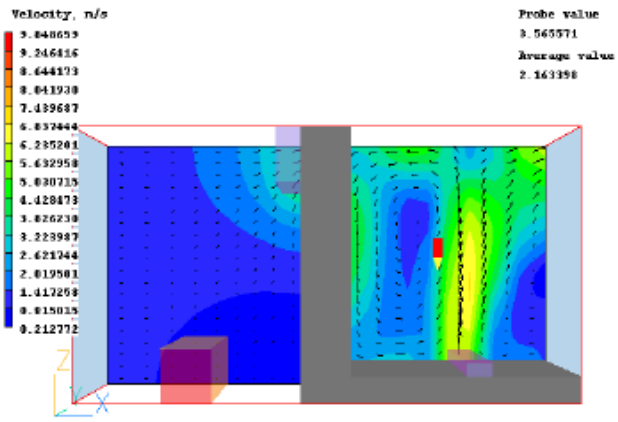


Fig.II.96. Velocità dell'aria all'interno di un ambiente.

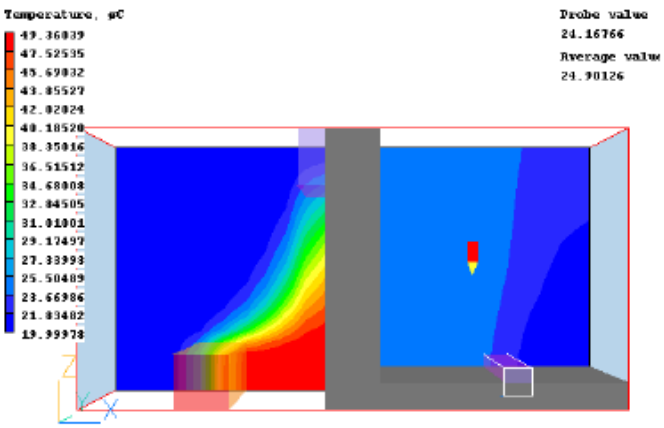
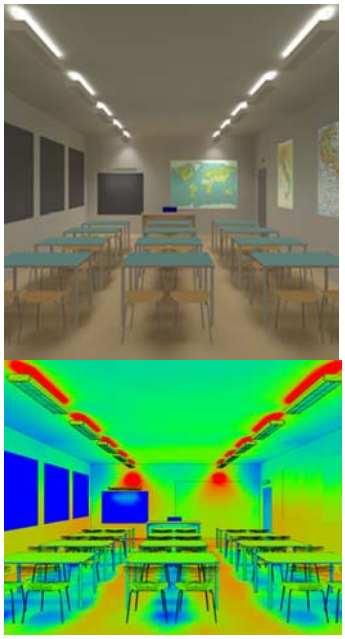


Fig.II.97. Propagazione del calore in un ambiente.

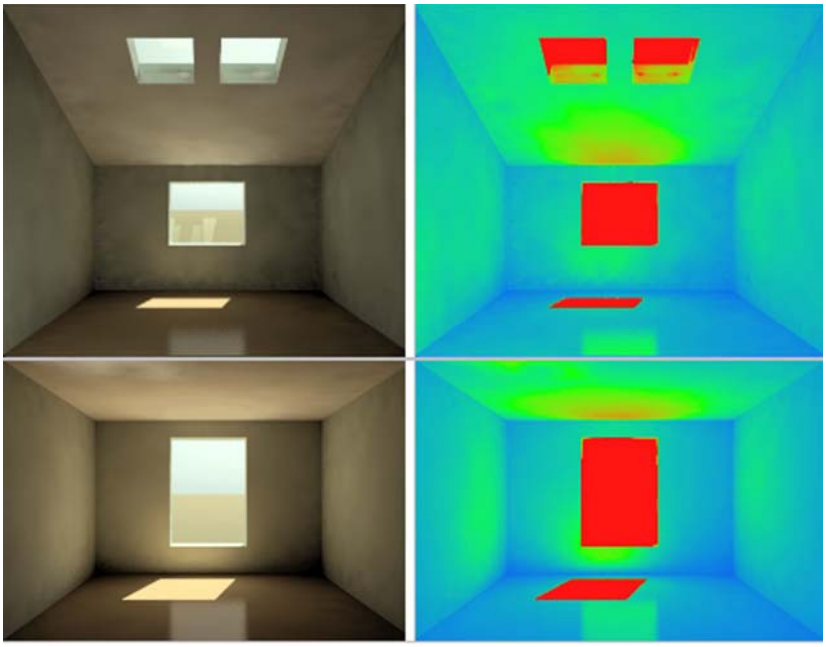
II.2.2.9 RADIANCE

RADIANCE è un software che lavora in ray-tracing per lo studio dell'illuminazione naturale ed artificiale di interni. E' sviluppato da U.S. Department Of Energy con il contributo di Swiss Federal Government. Il Copyright è di proprietà di Regents of the University of California. E' scaricabile gratuitamente dal sito http://radsite.lbl.gov/radiance/index.html

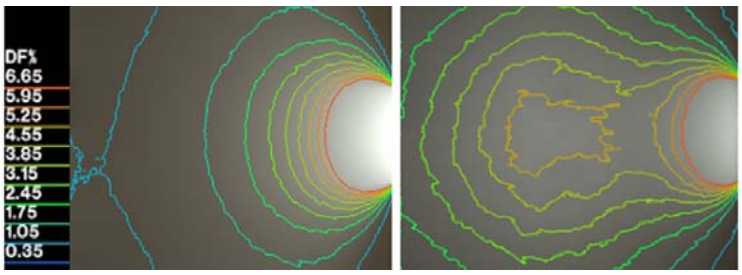
Benchè sia nato in ambiente Unix, è oggi disponibile nella versione Desktop Radiance per windows. Tra i software gratuiti sullo studio dell'illuminazione naturale, è tra i più sofisticati e precisi ed è diffusamente utilizzato negli ambiti di ricerca scientifica.



Figg.II.98 e 99. Simulazione della luminanza e rendering con il software RELUX. Autore: M. Saracino



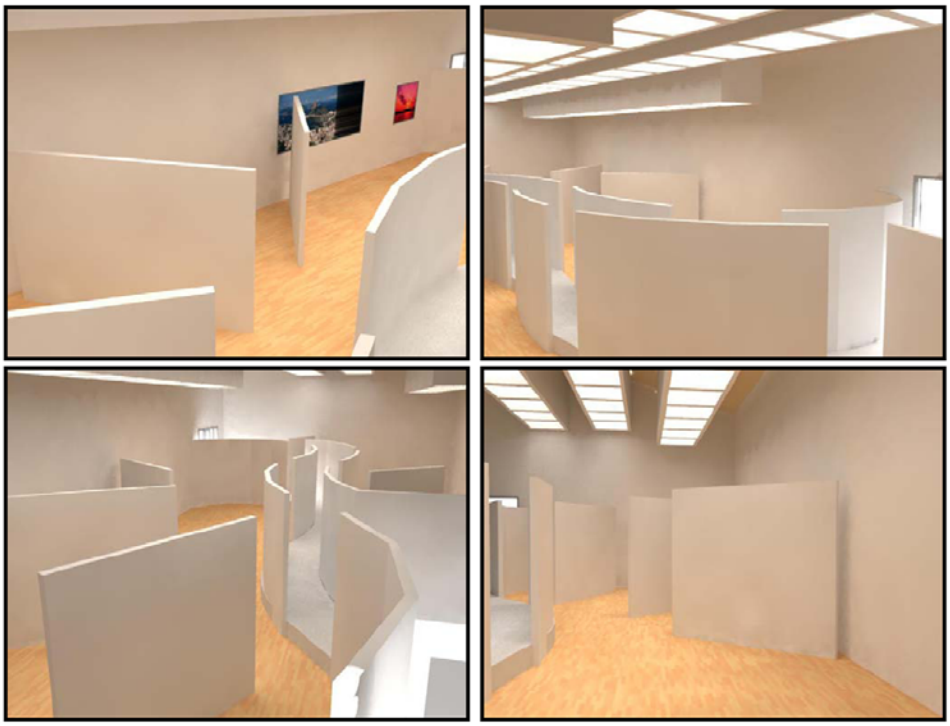
Figg.II.100, 101, 102, 103. Confronto della distribuzione di luce naturale tra un piano terra e un sottotetto. Le due stanze hanno eguale superfice finestrata ma diversamente distribuita. Simulazioni in RADIANCE. Autori: G. Alcamo, D. Matteoli



Figg.II.104, 105. Analisi del fattore di luce diurna tra stanze con superficie vetrata diversamente distribuita. L'analisi è stata condotta in Radiance. Autori: G. Alcamo, D. Matteoli

II.2.2.10 RELUX

Distribuito da http://www.relux.biz/ si tratta di uno strumento per simulare la luce naturale e artificiale. Di facile utilizzo, consente di importare le curve fotometriche degli apparecchi di illuminazione, lavorare sul progetto di interni o di esterni.



Figg.II.106, 107, 108, 109. Studio della distribuzione della luce naturale in RELUX. Autori: V. Giorgi, A. Rocco

Fig.II.110. Distribuzione della luce naturale. Autori: A. Magario, E. Terlini

II.2.2.11 SUMMER

Sviluppato da Group Building Environmental Physics, University of Athens, Greece, sotto contratto con the European Commission, Directorate General for Energy, SAVE Program.

Disponibile presso GR-BES, University of Athens, Phisics Department, Division of Applied Physics, Laboratory of Meteorology, Panepistimioupolis, Build. PHYS-V, GR 15784, Athens, Greece.

Il modulo "protezione solare" SLP, integrato nel software SUMMER, include algoritmi dettagliati per calcolare l'ombreggiamento degli elementi trasparenti dovuto agli ostacoli esterni o alla combinazione di vari altri elementi di protezione. Il programma calcola il modello dinamico dei coefficienti di ombreggiamento globale, la radiazione solare diffusa e riflessa; inoltre include un interessante modulo di analisi di sensitività che consente di variare i parametri in gioco e di valutarne direttamente l'impatto sul comportamento energetico.

Il programma è adatto per i progettisti che vogliano definire gli effetti della radiazione diffusa e riflessa. sviluppato nel quadro del programma SAVE della Commissione Europea, sono previsti algoritmi per verificare gli scambi con il terreno, i componenti di raffrescamento evaporativo e radiativo, come pure le tecniche di ventilazione notturna.

Questo strumento fornisce informazioni sul comportamento dei vari componenti dell'edificio, accoppiati o meno con esso. Moduli di sensibilità analitica sono inclusi per aiutare ad ottimizzare la procedura di dimensionamento.

Lo strumento può quindi risultare veramente utile per progettisti interessati al disegno efficiente e ad una buona integrazione dei componenti di raffrescamento naturale negli edifici.

II.2.2.12 TRNSYS

E' uno strumento di simulazione in regime dinamico che consente lo studio integrato di edifico-impianto.

Consente lo studio e il dimensionamento di impianti HVAC, lo studio delle performance termiche, il controllo solare.

Consente oltre che lo studio di un edifico in termini globali, anche lo studio di previsione di componenti quali per esempio le facciate ventilate.

Sviluppato da Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA. Disponibile presso Solar Energy Laboratory, 1303 Engineering Research Building, University of Wisconsin-Madison, 500 Johnson Drive, Madison, WI 53706, USA.

Lo strumento è disponibile, non gratuitamente, sul sito http://sel.me.wisc.edu/trnsys/

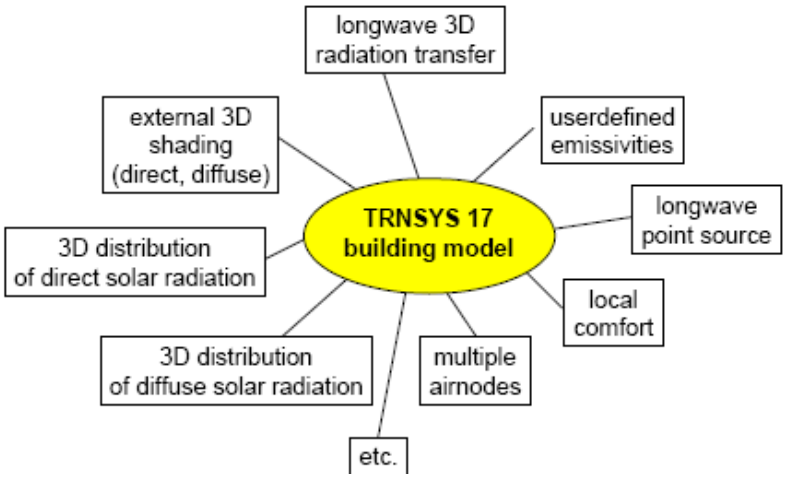


Fig.II.111. Il grafico esplicita le potenzialità dello strumento software TRNSYS.

II.2.2.13 FLUENT

Fluent è un software per la fluidodinamica computazionale (CFD) largamente utilizzato sia nell'ambito industriale che nel mondo accademico.

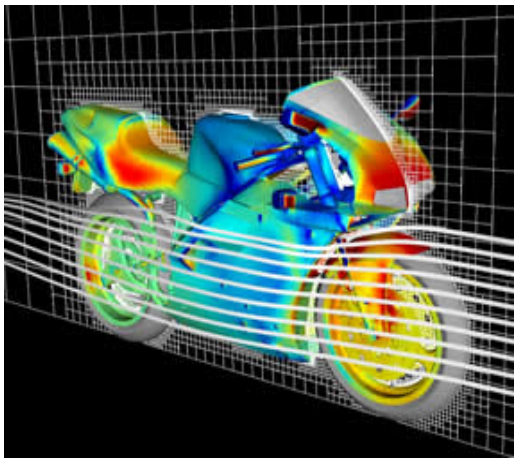
Il CFD, ovvero computational fluid dynamics, è la tecnica che permette lo studio dei modelli di fluidodimanica mediante utilizzo del pc.

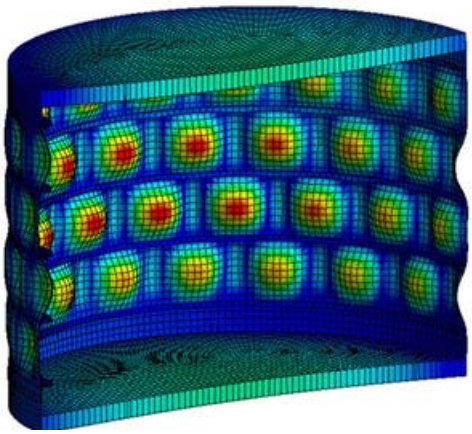
Attualmente è tra i software leader mondiali del mercato per la CFD.

Per maggiori informazioni, http://www.ansys.com/

La risoluzione diretta delle equazioni di Navier-Stokes è praticamente possibile solo in caso di flussi laminari, e per geometrie semplici quali le sfere o le lastre piane. I flussi turbolenti incontrati nelle applicazioni reali richiedono invece l'ausilio di un modello di turbolenza; in molti casi devono essere risolte anche altre equazioni contemporaneamente alle equazioni di Navier-Stokes e alle equazioni del modello di turbolenza.

Nello specifico, il Fluent è basato sul metodo ai volumi finiti: è l'approccio standard utilizzato nella maggior parte dei codici commerciali per la CFD. Le equazioni vengono risolte in un volume di controllo discreto (cella).





Figg.II.112, 113. Risultati del TRNSYS. Immagini dal sito ANSYS

II.2.4 I SOFTWARE PER VALIDARE LA TEST-CELL

Tra gli strumenti di simulazione in regime dinamico per un controllo del progetto della test cell si è deciso di utilizzare ESP-r per la parte energetica, Ecotect per la parte delle ombre e delle schermature, Relux per la luce distribuzione della luce all'interno.

ESP-r è uno strumento che è stato validato dai progetti PASSYS e PASLINK e successivi. Le prove che venivano effettuate sui primi componenti di prova davano risultati che non combaciavano con le equazioni teoriche. Lo studio degli errori e la conseguente definizione e caratterizzazione termica del componente di prova ha consentito di riscrivere le equazioni sui codici di calcolo. Pertanto ESP-r è stato via via "aggiustato" per rendere le simulazioni del componente più vicine alla realtà climatica e della performance energetica del componente in regime dinamico.

Lo strumento, messo a punto dall'ESRU, è ritenuto oggi dalla comunità scientifica tra i più robusti e performanti e attendibili.

Il software si scarica gratuitamente dal sito dell'ESRU e lo si può installare sia su piattaforma Linux che, solo di recente, anche su piattaforma windows.

L'ultima versione su windows ha le stesse caratteristiche della versione linux in termini di prestazioni e di affidabilità dei risultati finali.

E' un software che richiede da parte dell'utente un notevole controllo ed una importante padronanza di dati e di concetti connessi al sistema delle simulazioni energetiche in regime dinamico; consente di valutare il comportamento di una o più zone da punto di vista termico, restituendo informazioni sia sotto forma tabellare che sotto forma grafica.

Non è uno strumento che restituisce rendering del progetto, ma anzi ha una veste grafica molto sobria e piuttosto stancante.

Una delle motivazioni che mi ha spinto nella scelta dello strumento e legata al fatto del il dipartimento ESRU, a conoscenza del fatto che Firenze si sta attrezzando con una nuova test cell per le misure in situ di nuovi componenti edilizi, mi ha contattato manifestando interesse nell'ottenere i risultati delle misure che condurremo per loro potere verificare anche i codici di calcolo sui nuovi componenti edilizi.

ESP-r sarà quindi lo strumento che verrà utilizzato nel processo di utilizzo

della test cell:

- il componente viene progettato
- il suo comportamento termico in regime dinamico verrà simulato in TRNSYS, quindi verrà costruito il modello in ESP-r per vedere il comportamento del componente nella test cell.
- Una volta effettuate le prove sul componente, sulla test cell, i dati verranno confrontati con quelli derivanti dal TRNSYS e verranno passati all'ESRU per implementare i codici di calcolo di ESP-r in modo da consentire la simulazione del comportamento del componente a scala di edificio complesso ovvero in altre località climatiche.

Inoltre il fatto che il software sia gratuito, consentirà un maggiore accesso da parte degli utenti interessati alle applicazioni- simulazioni di nuovi componenti edilizi per edifici ad energia quasi zero.

Di seguito il processo che è stato seguito per costruire la camera di prova in ESP-r, creare un air-flow network: il modello verrà utilizzato per mettere a confronto i risultati su campo con i risultati ottenuti dalla simulazione energetica.

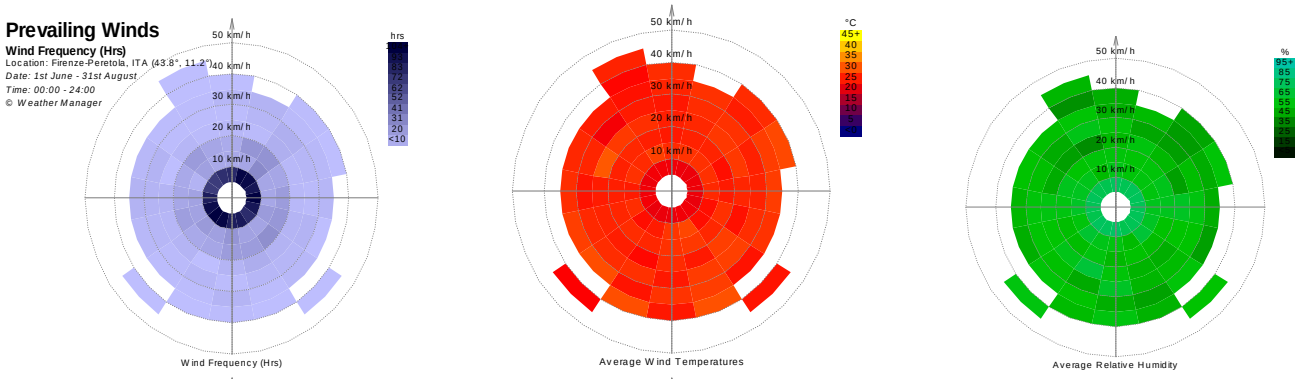
E' stato innanzitutto necessario recuperare i dati necessari per costruire un **file climatico** in ESP-r. Vengono richiesti i dati relativi a:

- temperatura oraria giornaliera, annuale
- umidità relativa
- velocità del vento
- direzione del vento
- radiazione solare diretta
- radiazione solare diffusa

Questi i dati minimi per potere effettuare poi delle simulazioni. Tutti i dati devono essere almeno orari giornalieri annuali, meglio se ottenuti dalla media dei valori di una decade storica.

Per velocizzare la raccolta dei dati climatici, sono stati utilizzati i dati climatici di Firenze già presenti sul sito dell' Energy Plus e poi convertiti in un formato leggibile per ESP-r.

Di seguito vengono riportati alcuni grafici elaborati in Ecotect per *visualizzare* il contesto climatico di Firenze:



Figg.II.114, 115, 116. A sinistra, direzione e velocità dei venti prevalenti in estate, a Firenze. A l centro, temperature medie dei venti. A destra, percentuale di umidità relativa nell'aria, in funzione della prevalenza dei venti.

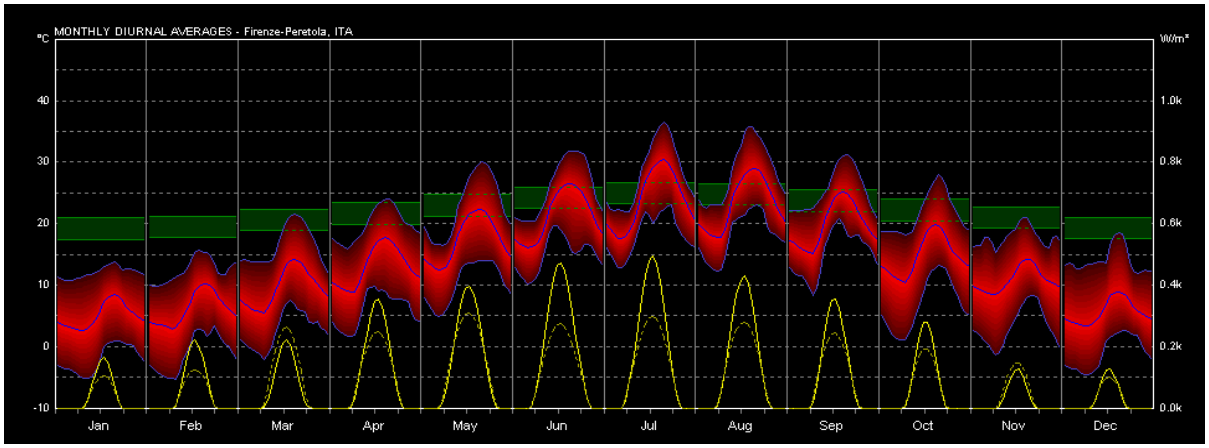


Fig.II.117. Il grafico mette in evidenza la fascia delle temperature durante tutto l'anno, evidenziando temperature massime e minime, la temperatura media, la radiazione solare diretta (tratto giallo continuo) e la radiazione solare diffusa (tratto giallo).
In verde la fascia del comfort calcolata secondo il metodo di Fanger.

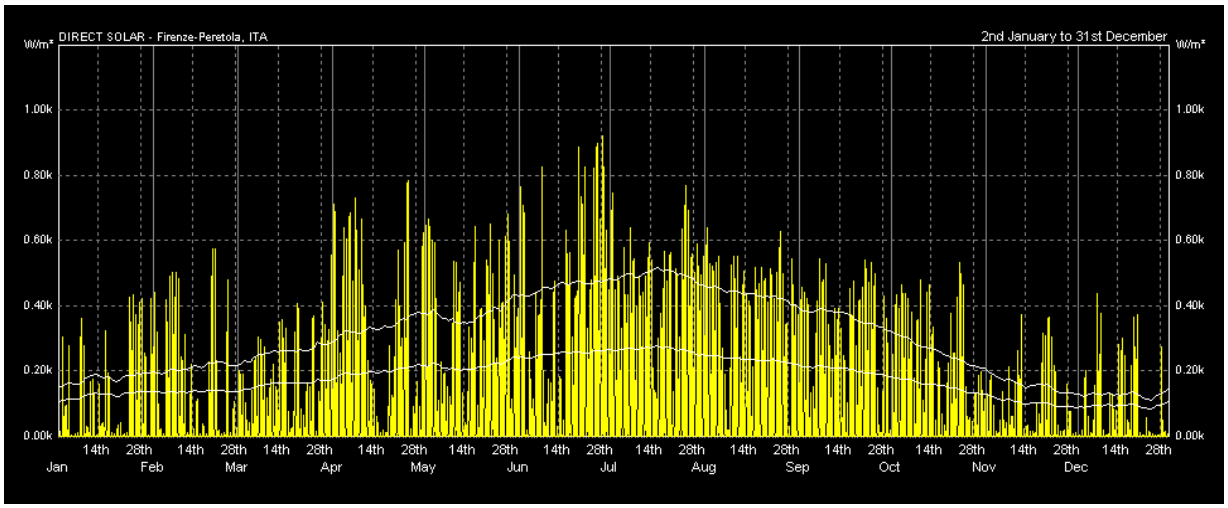


Fig.II.118. Il grafico mette in evidenza la fascia relativa alla radiazione solare diretta durante tutto l'anno.

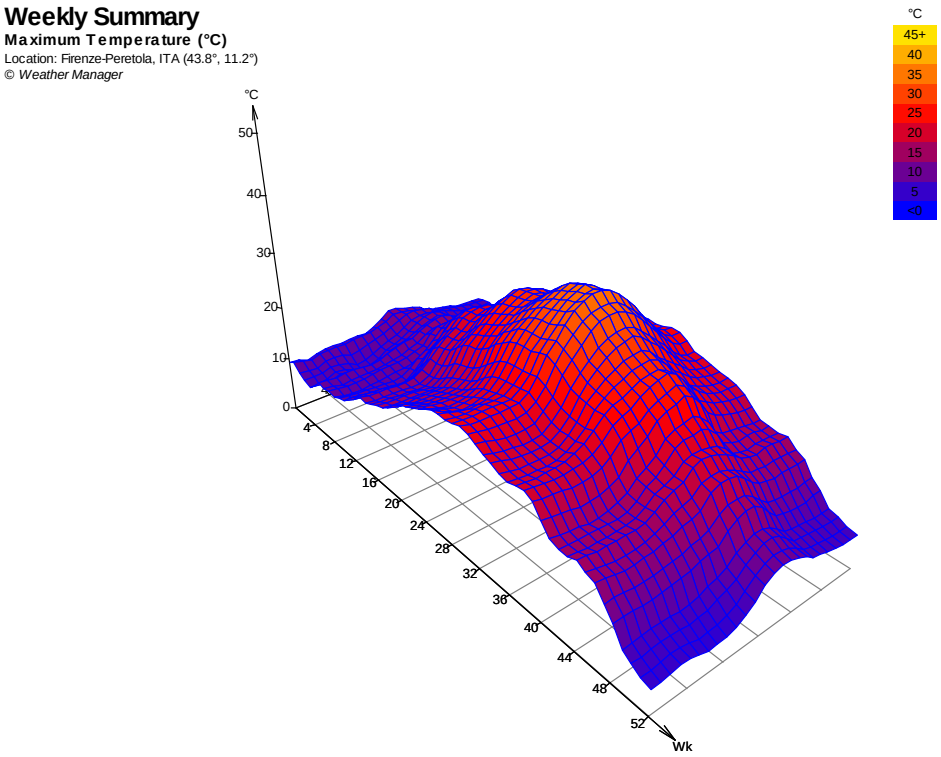


Fig.II.119. Visualizzazione tridimensionale delle temperature massime durante le 52 settimane dell'anno, nelle 24 ore della giornata.

Una volta inserito il file climatico e le coordinate geografiche di Firenze, si

passa alla realizzazione del modello; viene sintetizzato considerando il volume netto, interno della camera di prova, attribuendo a ciascuna superficie le caratteristiche termiche di ciascun *layer* che la costituisce.

Quindi le sei facce che racchiudono il volume della camera di prova sono sia caratterizzate dai componenti previsti nel progetto, sia dall'esposizione: le superfici che danno verso l'esterno sono identificate come superfici le cui *boundary conditions* sono OUTSIDE, mentre la superficie che dà sulla service room ha come definizione delle condizioni al contorno SIMILAR esprimendo in tal senso che la zona adiacente con cui avvengono gli scambi termici, si comporta in maniera similare a quella su cui vengono effettuate le misure; le *boundary conditions* servono ad identificare le zone di scambio termico tra l'interno della camera di prova e ciò che le sta attorno.

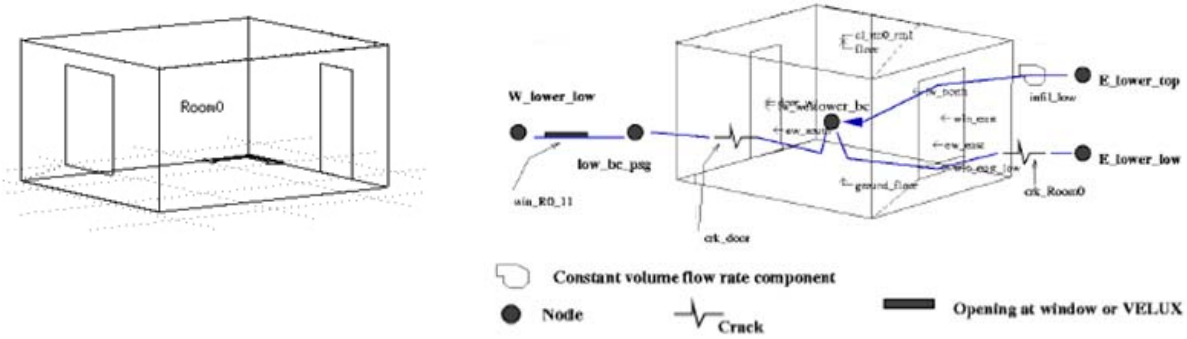
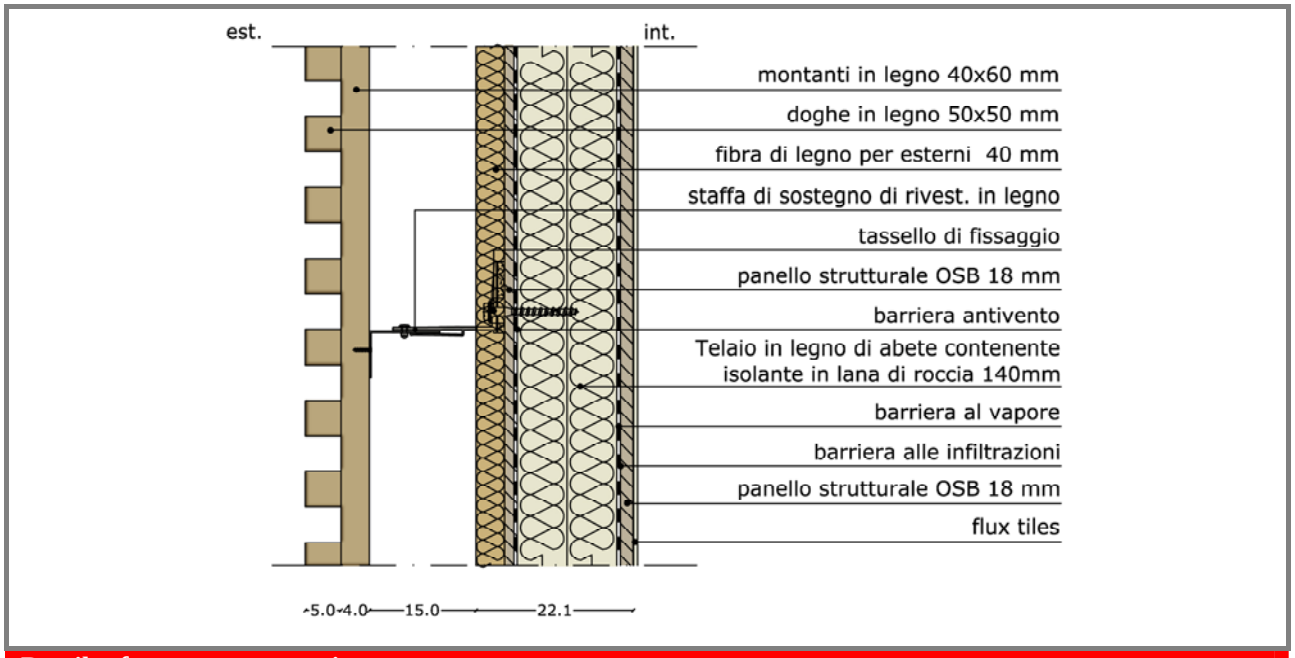


Fig.III.120, 121. A sinistra, la modellazione della zona termica test room, individuata come Room0, in ESP-r. A destra, costruzione di un air-flow network che simuli ventilazione e infiltrazioni attraverso la finestra.

Ciascuna superficie bidimensionale, contiene le informazioni necessarie per definire sia la struttura nel suo spessore reale, sia le caratteristiche termo fisiche. La visualizzazione quindi minimale non è semplicistica e non identifica un approccio superficiale, ma rappresenta il metodo con cui in ESP-r vengono realizzate le zone termiche.

Dopo avere definito le parti opache, ed avere costruito il *.geo* file cioè il file che contiene le specifiche geometriche della stanza e il *.constr* file che contiene le informazioni sui componenti opachi, viene realizzata una finestra sul componente di prova, creando di conseguenza un file dal nome *.tmc* file, cioè contenente le caratteristiche dei *transparent material construction*.



Details of opaque construction: parete esterna

Layer	Prim	Thick (m)	Conduc-tivity	Density (db)	Specif (db)	IR	Solr	Diffu heat	Descr	emis	abs	resis
Ext	101	0.4000	0.038	50.	1000.	0.91	0.50	11.	Fibra di legno			
2	9	0.0180	0.184	704.	650.	0.90	0.93	25.	Pannello legno			
3	214	0.1400	0.038	30.	1000.	0.90	0.30	30.	Lana di roccia			
4	9	0.0180	0.184	704.	650.	0.90	0.93	25.	Pannello legno			
Int	43	4.0	210.000	2700.	880.	0.90	0.70	19200.	Aluminium			

Standardised **U value = 0.285 W/m²°C**

Fig.II.122. Definizione delle caratteristiche termofisiche del componente verticale opaco in ESP-r. Essendo la cavità tra la parete e la schermatura di 15 cm, rappresentando uno spazio ventilato, il pannello murario è stato considerato, ai fini della valutazioni energetica, senza la schermatura esterna definita nel pacchetto murario.

Optical data for facade window with closed vertical shutter is composed by 5 layers (including air gaps) and visible transmittance: 0,05.

Direct transmission @ 0, 40, 55, 70, 80 deg
0,050 0,040 0,030 0,020 0,010

Layer	absorption @ 0,	40,	55,	70,	80 deg
1	0,700	0,650	0,600	0,550	0,500
2	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
3	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
4	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
5	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010

Details of transparent construction: window

Layer	Prim	Thick (mm)	Conduc-tivity	Density (db)	Specif (db)	IR	Solr	Diffu heat	R emis	Descr abs	resis m^2K/W
Ext	148	4,0	0,850	2000,	837,	0,90	0,70	1000,	0,00	P.V.C.	
2	0	50,0	0,000	0,	0,	0,99	0,99	1,	0,10	air	
3	242	4,0	0,760	2710,	837,	0,83	0,05	19200,	0,01	Plate glass	
4	0	16,0	0,000	0,	0,	0,99	0,99	1,	0,17	air	
Int	242	4,0	0,760	2710,	837,	0,83	0,05	19200,	0,01	Plate glass	

Standardised U value = 2,16 W/m²°C

Fig.II.123. Definizione delle caratteristiche termofisiche del componente verticale vetrato in ESP-r.

Definite le condizioni climatiche esterne, definita la geometria, le caratteristiche dei componenti edilizi opachi e trasparenti, orizzontali e verticali, è possibile definire un certo numero di ricambi di aria ovvero di *infiltration rate*.

Di conseguenza si può lanciare la simulazione oraria giornaliera in estate, per vedere le temperature all'interno della test room.

Di seguito alcuni risultati ottenuti sui 4 orientamenti principali:

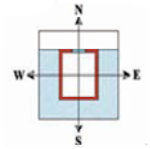
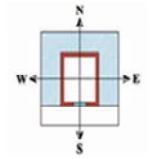
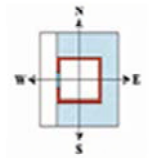
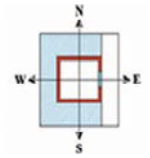
	Temperature Max	Numero di ore che esprimono un PPD inferiore al 10%	Numero di ore che esprimono temperatura al di sotto dei 23°C
NORTH 	32.5	1075 (36,7%)	1329 (45,38%)
SOUTH 	34	867 (29,6%)	1202 (41,05%)
WEST 	33.7	826 (28,2%)	1057 (36,09%)
EAST 	33.5	887 (30,3%)	1138 (38,86%)

Fig.II.124. Sintesi dei risultati ottenuti simulando a Firenze la camera di prova sugli orientamenti Nord, Sud, Est, Ovest, in estate.

Il modello costruito in ESP-r, sarà verificato una volta realizzata la test cell e misurate le trasmittanze termiche in opera di ciascun componente.

A questo punto, il modello è stato importato in Ecotect allo scopo di verificare l'effetto delle schermature solari nelle diverse ore della giornata, in inverno e in estate.

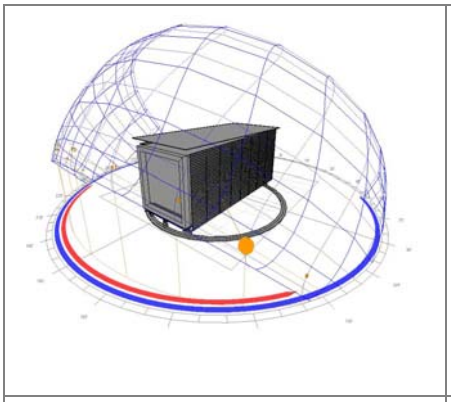


Fig.II.125. Percorso solare il 21 Dicembre, ore 9

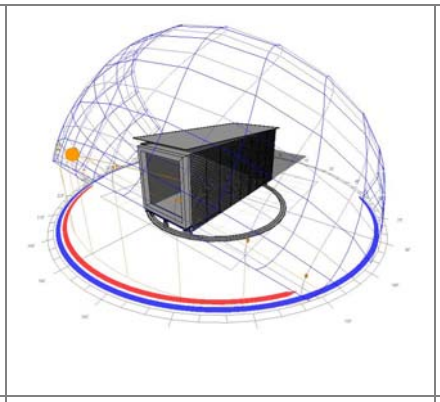


Fig.II.126. Percorso solare il 21 Dicembre, ore 12

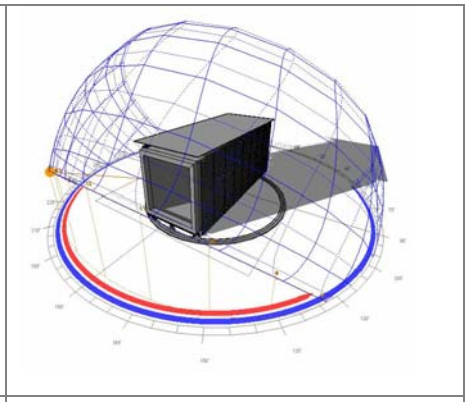


Fig.II.127. Percorso solare il 21 Dicembre, ore 15

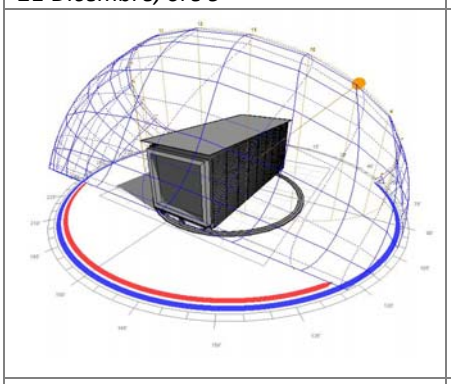


Fig.II.128. Percorso solare il 21 Giugno, ore 9

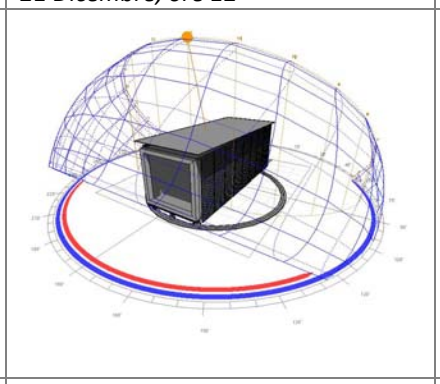


Fig.II.129. Percorso solare il 21 Giugno, ore 12

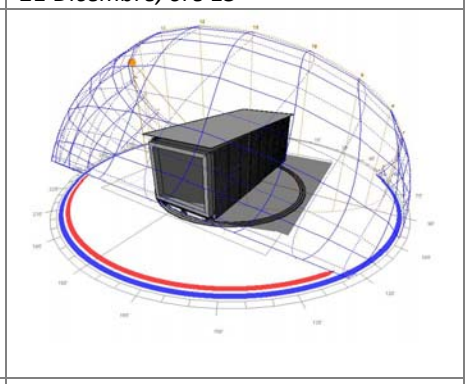


Fig.II.130. Percorso solare il 21 Giugno, ore 15

Di seguito l'analisi del fattore di luce diurna condotta sulla test cell, prima in Ecotect, poi in Radiance.

Per la valutazione sia energetica in ESP-r che per la valutazione del fattore di luce diurna con finestra standardizzata di superficie pari ad 1/8 della superficie del pavimento, sono stati usati i seguenti dati relativi alle finiture superficiali interne:

		R(r) (%)	R(g) (%)	R(b) (%)	R(tot) (%)	Specularity	Roughness
Walls	Pure white paint	92.3	80.8	76.1	83.5	0.00	0.00
Floor	Pure white paint	92.3	80.8	76.1	83.5	0.00	0.00
Ceiling	Pure white paint	92.3	80.8	76.1	83.5	0.00	0.00
		T(r) (%)	**T(g) (%)**	**T(b) (%)**	**T(tot) (%)**		
Glazing	2 panes	78.0	85.0	80.0	78.0		

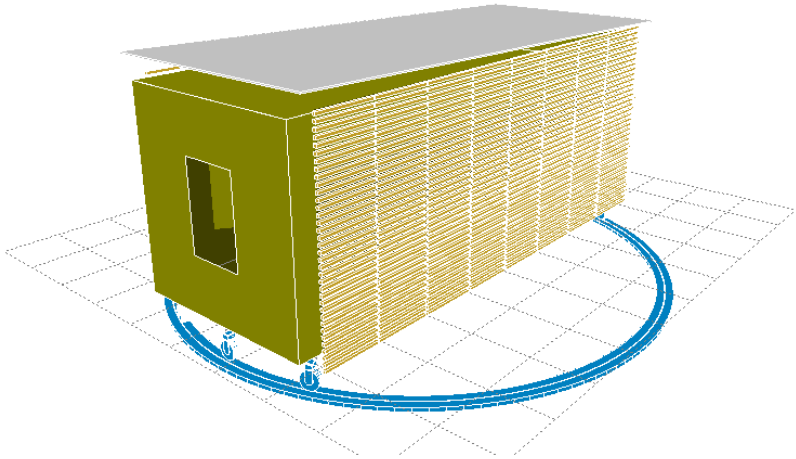


Fig.II.131. Il modello della test cell in Ecotect, per lo studio del soleggia mento e della valutazione del Fattore di Luce Diurna

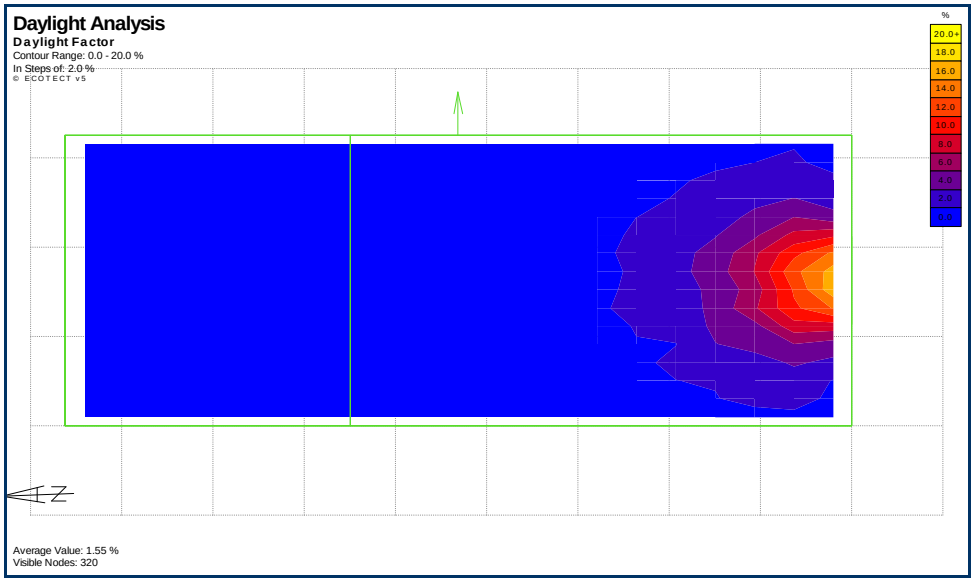


Fig.II.132. In pianta, falsi colori per la misura del FLD. Il valore ottenuto è di 1,55%, in condizioni di cielo coperto.

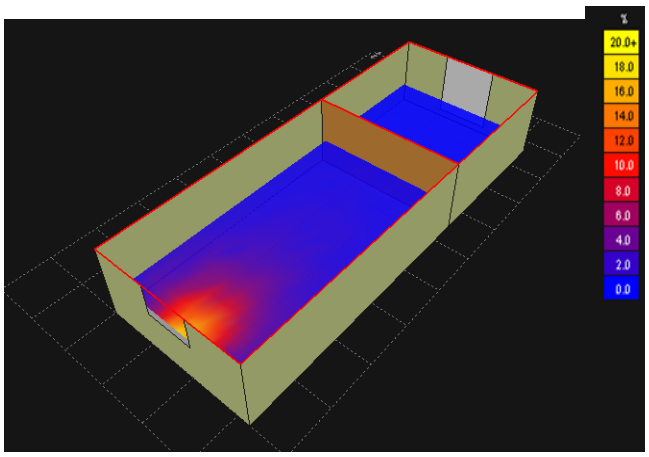


Fig.II.133. Spaccato assonometrico con griglia di misura fittizia per valutazione del FLD.

Il profilo climatico relativo alla posizione geografica nei pressi di Firenze, mostra che il 51% dell'anno si ha cielo sereno, mentre si ha un cielo coperto il 23% dell'anno e il rimanente è un cielo intermedio.

Nella tabella che segue,I dati provenienti dall'ENEA (Ente Nazionale Energie Alternative, Italy)

MONTH	CLEAR SKY (days)	OVERCAST SKY (days)	INTERMEDIATE SKY (days)
1	12	9	10
2	11	8	9
3	13	9	9
4	13	8	9
5	15	6	10
6	18	4	8
7	24	2	5
8	24	2	5
9	19	5	6
10	15	9	7
11	12	10	8
12	11	10	10
	187	**82**	**96**

Fig.II.134. Frequenza di cielo sereno, coperto e intermedio a Firenze. Ciò dimostra la necessità di investigare in condizioni di cielo sereno e nei diversi orientamenti, per evitare progetti sovradimensionati dal punto di vista delle aperture finestrate.

La necessità di progettare in chiave sostenibile, in termini di consumi energetici responsabili e in termini di comfort termico, necessita lo studio quindi dell'illuminamento all'interno degli ambienti, considerando il cielo prevalente che nelle aree del Mediterraneo è un cielo sereno.

Visto che il fattore di luce diurna, normalmente usato per valutare la disponibilità e la distribuzione di luce all'interno di un ambiente, viene da letteratura calcolato in condizioni di cielo coperto, che poco rappresenta la situazione climatica Mediterranea, si è costruito un modello in radiance, sia di cielo sereno che della camera di prova, in modo da simulare l'illuminamento nella stanza, in condizioni di cielo sereno.

```
# sky definition.
!gensky 4 21 13.00 +s -a 41.800 -o -12.600 -m -15.000 | xform -rz -270.000
```

Fig.II.135. Stringa di comando per definire in Radiance un cielo sereno, con il sole.

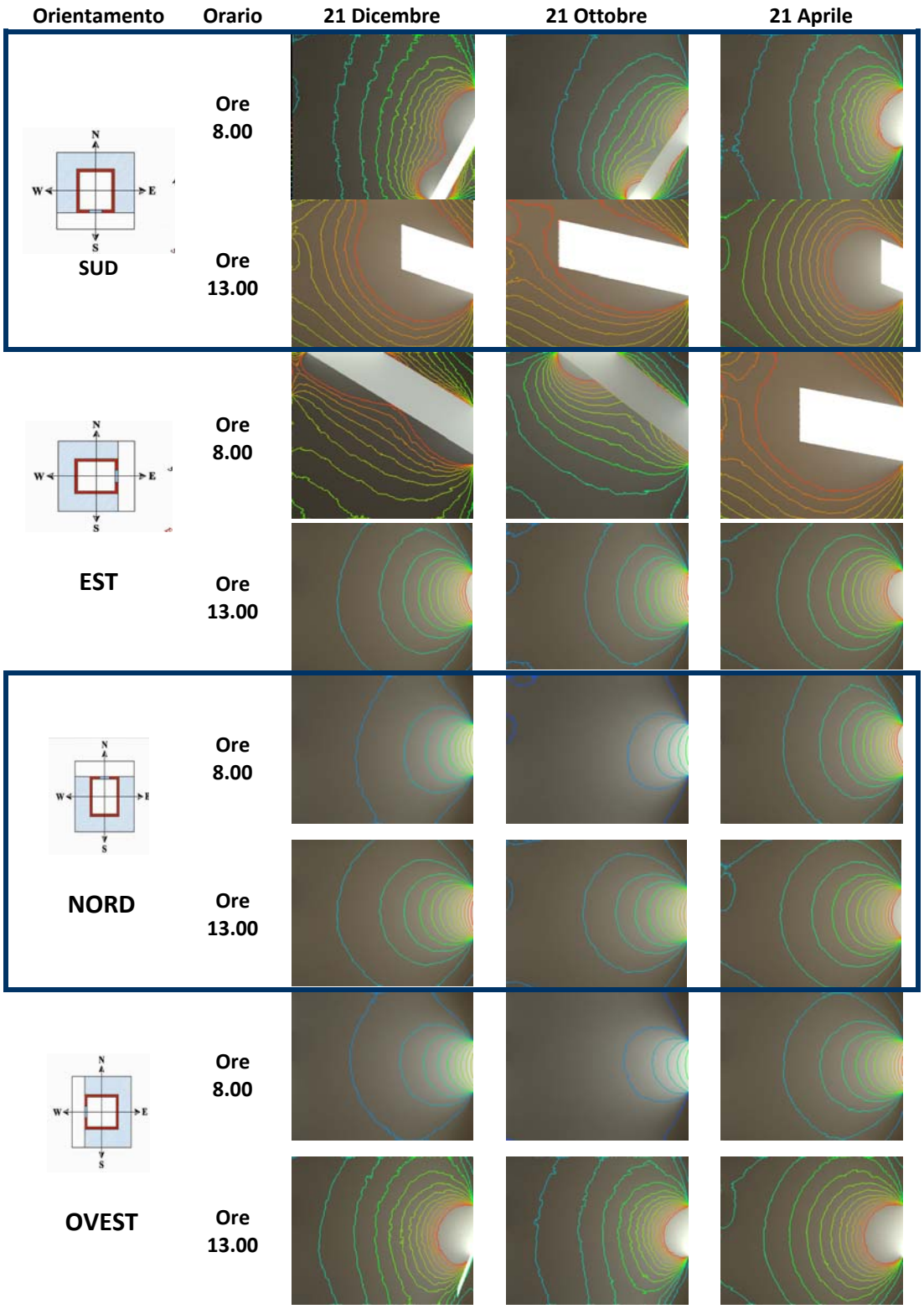


Fig.II.136.
Livelli di illuminamento (lux) con orientamento diverso e in orari diversi della giornata.
Elaborazione dati in Radiance.

II.3 CONCLUSIONI ALLA PARTE II

La test cell è uno strumento di misura che deve essere progettato per rispondere a specifici requisiti prestazionali ed è stata progettata sia dal punto di vista tecnologico che dal punto di vista della strumentazione che deve essere correlata alla test cell.

La parte II della tesi è suddivisa in due capitoli principali: nel primo viene riportato graficamente e commentato il progetto; nel secondo capitolo vengono descritti i software che sono stati utilizzati per validare la test cell e vengono presentati in maniera essenziale i risultati delle simulazioni.

Il progetto tecnologico della test cell è stato condotto di pari passo al progetto energetico, nel senso che il soddisfacimento dei requisiti prestazionali è stato via via verificato durante la progettazione.

Viene presentata la test cell con l'indicazione della localizzazione sul sito della Facoltà di Ingegneria, Università degli studi di Firenze; il sito stesso ha precluso la possibilità di posizionare la test cell su una platea di fondazione in calcestruzzo armato e pertanto la progettazione delle fondazioni è stata necessariamente condizionata dai vincoli paesaggistici presenti sullo specifico sito.

E' stata effettuata una analisi dimensionale sia della struttura della test cell che della sottofondazione in acciaio; sono stati presi contatti con officine meccaniche in grado di sviluppare la struttura su base rotante.

Dopo avere descritto il progetto della test cell, vengono elencati gli strumenti che saranno posti all'interno e all'esterno della test cell: di ciascuno strumento è già stata fatta una verifica delle singole prestazioni e della possibilità di connetterli insieme.

Nel secondo capitolo, vengono descritti alcuni software di simulazione in regime dinamico che possono oggi supportare il progettista che cerca risposte in fase progettuale, risposte coordinate sul progetto energetico, illuminotecnico, di ventilazione etc.

Un modello di simulazione della test cell è stato costruito in ESP-r: si tratta di uno strumento realizzato dal dipartimento di Ingegneria meccanica ESRU, Glasgow, dipartimento con il quale sono già stati avviati i contatti per sinergicamente lavorare alla validazione dello strumento software su nuovi componenti edilizi.

Il modello costruito è poi stato esportato in Ecotect, studiato dal punto di vista dell'analisi delle ombre ed infine costruito in Radiance per verificare la necessità di una test cell su base girevole in clima Mediterraneo.

Il progetto della test cell può essere considerato unico solo dal punto di vista della fondazione su travi krinner, per il resto, può essere considerato un valido esempio di test cell per effettuare misure sul comportamento termico di nuovi componenti edilizi da sviluppare in area Mediterranea, ovvero per lo studio della luce naturale in condizioni di cielo sereno.

I risultati in Radiance, infatti, dimostrano che l'orientamento di una facciata trasparente, in condizioni di cielo sereno è un aspetto che non può essere sottovalutato e non è possibile limitare le verifiche sui minimi della luce naturale con riferimento al Fattore di Luce diurna medio, calcolato in condizioni di cielo coperto.

PARTE III. CONCLUSIONI

"Ogni spinta, istanza, motivazione innovativa si esaurisce e si arresta in una ipotetica e ideale situazione di massimo e totale comfort dei soggetti operatori e utenti. Il disagio, la scomodità, la situazione di svantaggio sono quindi i veri motori dell'innovazione e del cambiamento: chi sta bene non si muove, dice un noto proverbio e un altro, ancora più noto, dice che la necessità aguzza l'ingegno. … É la ricerca del comfort che stimola l'invenzione e l'innovazione conseguente: ma tanto vale essere espliciti e dire che il motore effettivo è il disagio."
L. Matteoli, 2008

PREMESSA ALLA PARTE III

E' il momento delle conclusioni ed è quindi doveroso un riepilogo.

L'idea di uno studio di ricerca e progettazione di una camera di prova all'aperto è maturata anni fa durante lo sviluppo di un progetto di ricerca sugli effetti della ventilazione naturale in ambienti sottotetto, in area Mediterranea. All'inizio della ricerca, vi era la convinzione che effettuare le simulazioni in regime dinamico con strumenti sofisticati e validati dalla comunità scientifica, fosse una strada sufficiente per dare risposte prossime al comportamento reale degli edifici.

Quando però è stato necessario inserire nel progetto nuovi componenti finestrati, il dubbio che la simulazione fosse prossima alla realtà o meno, cominciò a sorgere.

Maturava l'idea che la necessità di testare i nuovi componenti edilizi in regime reale e dinamico fosse una necessità e pertanto si iniziò ad investigare sulle *in situ measurements*.

La crisi del settore edilizio oggi e l'idea ormai matura nei progettisti e nelle imprese di costruzione che la qualità del prodotto edilizio deve fare la differenza, combinate alla ormai consolidata necessità di sostenibilità ambientale in termini di architettura a basso consumo energetico e basso impatto ambientale, rendono il momento propizio per promuovere l'idea di progetto di una camera di prova per nuovi componenti verticali, da installare e quindi testare all'aperto, piuttosto che in un laboratorio controllato.

Il progetto Abitare Mediterraneo sintetizza la necessità manifesta ormai dalle ditte sul territorio Toscano di sviluppare nuovi componenti finalizzati ad una applicazione prevalente in area Mediterranea.

Mediterraneo però non deve essere inteso solo come clima, ma anche come cultura del vivere in ambienti in cui la ventilazione, la luce, il contatto con l'esterno sono di vitale importanza, non solo dal punto di vista del comfort termico.

La test cell quindi esprime la volontà di prendere parte ad un processo di progetto consapevole, di qualità, da parte sia dei centri di ricerca, sia da parte delle industrie.

Il progetto è stato sviluppato cercando di superare le criticità rilevate nei casi studio: è stata concepita come una infrastruttura con la sua attrezzatura atta alla valutazione del comportamento energetico di nuovi componenti di facciata e finalizzata anche allo studio degli effetti della luce naturale negli interni, in regime dinamico, quindi in condizioni di cielo reale.

Il progetto è stato verificato dal punto di vista strutturale con il supporto del Dipartimento di Energetica, per la struttura in acciaio di base, e dal Dipartimento di Strutture per la struttura in legno, entrambi dipartimenti dell'Università degli Studi di Firenze.

Sono state infine effettuate delle simulazioni in regime dinamico tramite software ESP-r e Radiance.

Tramite il primo è stato costruito un modello che rappresenta la test cell, modello che consentirà dopo la messa in opera della test cell, prevista per Luglio 2011, di verificare se il comportamento simulato è rappresentativo della camera di prova ovvero se il software necessita di accorgimenti sugli algoritmi di calcolo.

Il secondo, Radiance, è stato utilizzato per verificare la necessità di una test cell girevole in grado di sperimentare, in condizioni di cielo sereno, gli effetti dei componenti vetrati diversamente orientati.

CAPITOLO III.1 RIEPILOGO SULLO SVOLGIMENTO DELLA RICERCA

III.1.1 AREE SCIENTIFICO-DISCIPLINARI INTERESSATE DALLA RICERCA

La volontà di sviluppare una ricerca sul tema delle camere di prova in condizioni climatiche esterne nasce dall'intenzione di analizzare la recente evoluzione registrata nel settore della progettazione e della produzione di elementi di facciata innovativi, con applicazione di materiali a cambiamento di fase, di nanotecnologie, di aerogels, facciate ventilate, **componenti dei quali non si conosce** spesso **il comportamento termico in condizioni climatiche reali**.

La ricerca si colloca nell'area scientifico disciplinare **DELL'INGEGNERIA CIVILE E ARCHITETTURA**, individuata come *settore di ricerca relativo* non solo agli studi dell'oggetto architettonico, ma anche dei *processi e dei metodi che conducono alla realizzazione dell'edificio*, inteso come insieme di componenti e sistemi. La ricerca è stata intesa come studio dello stato dell'arte necessario a suggerire un approccio in grado di formulare una proposta innovativa sviluppata durante il periodo di elaborazione della ricerca stessa.

III.1.2 SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI INTERESSATI DALLA RICERCA

III.1.2.1 ICAR/12 TECNOLOGIA DELL'ARCHITETTURA

E' il settore scientifico disciplinare che si occupa di approfondire le tematiche legate a teorie, strumenti e metodi rivolti ad un'architettura sperimentale alle diverse scale, fondata sull'evoluzione degli usi insediativi, della concezione costruttiva e ambientale, nonché delle tecniche di trasformazione e manutenzione dell'ambiente costruito.

Nello specifico la ricerca approfondisce lo studio delle outdoor test facilities, la necessità di un progetto innovativo e le esigenze legate alla volontà di volerlo collocare in area Mediterranea.

Sono oggetto di studio della ricerca quindi, test cell intese come strumenti di misura della prestazione energetica dei componenti edilizi, ovvero quelle test facilities che testano i sistemi, ovvero i laboratori all'aperto a puro scopo educativo-dimostrativo.

III.1.2.2 ING-IND/11 FISICA TECNICA AMBIENTALE

E' il settore scientifico disciplinare che si occupa di approfondire gli aspetti fondamentali ed applicativi della termo-fluido-dinamica, della trasmissione del calore, dell'energetica, dell'illuminazione e dell'acustica tanto nell'ambito civile, quanto in quello ambientale e industriale, oltre nella pianificazione territoriale e nell'ambito dell'architettura e del disegno industriale.

In particolare la ricerca si propone di analizzare le prestazioni fisico ambientali delle camere di prova realizzate in condizioni esterne, quindi reali e variabili, integrando la strumentazione necessaria affinché la test cell diventi essa

stessa uno strumento finalizzato alla misura in regime dinamico di nuovi componenti di facciata.

La ricerca è focalizzata sull'Innovazione di Prodotto legata alle tematiche dell' "Ambiente-Energia e Costruzione". Oggi, infatti, il tema della sostenibilità ambientale ed del risparmio energetico, sono diventati settori di ricerca tanto prioritaria quanto trasversale a tutte le aree disciplinari, così come suggerito dalle Direttive del Parlamento Europeo, così come quanto stabilito dalle normative in materia di risparmio energetico emanate dal Parlamento Italiano.

La Direttiva Europea 2010/31/UE sul risparmio energetico degli edifici, richiede dal 2020 che tutti gli edifici di nuova costruzione siano ad energia quasi zero; l'aumento dei costi energetici registrato negli ultimi anni sale in maniera esponenziale vedendo la Cina e l'India come paesi emergenti nei consumi energetici in edilizia; le conseguenti elevate emissioni di CO2: tutto ciò non può lasciare indifferenti ed ha indotto sia la ricerca scientifica che quella industriale ad elaborare nuovi prodotti capaci di contenere il consumo energetico degli edifici e di limitare, conseguentemente, l'impatto ambientale degli stessi durante tutto il loro ciclo di vita.

La ricerca tecnologica nel settore dei componenti che utilizzano materiali innovativi si sta sviluppando ed emerge la necessità di interagire in maniera trasversale con altre discipline, quali l'ingegneria dei materiali, l'ingegneria energetica, la chimica, la fisica ambientale con la finalità di ottenere soluzioni innovative in grado di rispondere alle esigenze di mercato, sempre più consapevole dei problemi energetici ed ambientali e quindi orientato verso prodotti che garantiscano bassi consumi energetici e basso impatto ambientale.

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 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.

III.1.3 BASE DI PARTENZA SCIENTIFICA NAZIONALE E INTERNAZIONALE

Nella fase istruttoria è stata fatta una analisi **sullo stato dell'arte** attraverso l'acquisizione diretta e indiretta delle informazioni relative alle test facilities in Italia e in Europa, valutando le modalità che hanno ad oggi guidato la progettazione e l'esecuzione degli stessi componenti al fine di individuare criticità e punti di forza allo scopo di fornire un progetto innovativo di camera di prova da proporre alla Regione Toscana.

E' stato, inoltre, indispensabile condurre una **ricerca bibliografica** necessaria alla individuazione di una letteratura scientifica esistente sull'argomento con l'obiettivo di comprendere come esso fosse stato sviluppato e quali potessero essere i contatti cui poter far riferimento all'interno della comunità scientifica nazionale ed internazionale.

L'analisi dello stato di fatto è stata sviluppata attraverso la **conoscenza diretta di alcune test facilities**, dove possibile, **ed indiretta**, in maniera tale da valutare le criticità e i punti di forza, oltre alle necessità emergenti dalle direttive Europee e manifestate da diverse industrie di settore.

Il reperimento di informazioni e documenti è avvenuto anche attraverso la **partecipazione a seminari e convegni** dedicati all'argomento, al fine di identificare in tempo reale le novità e i contributi rilevabili sulle emergenti necessità di misure termiche in condizioni dinamiche, reali.

Nella prima parte è stata sintetizzata l'**analisi diretta e indiretta** che è stata sviluppata con riferimento allo stato dell'arte.

Si è cercato di individuare a livello Europeo le normative di riferimento sulla performance energetica degli edifici e sulle specifiche di prodotto dei componenti e di correlarle al tema delle simulazioni in condizioni climatiche esterne.

La necessità delle *in situ measurements* è palesemente esplicitata dalle norme che mirano a ridurre i consumi energetici su edifici esistenti e a progettare nuovi edifici ad energia quasi zero. Il comportamento di un componente soggetto

a condizioni stazionarie esprime la necessità di caratterizzare il componente ma a seconda della fascia climatica in cui lo si mette in opera, il componente non espliciterà le caratteristiche che sono state valutate in regime stazionario.

Si è quindi investigato sull'**area climatica Mediterranea** in modo da individuare l'ambito di interesse e definire le strategie che possono essere mirate ad una progettazione mirata al contenimento dei consumi energetici e in particolare al comfort indoor.

L'architettura del Mediterraneo è stata quindi presa in considerazione ed investigata per definirne le strategie legate alle **costruzioni tradizionali** che hanno fatto emergere edifici tradizionali massivi, con piccole finestre, schermature solari, ventilazione naturale; quindi è stata fatta una riflessione sulla architettura contemporanea che trova nel Mediterraneo spesso una sfida alla ricerca di soluzioni progettuali tecnologiche innovative, talvolta legate alla espressione culturale della civiltà Mediterranea, talvolta in assonanza solo ed esclusivamente alla necessità di manifestare la capacità di sorprendere tecnologicamente, risolvendo le problematiche di **comfort indoor** con l'impiantistica.

L'analisi ha quindi insistito sul le diverse camere di prove e laboratori in scala 1:1 realizzati in vari paesi d'Europa, passando dai progetti finanziati dalla Commissione Europea ai laboratori realizzati da note industrie di settore.

La necessità di **valutazione del comportamento termico** di un nuovo componente in regime dinamico è infatti oggi più di prima sentita per il fatto che l'innovazione tecnologica si esprime oggi con facciate ventilate, con applicazione di PCM, VIP, Nanomaterial technologies, aerogels. Nuovi prodotti quindi il cui comportamento oggi non è spesso del tutto stato investigato in condizioni dinamiche all'aperto.

La ricerca sullo stato dell'arte ha fatto emergere due importanti progetti Europei che hanno negli anni '80 e '90 dato un notevole contributo nel campo delle *in situ measurements*: si tratta dei progetti **PASSYS e PASLINK**.

Numerose test cell sono state realizzate e messe in opera. Operativamente sono emersi notevoli problematiche sulle test cell che erano state concepite per investigare sul comportamento del componente sottoposto a condizioni climatiche esterne e per indagare sul comfort indoor.

Le test cell erano quindi concepite come camere iperisolate, quasi adiabatiche, con una facciata di prova esposta a sud. L'adiabaticità provocava

Le PASSYS hanno quindi rilevato diverse **criticità** legate sia alla struttura delle test cell che alla strumentazione; è quindi stato proposto un progetto di miglioramento delle PASSYS test cell: con PASLINK alcune criticità erano state superate, ma le criticità delle PASSYS non erano emerse tutte contemporaneamente. La costruzione di ciascuna camera di prova risultava molto impegnativa dal punto di vista economico, pertanto si sperava di affidarsi alle industrie che in un periodo di floridità economica fossero in grado di supportare la ricerca. Ma la ricerca scientifica, come dice l'ing. Matteoli, è trainata dalle difficoltà, pertanto le industrie nei periodi floridi non si sono dedicate alla ricerca dell'innovazione.

L'indagine critica sulle test cell è stata guidata dall'esperienza e dalla competenza del Dott. Hans Bloem. Per conto della Commissione Europea, infatti, il Dott. Bloem ha seguito come controllore ed esperto l'evoluzione delle test cell realizzate ad oggi, suggerendo dove cercare le criticità delle camere di prova realizzate nel passato.

Dall'indagine sullo stato dell'arte è emerso che ci sono **diverse tipologie** di strutture in Europa atte, in condizioni climatiche esterne, ad essere utilizzate talvolta per le misure sul singolo componente, talvolta sullo studio dei sistemi costruttivi.

Le prime sono soluzioni che consentono la caratterizzazione termica e igrometrica di un componente in regime dinamico con lo scopo di misurare la trasmittanza termica e il fattore solare, oltre che il comfort indoor e i livelli di illuminamento.

Le seconde, invece, sono soluzioni atte a verificare il comportamento di un sistema di componenti e di impianti, sottoposti a condizioni climatiche esterne: ciò non consente la caratterizzazione di un singolo componente, ma permette di capire il comportamento del sistema.

La prima parte della tesi ha richiesto un **lungo lavoro di ricerca** di materiale, di normative, di casi studio; è stato necessario prendere contatti con svariati centri di ricerca e aziende, o in maniera personale e diretta o per vie telefoniche ed email. La prima parte è solo una sintesi compatta del lavoro svolto, finalizzato alla conoscenza dello stato dell'arte in Europa.

III.1.4 SCAMBI E CONTATTI CON STUDIOSI E ISTITUTI DI RICERCA

Numerosi i contatti e gli scambi di materiale e di opinione con **studiosi e centri di ricerca** su temi appartenenti ai settori scientifico disciplinari di riferimento della tesi di dottorato.

Lo scambio ed i contatti sono stati mirati alla necessità iniziale di acquisire informazioni esaustive sullo stato dell'arte in Europa.

Si è quindi partiti con l'idea di iniziare a contattare direttamente la **Commissione Europea**, ovvero i centri di ricerca sull'energia e l'ambiente che più di altri hanno una visione globale delle problematiche e di come vengono affrontate a livello comunitario.

L'idea di contattare la Commissione Europea nasceva dalla consapevolezza, maturata durante le settimane di valutazione di proposte Europee a Brussels, che valutare le proposte serviva ad ampliare profondamente l'idea sui progetti condotti in Europa e anche nel resto del mondo.

Da lì una serie di contatti in tutta Europa finalizzati:

- Ad acquisire un bagaglio di conoscenza adeguato sul tema delle ***in situ measuremts***;
- Ad investigare lo stato dell'arte sulle ***test facilities*** in Europa, già realizzate;
- Ad acquisire conoscenza diretta delle ultime test cell realizzate con **sopralluoghi** e partecipando attivamente a **convegni e workshop internazionali** di settore per prendere contatti e capire fino in fondo le necessità dell'industria e le potenzialità della ricerca;
- alla realizzare un **progetto innovativo di test cell** per il clima Mediterraneo, all'interno di un più ampio progetto chiamato ABITARE MEDITERRANEO e supportato dalle industrie e dalla Regione Toscana.

In particolar modo, grazie alle conoscenze maturate su progetti di riecrca europei durante i diversi anni condotti all'interno del **Centro ABITA** come assegnista di ricerca e tramite il Prof. Sala, ho preso inizialmente contatti con il Prof. Matheos Santamouris che mi ha indirizzato il BBRI, nelle persone di Peter Wouters e Luk Vandale.

Questi ultimi mi hanno informato dei progetti PASSYS e PASLINK, suggerendomi di contattare il massimo esperto sui temi connessi alle in situ

measurements, e cioè il dott. Hans Bloem, del Join Research Centre di Ispra, centro di ricerca della Commissione Europea.

E ancora i contatti con il Prof. Michael Wilson del Laboratorio LEARN Low Energy Architecture Research Unit della London Metropolitan University con cui ho collaborato sui temi inerenti l'illuminazione naturale; il Prof. Nicol Fergus del LEARN con cui ho collaborato sui temi del comfort adattivo; ed ancora per i casi studio: il dott. Gillet Flamant, del BBRI, Belgio; il dott. Ismo Heimonen del VTT, Finlandia; ing. Francesco Aleo, Enel di Catania; ing. Marcello Antinucci, dell'Agenzia Energetica di Modena; ing. Cosimo Marinosci, dipartimento DIENCA, Università di Bologna; ing. G. Manara, della ditta Permasteelisa; arch. Marco Soravia, di Velux Italia; proff. Marco Imperadori e Gabriele Masera, del Politecnico di Torino; prof. Alessandro Carbonari dell'Università Politecnica delle Marche; ing. Ivan Flores del laboratorio Termica di Vitoria Gasteiz, Spagna; prof. Josè Maria Sala e ing. Aitor Erkoreka dell'Università Politecnica di Bilbao, Spagna; dott. María José Jiménez, del Ciemat, Spagna; dott. William Swan, University of Salford, UK; dott. Honour James, BRE, UK; dott. Igor Husler, del Fraunhofer Institut, Germania; Prof. Paul Stracthan e Jon Hand dell'ESRU, Glasgow, UK; prof. Sean Smith, Edinburg Napier University, UK; dott. Dick van Djik, del TNO, Paesi Bassi; dott. Virginie Renzi, dell'istituto INES, Francia.

Nel periodo relativo alla valutazione delle prestazioni strutturali della test cell è stato necessario avere il supporto scientifico di alcuni dei docenti e dei ricercatori afferenti al Dipartimento di Energetica Sergio Stecco della Facoltà di Ingegneria di Firenze. In particolar modo:

- l'ing. Paolo Giovannetti che hanno effettuato le verifiche sulla struttura d'acciaio;
- il Prof. De Lucia, per la parte relativa alla strumentazione interna ed esterna alla test cell;
- la prof.ssa Carla Balocco, sui software di simulazione in regime dinamico.

Ed ancora è stata necessaria la collaborazione con ingegneria strutturale Università di Firenze, in particolare:

- ing. Andrea Panati, per il pre-dimensionamento e verifica delle strutture in legno;
- Prof. Vannucchi per aver fornito la relazione geologica sul sito di Santa Marta, dove verrà installata la test cell.

CAPITOLO III.2 CONCLUSIONI

Sono stati identificati i r**equisiti prestazionali** di una camera di prova in condizioni climatiche esterne, in area climatica Mediterranea. Il progetto è innovativo rispetto alle prestazioni fornite dalle test cell oggi utilizzate e si tratta di un progetto non fine a se stesso: esso infatti rientra nella definizione degli obiettivi strategici individuati dal Progetto **ABITARE MEDITERRANEO**, progetto condotto dal Dipartimento TAeD, in collaborazione con altri Dipartimenti dell'Università degli Studi di Firenze, e in collaborazione con 12 ditte Toscane.

Il progetto è finanziato dalla Regione Toscana, pertanto la test cell verrà realizzata in Toscana e diverrà un laboratorio di misura termica su componenti innovativi di facciata, sia opachi che trasparenti.

La test cell è stata **verificata** dal punto di vista prestazionale tramite software di simulazione in regime dinamico quali **ESP-r e Radiance**, ed è stata fatta una verifica strutturale della base girevole e della struttura in legno.

E' stata analizzata, individuata, scelta e selezionata, la strumentazione necessaria a rendere la test cell uno strumento di misura in condizioni climatiche esterne.

Sono attualmente in atto le procedure di autorizzazione ad installare la test cell sul sito di Santa Marta, Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Firenze, nonché il bando per l'appalto della realizzazione della test cell.

Le verifiche termiche su ciascun componente sono state effettuate in Termus, così come le verifiche termo igrometriche.

La parte relativa alle verifiche è stata investigata durante la fase progettuale, quindi la ricerca delle soluzioni innovative è stata contestuale alle verifiche effettuate e per questa ragione, il paragrafo relativo alle verifiche è parte integrante della Parte II, relativa cioè al progetto della test cell.

Si vuole sottolineare infatti come oggi il progettista non può più prescindere da una progettazione integrata e trasversale e **le verifiche sono parti integranti del progetto** stesso.

La test cell è uno strumento di misura progettato per rispondere a specifici requisiti prestazionali; la progettazione ha riguardato sia gli aspetti costruttivo-tecnologici che quelli inerenti la strumentazione a corredo della test cell.

La parte II della tesi è stata suddivisa in due capitoli principali: nel primo viene riportato graficamente e commentato il progetto; nel secondo capitolo vengono descritti i software che sono stati utilizzati per validare la test cell e vengono presentati in maniera essenziale i risultati delle simulazioni.

Il progetto tecnologico della test cell è stato condotto di pari passo al progetto energetico, nel senso che il soddisfacimento dei requisiti prestazionali è stato via via verificato durante la progettazione.

Viene presentata la test cell con l'indicazione della localizzazione sul **sito** della Facoltà di Ingegneria, Università degli studi di Firenze; il sito stesso ha precluso la possibilità di posizionare la test cell su una platea di fondazione in calcestruzzo armato e pertanto la progettazione delle fondazioni è stata necessariamente condizionata dai vincoli paesaggistici presenti sullo specifico sito.

E' stata effettuata una **analisi dimensionale** sia della struttura della test cell che della sottofondazione in acciaio; sono stati presi contatti con officine meccaniche in grado di sviluppare la struttura su base rotante.

Dopo avere descritto il progetto della test cell, vengono elencati gli **strumenti** che saranno posti all'interno e all'esterno della test cell: di ciascuno strumento è già stata fatta una verifica delle singole prestazioni e della possibilità di connetterli insieme.

Nel secondo capitolo, vengono descritti alcuni **software di simulazione in regime dinamico** che possono oggi supportare il progettista che cerca risposte in fase progettuale, risposte coordinate sul progetto energetico, illuminotecnico, di ventilazione etc.

Un modello di simulazione della test cell è stato costruito in ESP-r: si tratta di uno strumento realizzato dal dipartimento di Ingegneria meccanica ESRU, Glasgow, dipartimento con il quale sono già stati avviati i contatti per sinergicamente lavorare alla validazione dello strumento software su nuovi componenti edilizi.

Il modello costruito è poi stato esportato in Ecotect, studiato dal punto di vista dell'analisi delle ombre ed infine costruito in Radiance per verificare la necessità di una test cell su base girevole in clima Mediterraneo.

Il progetto della test cell può essere considerato unico solo dal punto di vista della fondazione su travi krinner, per il resto, può essere considerato un valido esempio di test cell per effettuare misure sul comportamento termico di nuovi componenti edilizi da sviluppare in area Mediterranea, ovvero per lo studio della luce naturale in condizioni di cielo sereno.

I risultati in Radiance, infatti, dimostrano che l'orientamento di una facciata trasparente, in condizioni di cielo sereno è un aspetto che non può essere sottovalutato e non è possibile limitare le verifiche sui minimi della luce naturale con riferimento al Fattore di Luce diurna medio, calcolato in condizioni di cielo coperto.

Si tratta di un progetto profondamente innovativo, che supera le criticità delle test cell precedentemente concepite e realizzate, sia dal punto di vista costruttivo che dal punto di vista della strumentazione.

III.2.1 I RISULTATI

La tesi ha raggiunto come obiettivo i seguenti **risultati**:

- fornire un **approfondimento sullo stato dell'arte** in termini di test cell e test facilities in Europa, evidenziando la emergente volontà e necessità di testare nuovi componenti edilizi in condizioni climatiche esterne, a scala reale.
- fornire il **progetto di una test cell per il clima Mediterraneo**, progetto che può essere utilizzato come prototipo per la Regione Toscana ma che possa fungere da esempio anche per altri Paesi o centri di Ricerca Europei.

III.2.2 RILEVANZA SCIENTIFICA

La **rilevanza e l'utilità della ricerca** sono evidenziate:

- Dalla **fattibilità esecutiva** del progetto già finanziato dalla Regione Toscana;
- Dalla capacità di c**oinvolgere portatori d'interesse** normalmente ritenuti *esterni* al mondo scientifico e legati al settore della produzione edilizia;
- Dalla **capacità di testare nuovi e innovativi componenti di facciata** capaci di ridurre il fabbisogno energetico degli edifici e di adeguare le loro prestazioni energetiche a quelle previste dalle normative nazionali e internazionali.

III.2.3 INNOVAZIONE

L'**innovazione** dell'indagine scientifica è data dalla peculiarità del tema trattato con l'obiettivo di definire un nuovo modello progettuale e prestazionale legato alle *test facilities in outdoor conditions*.

La test cell progettata per il clima Mediterraneo intende promuovere innovazione, dando l'opportunità alle aziende del settore edilizio di sperimentare e testare nuovi componenti di facciata in condizioni climatiche esterne, reali, consentendo all'azienda di valutare le opportunità del prodotto in area Mediterranea ovvero di migliorarne alcune prestazioni.

E' quindi uno **strumento innovativo che promuove innovazione tecnologica**.

III.2.4 PROMOZIONE DEL PROGETTO A LIVELLO INTERNAZIONALE

La emergente necessità delle *in situ measurements* su i nuovi componenti è oggi talmente forte che tra ottobre 2010 e maggio 2011 sono stati organizzati ben **tre International Worshops**.

Il primo dal titolo "**Dynamic methods for building Energy assessments**", tenuto a Brussels nei giorni 11-12 Ottobre 2010, organizzato da INIVE e JRC-EC, ha visto la partecipazione attiva di circa 60 persone provenienti da tutta Europa oltre che dalla Cina e USA.

Il secondo da titolo "**Full scale test facilities for evaluation of Energy and hygrothermal performances**", tenuto a Brussels nei giorni 30-31 Marzo 2011,

organizzato da INIVE e IEA; quest'ultimo ha visto la partecipazione attiva di 75 persone provenienti prevalentemente dall'Europa, dal Canada, dal Giappone e il coinvolgimento di numerose aziende produttrici di nuovi componenti di facciata, tra cui Permasteelisa, Knauf, oltre centri di ricerca nazionali e privati quali il VTT, Fraunhofer, BBRI, JRC e altri.

Il workshop si è concluso con un **brainstorming** sulle potenzialità di promozione di progetti di ricerca finanziati dall'Intelligent Energy Agency, allo scopo di realizzare un network di eccellenza Internazionale con protocolli specifici sulla conduzione delle misure in condizioni climatiche esterne.

Il terzo workshop, dal titolo "**Whole building testing, evaluation and modelling for energy assessment**", si terrà a Copenhagen il prossimo 18 e 19 Maggio.

JRC EUROPEAN COMMISSION

Workshop on "Dynamic Methods for Building Energy Assessment".

INIVE

at the CCAB Rue Froissart 36, Brussels 11 - 12 October 2010

The workshop will be jointly organized by the EC - Joint Research Centre and INIVE EEIG. Detailed information about the Workshop, as well as the Registration, is available on the web site: http://www.dynastee.info and http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/

The programme will be organised around three topics in order to address the whole chain from outdoor testing of building components to energy performance assessment of buildings in relation to EU Directives and CEN standards:

Testing: in-situ measurements, laboratory construction product testing, CEN standards
Analysis: dynamic methods, system identification, models, methods and tools
Modelling: wind and solar power forecasting, dynamic demand response

Each of these three topics will be addressed by experts who will present:
Opportunities for **Industry** and commerce: innovative products for the building sector, RE integration
Necessary **Research** areas: buildings of the future, power forecasting, energy demand management
Government and policy programmes: energy efficiency and building performance, energy certification

Tentative Programme (the preliminary programme is available on the fore mentioned web-sites):

Monday 11 October.
Registration 9:00
Opening Session starts 10:00. Workshop until 18:00
Tuesday 12 October.
Workshop session starts 9:00
Conclusive Session 11:30 – 12:30

Date & Duration	11 – 12 October 2010; 1.5 days
Place	CCAB Rue Froissart 36, Brussels, Belgium
Language	English
Participants profile	Experts dealing with calculation methods for energy performance of buildings related to EU Directives (EPBD, ESD) and CEN- standards (policymakers, industry and research sectors).
Registration	Prior registration is required since limited places are available, as detailed on the attached registration form. There is NO participation fee for this workshop. Confirmation of acceptance at the latest by 28 August.
Contact Information	Hans BLOEM European Commission - DG Joint Research Centre Institute for Energy - Renewable Energy Unit E-mail to: hans.bloem@jrc.ec.europa.eu Web site: http://re.jrc.ec.europa.eu/energyefficiency/ Office number: +390332.789 842 / 145

Fig.III.1 Invito al workshop "Dynamic methods for building Energy assessments", cui ho partecipato come speaker, su invito del Dott. Hans Bloem per presentare il progetto di una nuova test cell a Firenze.

Nel primo incontro è emerso l'interesse da parte della comunità Europea e da parte delle industrie di settore sulle in situ measurements. Nel secondo emerge la necessità di dichiarare metodi di misura in condizioni esterne standardizzati sulla base del lavoro già svolto con i progetti PASSYS e PASLINK.

Il progetto della test cell è stato presentato ed è stato particolarmente apprezzato dai partecipanti, che ne hanno visto l'innovazione nel prodotto del progetto della test cell oltre che una opportunità legata al posizionamento della test cell in area Mediterranea.

INIVE

INTERNATIONAL WORKSHOP

FULL SCALE TEST FACILITIES FOR EVALUATION OF ENERGY AND HYGROTHERMAL PERFORMANCES

BBRI offices
Boulevard Poincaré 79, 1060 Brussels

Brussels, Belgium
30-31 March 2011

An initiative of DYNASTEE network and INIVE EEIG

ENBRI

E2B Energy Efficient Buildings

DESCRIPTION OF THE WORKSHOP

Ambitious targets on transforming the building stock into a highly energy efficient and low carbon environment demand also very performing scientific tools for the evaluation of the energy performance of improved building envelopes and construction techniques. Full scale testing becomes –again- more relevant, in combination with dynamic analysis and numerical simulation tools.
Many test facilities of different scale are available at universities, research institutes and industrial R&D departments. New ones are under development. The capabilities of these facilities are not always well known or understood by the building industry and the broader research community. Moreover, a good operation of such facilities is challenging.
For these reasons, the network organizations DYNASTEE (www.dynastee.info) and INIVE (www.inive.org) have taken the initiative to organize a series of workshops on test and assessment methods for building energy performance.
This is a second workshop, focussing on full scale test facilities: Experiences with running such test facilities for the evaluation of the energy performance and hygrothermal characteristics of building components and full buildings will be exchanged and the targets for developing new facilities will be set.
The workshop will be followed by a 1 day brainstorming meeting on a new annex project of the IEA ECBCS (www.ecbcs.org) on *full scale testing, data analysis and modeling* .
A third workshop will be organised in Copenhagen on May 18 and 19, on *Whole Building Testing, Evaluation and Modelling for Energy Assessment.*
For more information about the IEA annex proposal, contact Staf Roels (staf.roels@bwk.kuleuven.be.

VENUE OF THE WORKSHOP

The workshop will take place in the offices of the Belgian Building Research Institute (CSTC-WTCB) Boulevard Poincaré 79, 1060 Brussels. It is within walking distance of Brussels South train station.

LANGUAGE

The workshop will be held in English. No translation is foreseen.

FEE

The workshop fee is 302.50 € (or 250 €, but only if you have a VAT number). This fee includes participation to the workshop, documentation, lunch on March 30, walking dinner (on 30/03 evening) and coffee breaks.

REGISTRATION

Participants should enrol by returning the registration form and pay the registration fee before March 20, 2011.

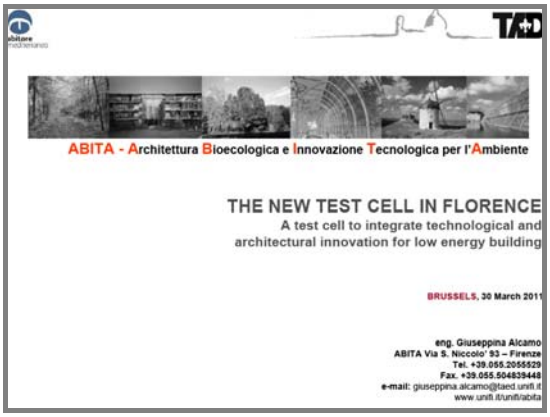
SECRETARIAT

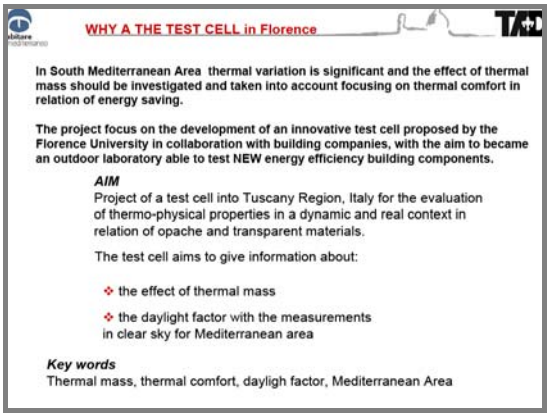
For any information, please contact Stéphane Degauquier at INIVE EEIG (Belgian Building Research Institute - BBRI):
Avenue P. Holoffe 21, B-1342 Limelette, Belgium
☎+32.2.655.77.11 - +32.2.653.07.29
e-mail: sd@bbri.be

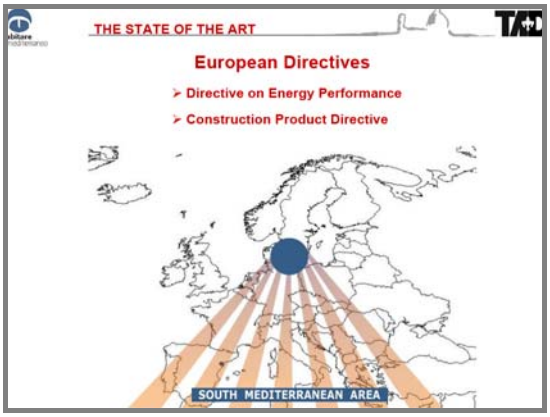
SPONSORING

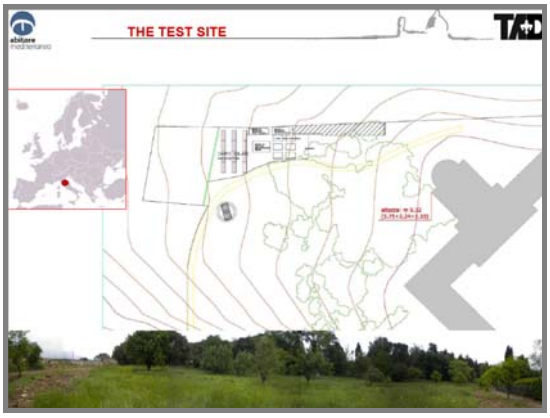
The organization of the workshop is financially sponsored by KNAUF Insulation (www.knaufinsulation.com) and Permasteelisa Group (www.permasteelisa.com). ENBRI (www.enbri.org) and E2B (www.e2b-ei.eu) are also supporting this workshop.
The workshop is also supported by the Technological Support for Sustainable Building and Sustainable Development in the Brussels Capital Region (www.bbri.be\go\td-duurzaambouwen)".

Fig.III.2 Invito al workshop "Full scale test facilities for evaluation of Energy and hygrothermal performances", cui ho partecipato come speaker, su invito del Dott. Hans Bloem per presentare il progetto di una nuova test cell a Firenze in relazione al progetto ABITARE MEDITERRANEO.

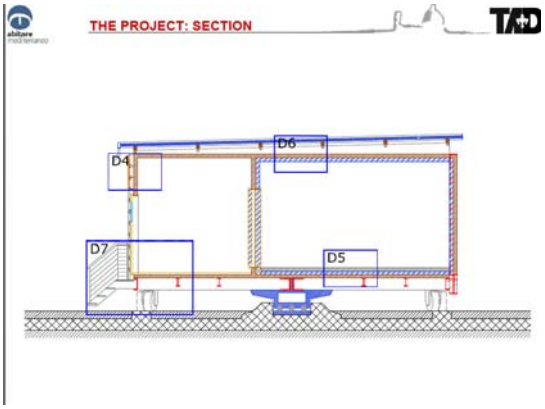


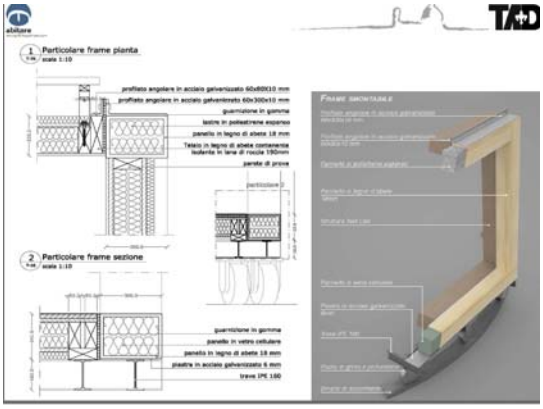






Figg.III.3, 4, 5, 6, 7, 8. Presentazione al Workshop Internazionale "Full scale test facilities for evaluation of Energy and hygrothermal performances".





Figg.III.9, 10, 11, 12. Alcune slides presentate a Brussels sul progetto della test cell.

CAPITOLO III.3 DESTINATARI E FUTURO DELLA RICERCA

Targets
RESEARCHERS
BUILDING ENTERPRICES

III.3.1 DESTINATARI PRIVILEGIATI E SPENDIBILITÀ DELLA RICERCA

I destinatari privilegiati della ricerca sono:

- Il **personale tecnico scientifico** che opera all'interno del settore scientifico di riferimento, che potrà acquisire la ricerca per approfondirla e svilupparla successivamente in relazione agli aspetti insoluti, con particolare riferimento alle procedure standardizzate di misura in condizioni climatiche esterne;
- I portatori d'interesse provenienti dal **settore industriale**, in particolar modo le aziende che si occupano di sviluppare e quindi testare nuovi componenti di facciata.

I risultati della ricerca potranno essere divulgati sia in ambito scientifico che nel settore tecnico-operativo di riferimento attraverso conferenze, giornate di studio e pubblicazioni, in modo da promuovere la conoscenza sulle potenzialità che offre la test cell sulla definizione delle prestazioni energetiche di componenti in regime dinamico.

III.3.2 POSSIBILI SVILUPPI FUTURI DELLA RICERCA

La ricerca scientifica sul tema delle test cell e delle in situ measurements non si esaurisce con la presente tesi di dottorato.

Emerge infatti la necessità di investigare sulle **procedure relative alle misure da condurre in situ**: tramite alcuni progetti promossi dalla Commissione Europea, sono ad oggi stati standardizzati ma non ancora definiti a livello direttivo due tipi di misure da condurre sui componenti di facciata:

- **IQ-test**: viene proposto per stimare la trasmittanza termica e il fattore solare dei componenti finestrati;
- **Round Robin Test**: proposto all'ultimo convegno internazionale a Brussels, come procedura per le misure sui componenti opachi.

E' infatti emersa a livello internazionale la necessità di standardizzare le prove condotte in esterno attraverso procedure ben precise, replicabili in tutti i siti. I metodi suddetti, applicati in passato alle PASLINK test cell, saranno utilizzati per condurre le prove tramite la test cell di Firenze, ma c'è la volontà espressa dalla comunità scientifica Internazionale di far sì che queste procedure già esplicitate dal WG12, diventino standard Internazionali.

La ricerca ha suscitato l'interesse del **settore industriale che ha partecipato alla ricerca Abitare Mediterraneo e da parte delle industrie che hanno attivamente partecipato ai convegni specifici internazionali; essi hanno infatti** dimostrato il consenso a partecipare a futuri programmi di sperimentazione per lo sviluppo e l'applicazione di nuovi componenti di facciata progettati per rispondere alle esigenze del clima del Mediterraneo e da testare tramite test cell.

Non appena realizzata e collaudata, potrà testare il comportamento termico e igrometrico delle due seguenti soluzioni di facciata:

- **Shading Screen, su progetto elaborato durante la tesi di dottorato** dell'Arch. Milagros Villalta, Università degli Studi di Firenze, XXI ciclo.
- **Sistema Domino, su progetto elaborato durante la tesi di dottorato** dell'Arch. Rosa Romano, Università degli Studi di Firenze, XXII ciclo.

Rappresenta l'**inizio** di un percorso indirizzato alla realizzazione di camere di prova all'aperto presso l'Università degli Studi di Firenze, con l'intenzione di ampliare il sito, possibilmente con una futura test cell su due livelli, per lo studio di sistemi.

La test cell è **destinata sia ai ricercatori che alle industrie**: oggi l'innovazione tecnologica non può essere condotta senza la sinergia di entrambi i settori, e la test cell destinata ad entrambi, esprime pienamente la necessità di una ricerca orientata all'innovazione e per l'innovazione tecnologica.

La **realizzazione della test cell** consentirà all'Università degli Studi di Firenze di entrare a far parte del DYNASTEE Network: si tratta di un network cui hanno ad oggi aderito numerosi centri di ricerca che conducono sperimentazione su componenti di edifici, in condizioni climatiche esterne. Il network consente

scambi di opinioni, di materiale, possibilità di interfacciarsi con studiosi del settore, consente di partecipare a progetti congiunti della Commissione Europea e proporre iniziative per l'Intelligent Energy Agency.

Si prospettano numerose, impegnative e proficue **collaborazioni di ricerca a livello internazionale**; per esempio il Ciemat, laboratorio termico in Spagna, ha già manifestato interesse nei risultati delle prove su componenti di facciata trasparenti, prove in condizioni di cielo sereno, oltre che sui componenti opachi, in modo da potere confrontare i risultati effettuati con IQ-test e Round Robin Test sugli altri siti aderenti al DYNASTEE.

Molti **progetti comunitari** tra cui il 7 Programma Quadro, promuovono innovazione di prodotto che deve essere verificata in condizioni reali, quindi il test site di Firenze con la test cell, congiunto con il laboratorio di fisica tecnica ambientale, con quello strutturale e quello di acustica, potranno configurarsi come potenziale **sito in area Mediterranea in grado di stimare il comportamento energetico di un componente edilizio a scala reale**, entrando a far parte di numerosi progetti di ricerca

PARTE IV. APPARATI

IV.1 BIBLIOGRAFIA GENERALE

AA. VV., *Architectures for a sustainable planet. Zaragoza Kioto*, Spain's Sociedad Estatal para Exposiciones Internacionales (SEEI), Saragozza, 2008

AA.VV., *L'Italia si trasforma + Qualità – Energia,*BE-ma Editrice, Milano,2008

AA. VV., *Manuale di progettazione edilizia. Fondamenti, strumenti, norme. Volume 2. criteri ambientali e impianti*, Editore Ulrico HOEPLI, Milano, 1998

AA. VV., *Manuale pratico di edilizia sostenibile*, Esselibri, Napoli, 2008

AA. VV., *Ove Arup & partners*, Arup, London, 1994

ALAGNA A., *Tecnologie per le forme dell'architettura contemporanea. I sistemi di chiusura: qualità ed efficienza energetica*, Alinea, Firenze, 2007

ATKIN B., *Intelligent Buildings: applications of IT and Building Automation to High Technology Construction Projects*, Kogan Page, 1988

BARTOLI B., *Sostenibile dalla A alla Z* **,** ESSE Sistemi Editoriali, Pozzuoli (NA), 2008

BEHLING ST., BEHLING SO., *Sol Power, La evolucion de la architectura sostenibile*, Editorial Gustavo Gili, Barcellona 2002

BRUNO S., *Manuale di bioarchitettura. Bioedilizia e fonti alternative di energia rinnovabile,* Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2009

BUTERA, F.M., *Architettura e ambiente*, Milano, ETASLIBRI, 1995

CAMPIOLI A., *Il contesto del progetto. Il costruire contemporaneo tra sperimentalismo high-tech e diffusione delle tecnologie industriali*, FrancoAngeli, Milano, 1993

CAPASSO A., *Architettura e leggerezza*, Maggioli, Rimini, 1998

CASTELLI L. (a cura di), *Architettura sostenibile*, UTET Scienze Tecniche, Torino, 2008

CECCHERINI NELLI L., D'AUDINO E., TROMBADORE A., *Schermature solari*, Alinea, Firenze, 2007

CETICA P. A., *L'architettura dei muri intelligenti***,** Angelo Pontecorboli Editore, Firenze, 2004

CLAUDI DE SAINT MIHIEL A., *Superfici mutevoli. Tecnologie innovative per involucri trasparenti a prestazioni variabili*, Clean, Napoli, 2007

DAVOLI P. M., *Architettura senza impianti. Aspetti bioclimatici dell'architettura preindustriale*, Alinea Editrice, Firenze,1993

DEL NORD R., FELLI P., TORRICELLI M.C., *Materiali e Tecnologie dell'Architettura*, Laterza, Bari, 2005

DE PASCALIS S., *Progettazione Bioclimatica*, Dario Flaccovio Editore s.r.l, Palermo 2005

GALLO P. (a cura di), *Recupero edilizio e bioclimatico. Strumenti, tecniche e casi studio*, Gruppo Editoriali Esselibri – Simone, Napoli, 2010

GASPARI J., *Innovazione tecnologica e sostenibilità nelle costruzioni,* Edicom Edizioni, Monfalcone (Go), 2008

GANGEMI V. (a cura di), *Emergenza ambiente: teorie e sperimentazioni della progettazione ambientale*, Napoli, Clean edizioni, 2001

GONZALO R., HABERMANN, K. J, *Energy-efficient architecture. Basics for planning and construction*, Birkhauser, Basel – Boston – Berlin, 2006

HALLIDAY S., *Green Guide to the Architect's Job Book***,** RIBA Publication, London, UK, 2007

JONES D. L., HUDSON, J., *Architecture and the environment. Bioclimatic building design*, Laurence King Publishing, London, 1998

KEELER M., BURKE B., *Fundamentals of Integrated Design for Sustainable Building,* Ed. John Wiley & Son, Hoboken, USA, 2009

KLICZKOWSKI H., *Guggenheim. Bilbao*, Onlybook S.L., Madrid, 2003

LATTANZI V., *Certificazione energetica degli edifici. Progettazione e guida all'applicazione della legislazione e della normativa*, Legislazione Tecnica Editrice S.r.l., Roma, 2009

LECUYER A. *EFTE. Technology and Design*, Birkhauser Verlag AG, Basel, Boston, Berlin, 2008

LOSASSO M., *Progetto e innovazione. Nuovi scenari per la costruzione e la sostenibilità del progetto architettonico*, CLEAN Edizioni, Napoli, 2005

MARKUS T.A., MORRIS E.N., *Buildings, Climate and energy*, Pitman, London, 1980

NARDI G., *Tecnologia dell'architettura e industrializzazione nell'edilizia*, Franco Angeli, Milano, 1982

NARDI G., CAMPIOLI A., MANGIAROTTI A., *Frammenti di coscienza tecnica. Tecniche esecutive e cultura del costruire*, Franco Angeli, Milano, 1994

PAWLEY M., *Norman Foster. Architettura globale*, (traduzione di F. Peracchini e M. Gioni), Rizzoli, Milano, 1999

PIANO R., *Giornale di bordo,* Passigli Editori, Firenze, 2007

RICHARZ C., SCHULZ C., ZEITLER F., *Energy-Efficiency Upgrades Energy: principles, details, examples,* Detail – Birkhauser, Monaco, 2007

SALA M., a cura di, *I percorsi della progettazione per la sostenibilità ambientale*, Alinea editrice, Firenze, 2004

ROGERS R., *Cities for a small placet*, Faber and Faber, London, 1997

de SANTOLI L., *La gestione energetica degli edifici,* Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2010

SCHITTICH C., a cura di, *Solar architecture: strategies, visions, concepts,* Birkhäuser Edition Detail, Basilea, 2003

SCHULTZ D., *Global Creative Architecture*, Liaoning Science and Technology Press, Singapore, 2008

SLESSOR, C., *Sustainable Architecture and High Technology*, Thames and Hudson, Londra, 1997

TSCHUMI B., *Architecture and Disjunction*, MIT press, Cambridge Mass., 1996

SZIGETI F., Davis G., *Performance Based Building: Conceptual Framework*, CIBdf, The Netherlands, 2005

TRAVI V., *Advanced Technologies*, Birkhauser, Basilea 2001

WIENKLE U., *Manuale di Bioedilizia*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma, 2004

IV.2 BIBLIOGRAFIA SPECIFICA

AA. VV., *Implementation of the Energy Performance of Buildings Directive. Country reports 2008*, EPBD, Brussels, 2008

AA. VV., *Libro bianco "Energia-ambiente- Edificio",* Edizione il sole 24 ore, Milano, 2004

AA. VV, *Rapporto Energia e Ambiente 2008. Analisi e Scenari,* ENEA, Roma, Settembre 2009

AA. VV, *Rapporto Energia e Ambiente. Analisi e Scenari 2009,* ENEA, Roma, Novembre 2010

AGHEMO C., AZZOLINO C., *Illuminazione naturale: metodi ed esempi di calcolo,* Celid, Torino 1995

ANDER G. D., *Daylighting performance and design,* Ed. John Wiley & Son, Hoboken, USA, 2003, 2nd Edition

ALCAMO G. (a cura di) , Illuminazione naturale e simulazioni energetiche, Alinea, Firenze, 2007

ALLARD F., SANTAMOURIS M., *Natural ventilation in buildings. A design handbook*, Ed. James & James, London, UK, 1998

BANHAM R., *The Architecture of the Well – Tempered Environment*, Architectural Press, Londra, 1969

BBRI, *Source book for a better understanding of conceptual and operational aspects of active facades*, Department of Building Physics, Indoor Climate and Building Service, Belgian Building Research Institute, 2002

BLOEM J.J., *Report on support to CEN TC89/WG8. Update of ISO 9869 to EN12494 "in-situ measurement of the thermal resistance and thermal transmittance"*, PASLINK EEIG, 1995

BLOEM J. J., *System Identification competition,* Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1996

BROWN G. Z., DeKay M., *Sun, Wind & Light. Architectural Design Strategies*, Ed. John Wiley & Son, Hoboken, USA, 2001, 2nd Edition

BUTERA F. M., *Dalla caverna alla casa ecologica. Storia del comfort e dell'energia*, Edizioni Ambiente srl, Milano, 2004

CASCELLA P. (a cura di), *Bioclimatica nell'antichità e al giorno d'oggi,* Chandra Editrice, Roma, 2008

CATURANO U., (a cura di), *Le tecnologie dei materiali tra progetto e innovazione*, Franco Angeli, Milano, 1996

CHAMPAGNE C., *Computational fluid dynamics and double skin facades, Assignment for the architectural Engineering Computer Labs*, Pennsylvania State Institute, USA, 2002

CIRIBINI G., *Tecnologia e progetto*, Celid, Torino, 1984

CLAYTON D., CHATA A., *Building Automation Systems Worldwide Outlook*, ARC Advisory Group

COMPAGNO A., *Intelligent Glass Façades - Material, Pratice, Design*, Arthemis Verlags – AG, Basilea, 1995

COPPA A., *Facciate a secco*, Federico Motta Editore, Milano 2006

DALL'Ò G., GAMBERALE M., SILVESTRINI G., *Manuale della certificazione energetica degli edifici. Norme, procedure e strategie d'intervento*, Edizioni Ambiente srl, Milano, 2008

ENERGY RESEARCH GROUP, *Clime, nature and architecture*, James and James, Londra 1994

FANGER P.O., *Thermal comfort*, Mc Graw Hill Book Company, New York, 1972

FILIPPI M., *L'involucro edilizio: passivo, attivo o ibrido?, da Progettare l'involucro edilizio: correlazioni tra il sistema edificio ed i sistemi impiantistici*, Aicarr, 2001

FLAMANT G., HEIJMANS N., GUIOT E., *Determination of the energy performances of ventilated double facades by the use of simulation integrating the control aspects. Modelling aspects and assessment of the applicability of several simulation software*, Belgian Building Research Institute, 2004

FONTOYNONT M. (a cura di), *Daylight Performance of Buildings***,** James & James, London, UK, 1999

FRANCO G., *L'involucro edilizio. Guida alla progettazione e manutenzione delle chiusure verticali portanti e portate*, EPC LIBRI, Roma, 2003

INTELLYGENT ENERGY AGENCY, *Le prospettive tecnologiche nell'energia,* OECD/IEA 2010

GIVONI B., *Man, climate and architecture*, Applied Sciences Publisher, London, 1971

GROSSO M., *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato*, Maggioli Editore, 2008

HAUSLADEN G., DE SALDANHA M., LIEDL P., SAGER C., *ClimateDesign: Solutions for Buildings that Can Do More with Less Technology,* Hardcover, 2005

HEGGER M., FUCHS M., STARK T., ZEUMER M., *Atlante della sostenibilità e della efficienza energetica degli edifici*, UTET, 2008

HUIZENGA C., ZHANG H., MATTELAER P., YU T., ARENS E., LYONS P., *Window performance for human thermal comfort,* Final Report To The National Fenestration Rating Council, University Of California, Berkeley, February 2006

KALTENBACH F. A cura di, *Trasparenze, vetri, plastiche e metalli,* UTET Scienze Tecniche, Torino, 2007

KOSTER H.*, Dynamic daylighting architecture. Basics, systems*, *project, Birkhauser*, Basel – Boston – Berlin, 2004

LAVAGNA M.*, Sostenibilità e Risparmio energetico, soluzioni tecniche per involucri eco-efficienti*, Clup, Milano, 2006

LONCOUR X., DENEYER A., BLASCO M., FLAMANT G., WOUTERS P., Ventilated *Double Facades. Classification and illustration of façade concepts*, Belgian Building Research Institute, 2004

LIBESKIND D., *Between the lines*, Prestelm, Munich, 1991

MAGRINI A., CATTANI L., *Prestazioni energetiche degli edifici residenziali. Esempi di calcolo secondo la norma UNI TS 11300*, EPC Libri, Roma, 2009

MASERA G., *Residenze e Risparmio energetico*, Edizioni Il Sole 24 Ore, Milano 2004

NASTRI M., *La costruzione dell'architettura. Strumenti e procedure operative per l'elaborazione del tecnica del progetto*, Franco Angeli, Milano, 2009

OLGYAY, V.r, *Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, Franco Muzzio Editore, Padova, 1981

POIRAZIS H., *Double Skin facades for office buildings, Division of Energy and Building Design*, Department of Costruction and Architecture, Lund Institute of Technology, Lund University, 2004

ROULET C.A., *Ventilation and airflow in buildings. Methods for diagnosis and evaluation*, Ed. Earthscan Ltd., London, UK, 2007

READ, *European Charter for Solar Energy in Architecture and Urban Planning*, Berlino, Marzo 1996

ROGORA A., *Architettura e bioclimatica. La rappresentanza dell'energia nel progetto*, ESSE Sistemi Editoriali, Pozzuoli (NA), 2003

SCHITTICH C., a cura di, *Involucri edilizi. Progetti, strati funzionali, materiali*., Detail Birkhauser, Monaco – Basilea, 2003

SMITH P.F., *Building for a Changing Climate. The Challenge for Construction, Planning and Energy,* Ed. Earthscan Ltd., London, UK, 2009

STEC, W., A.H.C. *Integration of the double skin facades with the building, energy in built environment, energy technology*, TU Delft, Delft, the Neterlands, 2000

VANDALE L., WOUTERS P., *The PASSYS Services: summary report*, European Commission, BBRI, Belgium, 1994

VENTURI R., *Iconography and electronics upon a generic architecture. A wiew from the drafting room*, MIT press, Boston, 1997

WIENKLE U., *Aria Calore Luce. Il comfort ambientale negli edifici*, DEI Tipografia del Genio Civile, Roma, 2005

WIGGINTON M., HARRIS J., *Intelligent Skyns*, Architectural Press, Oxford, 2002

WOUTERS P., *Stimulating increased energy efficiency and better building ventilation*, INIVE, Brussels, 2010

IV.3 ARTICOLI SU RIVISTE

AGHENO C., *I problemi del tutto vetro*, in Modulo n. 281, Maggio 2002

BALLARE' S., *Architetture di vetro e metallo*, in Modulo n. 270, Aprile 2001

BEGUINOT C., *L'architettura è intelligente se è capace di (inter)connettere*, in Telèma 15, inverno 1998/1999

BEHLING S., FUCHS A., VOLZ T., *Architettura solare- Ricerca e sviluppo,* in Detail 6, 2007

BIANCHI R., *Tecnologie e sistemi in chiave energetica*, in Modulo n. 345, Ottobre 2008

BRIVIO S. F., *Dispositivi Schermanti,* in Arketipo n. 33, Maggio 2009

CONATO F., *La tecno-architettura delle facciate*, in Modulo n°303, Luglio-Agosto 2004

DAVIES M., *A Wall for all Seasons*, RIBA Journal, Vol. 88, n. 2, February, 1981.

GIBERTI, M., *Pelle come involucro. Pelle come interfaccia*, in Materia n. 55, Involucri, settembre 2007

GILES H., HEE KIM K., *Transparent façade panel typologies based on hybrid Bio-composite and recyclable polymer materials,* ARCC Journal, Maggio 2007

IMPERADORI M., *Inerzia termica senza massa?*, Frames in 143, novembre - dicembre 2009

KOOLHAAS R., *Alla ricerca del nuovo modernismo*, in Domus, n. 800, 1998

LATORRE C., *La finestra? Bella, multifunzionale e hi-tech*, in Case e Clima n.15, ottobre 2008

MANCINI R., *Progettare l'involucro*, in Materia 55, Involucri, Settembre 2007

MARTELLOSIO S., *Valutare il sistema vetrocamera*, in Casa e Clima n. 21, ottobre 2009

NARDI G., *La cultura dell'innovazione*, in l'Almanacco dei materiali dell'architettura, supplemento all'Arca, n. 100, 1994

PERCOCO M., *Alterazioni di trasparenza*, in Materia n. 56, Dicembre 2007

PRATI A., *Energia…integrata*, in Modulo n. 345, Ottobre 2008

ROGERS R., *Pensare e costruire per parti*, In Domus n. 754, 1993

SERRA V., D'ADDERIO L., FILIPPI A, *Trasparenza variabile*, in Modulo n. 205, ottobre 1994

VAN UFFELEN C., *Materiali per l'architettura contemporanea. Vetro*, Motta Architettura Editore, 2009

HAND J., *THE ESP-r COOKBOOK. Exercises for Deploying Virtual Representations,* Energy Systems Research Unit, Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde, Glasgow, UK, 2008

IV.4 TESI DI DOTTORATO

MANZOTTI S., *Materiali dell'architettura: Metamorfosi, Trasformazioni e Interazioni*, Dottorato di Ricerca in Tecnologia XVIII Ciclo, Università degli Studi di Firenze

ROMANO R., *SMART SKIN ENVELOPE. INTEGRAZIONE ARCHITETTONICA DI TECNOLOGIE DINAMICHE E INNOVATIVE PER IL RISPARMIO ENERGETICO,* Dottorato di Ricerca in Tecnologia XXII Ciclo, Università degli Studi di Firenze

ROSSI M., *Prodotti e sistemi di involucro innovativi per il progetto di edifici energeticamente efficienti. Procedure, simulazioni termodinamiche e criteri progettuali per un applicazione nel Sud Europa,* Dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura XXI Ciclo, Università degli Studi di Napoli "Federico II".

SAELENS D., *Energy performance assessment of single storey multiple-skin facades,* Katholieke Universiteit Leuven, Faculteit Toegepaste Wetenschappen, Departement Burgerlijke Bouwkunde, Laboratorium Bouwfysica, Kasteelpark Arenberg 51, B-3001 Leuven, Settembre 2002

VILLALTA M., *L'EFFICIENZA ENERGETICA DELL'INVOLUCRO EDILIZIO ASSEMBLATO A SECCO PER CLIMI CALDO – UMIDI. Criteri di progettazione, tecnologie e sistemi costruttivi*, Dottorato di Ricerca in Tecnologia XXI Ciclo, Università degli Studi di Firenze

IV.5 ARTICOLI

ALCAMO G., MURGIA S., SALA M., *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.

AVELLANEDA J., GONZALEZ J.M., CARBONNEL A., D. LÓPEZ, *A sustainable technical system for ventilated façades,* Portugal SB07. Sustainable Construction, Materials and Practices: Challenge of the Industry for the New Millennium. Lisbona: IOS Press, Vol. 1, 2007

BAKER P.H., van Dijk H.A.L., *PASLINK and dynamic outdoor testing of building components*, Science Direct, Building and Environment 43 (2008) 143–151

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

B. BAROZZI, L. DANZA, R. LOLLINI. I. MERONI, M. ORLANDI, *Valutazione delle prestazioni di un sistema di involucro dinamico*, atti del seminario "Ricerca e innovazione nel settore costruzioni", PTIC Piattaforma tecnologica delle costruzioni – seminario, 3 maggio 2007, Bologna, pp. 60 – 65

BLOOMFIELD D., *BRE house empirical validation study*. Report v2-bre18a, BRE, Watford, UK, 1999.

BROTAS L., WILSON M., The average total daylight factor, XII National Conference on Lighting, Bulgaria, Ligth's 2007.

CARDOSO D., MICHAUD D., SASS L., *Soft Façade: Steps into the Definition of a Responsive ETFE Façade for High-rise Buildings, eCAADe 25* FH Wiesbaden and FH Frankfurt, Settembre 2007

DE BARTOLOMEIS W. L., *Edifici sensoriali e adattivi: prodotti, processi e materiali industriali al servizio dell'architettura*, in La produzione industrial eco-orientata, a cura di Antonio Passaro, Atti del Convegno Abitare Verde 2007, Luciano Editore, Napoli, 2007

DOEBBER I., MCCLINTOCK M., *Analysis Process For Designing Double Skin Facades And Associated Case Study,* Proceedings of SimBuild 2006, held at MIT in Cambridge, Mass., August 2-4, 2006

CLAUDI DE SAINT MIHIEL A., *Interattività degli involucri edilizi trasparenti e prestazioni di benessere ambientale*, in La produzione industrial eco-orientata, a cura di Antonio Passaro, Atti del Convegno Abitare Verde 2007, Luciano Editore, Napoli, 2007

DI PERNA C., STAZI F., URSINI CASALENA A., STAZI A., Massa e comfort: necessità di una adeguata capacità termica areica interna periodica, L'Industria dei Laterizi, n. 110, 2008

EICKER U., FUXA V., BAUER U., MEI L., INFIELD D., *Facades and summer performance of buildings,* Energy and Buildings 40, 2008, 600–611

FIORITO F., FUZIO G., *L'involucro edilizio. Evoluzione della progettazione e del processo realizzativi*, Atti del convegno "Involucro edilizio. Innovazione e sostenibilità", Bari 24 Aprile 2004

FLAMANT G., LONCOUR X., WOUTERS P., *Performance Assessment of active Facedes in Outdoor Test Cells*, AIVC 23rd conference - EPIC 2002 AIVC (in conjunction with 3rd European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings) - 23-26 October 2002 - Lyon - France - vol 2

GRATIA E., DE HERDE A., *Are energy consumptions decreased with the addition of a double-skin?,* Energy and Buildings, Volume 39, Issue 5, May 2007, Pages 605-619

JIME´NEZ M.J., MADSEN H., *Models for describing the thermal characteristics of building components,* Science Direct, Building and Environment 43 (2008) 152–162

HAASE M., AMATO A., *Ventilated façade design in hot and humid* climate, PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006

HENSEN J., BARTAK M., DRKAL F., *Modeling and Simulation of a Double-Skin Façade System,* in ASHRAE Transactions, Vol 108, Part 2., 2002

HOLMES M., PILGRIM M., *Natfac: a simple Tool for the comparison of options for a double skin façade*, Facade design and procurement - 2003

HUMPHREYS M. A., NICOL J. F., *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, 1995

HUMPHREYS M. A., NICOL J., *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, 2000

IMPERATORI M., MASERA G., IANNACCONE G., DELL'ORO D., *Improving energy efficiency through artificial inertia: the use of Phase Change Materials in light, internal components*, PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture. Geneva, Switzerland, 6-8 September 2006.

IMPERATORI M., *Phase Change materials in concrete building elements: performances characterization*, Atti del XXX IAHS World Congress on Housing, Coimbra, Settembre 2002.

IMPERATORI M., *Materiali a cambiamento di fase per l'incremento dell'inerzia termica nelle costruzioni leggere, atti del convegno costruire l'architettura: i materiali, i componenti, le tecniche*, Luciano Editore, Napoli, Ottobre 2001.

KRAGH M., *Monitoring of Advanced Facades and Environmental Systems,* The whole-life performance of facades University of Bath, CWCT, Bath, UK, 18/19 April 2001.

KOKOGIANNAKIS G., Strachan P., *Modelling of double ventilated Façades according ti CEN Standard 13790, method and detail simulation*, 2nd PALENC Conference and 28 th AIVC Conference on Building Low Energy cooling and Advanced Ventilation Technologies in the 21st Century, September 2007, Crete Island, Greece

OJALA H., HEIMONEN I., *Glass and Fenestration Varying Daylighting: Test Series in PASLINK Test Chamber*, GLASS PROCESSING DAYS, 2003.

PRINCIPI P. , DI PERNA C., CARBONARI A., *Experimental analyses of the thermal behaviour of an underfloor latent heat storage system,* World Congress on Housing Transforming Housing Environments through Design, September 27-30, 2005, Pretoria, South Africa

ROSSI M.*, Metodologie di sviluppo e di valutazione nella produzione industriale di sistemi di involucro ad alta efficienza energetica*, in La produzione industrial eco-orientata, a cura di Antonio Passaro, Atti del Convegno Abitare Verde 2007, Luciano Editore, Napoli, 2007

SAELENS D., CARMELIET J., AND HENS H., *Energy Performance Assessment of Multiple Skin Facades*, International Journal of HVAC&R Research., vol. 9, nr. 2, pp.167-186, 2003

SEDLÁK J., MRÁČEK P*., Simulation of the double facade in the Brno Metropolitan library,* Dynastee 2005 Scientific Conference, 12-14 October, Athens, Greece, 2005

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

STRACHAN P.A., *Simulation support for performance assessment of building components,* Science Direct, Building and Environment 43 (2008) 228-236

STRACHAN P.A., VANDALE L., *Case studies of outdoor testing and analysis of building component*, Science Direct, Building and Environment 43 (2008) 129–142

TORCELLINI P., PLESS S., DERU M., *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition,* Proceedings of the 2006 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, August 13-18, 2006 in Pacific Grove, California

VANDALE L., WOUTERS P., *The PASSYS services: summary report*, European Commission Publication No. EUR 15113 EN, 1994.

WANG X., ZHANG Y., XIAO W., ZENG R., ZHANG Q.., DI H., Review on thermal performance of phase change energy storage building envelope, Chinese Science Bullettin, 2009

WHITE A., HOLMES M., *Advanced Simulation Applications Using Room,* Building Simulation conference , 2009

IV.6 RIFERIMENTI SITOGRAFICI

www.abitaremediterraneo.eu
www.arup.com
www.bath.ac.uk/cwct/cladding_org/home.htm
www.bbri.be
www.bcj.com
www.building_integrated.it
http://buildingskins.blogspot.com/
www.bre.co.uk/
http://bt.mit.edu/
www.cbe.berkeley.edu/index.htm
http://cba.mit.edu/events/07.05.energy
www.chrisbosse.com
http://cic.nist.gov
www.cibworld.nl/website
www.civil.uwaterloo.ca/BEG/
www.climalit.it
www.cnr.it/
www.coltgroup.com
www.cstb.fr
www.cwct.co.uk
www.ecobuilding-club.net/
www.ecobuild-project.org
www.ectp.org
http://eetd.lbl.gov
www.energy.soton.ac.uk
www.facciateventilate.it
http://gaia.lbl.gov/hpbf/main.html
www.glasstec-online.com
www.greenarch.hku.hk
www.greenpix.org
http://grbes.phys.uoa.gr
www.jourda-architectes.com
www.ibuilding.gr/definitions.html
www.velux.it
www.windowmaster.com
http://windows.lbl.gov/
www.intelligentbuildings.com/
www.ltlarchitects.com
www.Iuav.it/homepage/artec
www.icrepq.com/
www.intendesign.com/
www.learn.londonmet.ac.uk
www.lbl.gov
www.materia.nl
http://web.mit.edu
www.matech.it
www.materialconnexion.com
www.materioteca.com
www.metraarchitettura.it
www.myglaverbel.com
http://nceub.org.uk
www.nfrc.org/
www.pcmproducts.net
www.paramodern.com
www.pebbu.nl
www.permasteelisa.com
www.pilkington.com
www.powerfilmsolar.com
www.saint-gobain-glass.com
www.schueco.it
www.sgp-architects.com
www.sharp.it
www.smart-eco.eu
www.squintopera.com
www.schwarz-architektur.ch/
www.tech.plym.ac.uk
www.uncsaal.it
www.univ-lr.fr/labo/leptab
www.upc.es/aie
http://unfccc.int/resource/docs/con

IV.7 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Direttiva Europea 2010/31/UE del 19 maggio 2010
sulla prestazione energetica nell'edilizia

Direttiva Europea 2006/32/CE del 5 aprile 2006
relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE.

Direttiva Europea 2002/91/CE del 16 dicembre 2002
sul rendimento energetico nell'edilizia

Direttiva Europea 2001/77/CE del 27 settembre 2001
sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità

Direttiva Europea 89/106/CEE del 21 dicembre 1988
Ravvicinamento delle disposizioni legislative, regolamentari e amministrative degli Stati membri concernenti i prodotti da costruzione

Direttiva Europea 93/76/CEE del 13 settembre 1993
intesa a limitare le emissioni di biossido di carbonio migliorando l'efficienza energetica (SAVE)

Legge 373/76
Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici.

Legge 10/91
Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia

D.lgs. 192/2005
Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia

D.lgs. 311/2006
Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia

D. M. del 5 luglio 1975

Modificazioni alle istruzioni ministeriali 20 giugno 1896 relativamente all'altezza minima ed ai requisiti igienico sanitari principali dei locali d'abitazione

D. M. 26 giugno 2009
Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici

D. P. R. 2 aprile 2009 n. 59
Regolamento che definisce le metodologie di calcolo e i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici, emanato in attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del Dlgs 192/2005

D.P.C.M. 5 dicembre 97
Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici

Risoluzione del Parlamento Europeo del 31 gennaio 2008 su un Piano d'azione per l'efficienza energetica: concretizzare le potenzialità.

UNI 8369-2:1987, Edilizia. Pareti perimetrali verticali. Classificazione e terminologia.

UNI 7959: 1988
Edilizia. Pareti perimetrali verticali. Analisi dei requisiti.

UNI 8290-1:1981 + A122:1983, Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia. 01/09/1981

UNI 8290-2:1983, Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti, 30/06/1983

UNI 7357:1974+A101:1983+A83:1979+A3:1989, Calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento di edifici, 01/12/1974

UNI EN 832:2001, Prestazione termica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento - Edifici residenziali, 30/06/2001

UNI 10349:1994, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.

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

UNI EN ISO 7345:1999, Isolamento termico - Grandezze fisiche e definizioni, 31/07/1999

UNI EN ISO 9288:2000, Isolamento termico - Scambio termico per radiazione - Grandezze fisiche e definizioni, 2000

UNI EN ISO 10211-1:1998, Ponti termici in edilizia – Flussi termici e temperature superficiali – Metodi generali di calcolo, 31/12/1998

UNI EN ISO 10211-2:2003, Ponti termici in edilizia - Calcolo dei flussi termici e delle temperature superficiali – Ponti termici lineari, 01/05/2003

UNI 10351:1994, Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore, 31/03/1994

UNI EN ISO 9251:1998, Isolamento termico - Condizioni di scambio termico e proprietà dei materiali - Vocabolario, 31/12/1998

UNI 10375:1995, Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti, 30/06/1995

UNI 10379:2005, Riscaldamento degli edifici - Fabbisogno energetico convenzionale normalizzato, 01/07/2005

UNI EN ISO 13788:2003, Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia – Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale - Metodo di calcolo, 01/06/2003

UNI EN ISO 13789:2001, Prestazione termica degli edifici - Coefficiente di perdita di calore per trasmissione - Metodo di calcolo, 31/03/2001

UNI EN ISO 13790:2005, Prestazione termica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento, 01/04/05

UNI 9983:1992, Rivestimenti dell'alluminio e sue leghe. Verniciatura. Requisiti e metodi di prova

UNI 10681:1998, Alluminio e leghe di alluminio - Caratteristiche generali degli strati di ossido anodico per uso decorativo e protettivo

UNI EN ISO 10077-1:2002, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - Calcolo della trasmittanza termica - Metodo semplificato

UNI EN ISO 10077-1:2007, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Parte 1: Generalità

UNI EN ISO 10077-2:2004, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - Calcolo della trasmittanza termica - Metodo numerico per i tela

UNI EN 12412-2:2004, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure - Determinazione della trasmittanza termica con il metodo della camera calda - Telai

UNI 4522:1966, Rivestimenti per ossidazione anodica dell' alluminio e delle sue leghe. Classificazione, caratteristiche e collaudo

UNI 4522:1966, Rivestimenti metallici. Metodi di prova per rivestimenti elettrolitici di argento e di leghe di argento. Determinazione dello spessore del rivestimento.

UNI 4522:1966, Rivestimenti metallici. Metodi di prova per rivestimenti elettrolitici d' argento e di leghe d' argento. Prove di aderenza

UNI 4522:1966, Rivestimenti metallici. Metodi di prova per rivestimenti elettrolitici di argento e di leghe di argento. Determinazione della presenza di sali residui

UNI EN 12207:2000, Finestre e porte - Permeabilità all'aria - Classificazione

UNI EN 1026:2001, Finestre e porte - Permeabilità all'aria - Metodo di prova

UNI EN 12208:2000, Finestre e porte - Tenuta all'acqua - Classificazione

UNI EN 1027:2001, Finestre e porte - Tenuta all'acqua - Metodo di prova

UNI EN 12210:2000, Finestre e porte - Resistenza al carico del vento - Classificazione

UNI EN 12211:2000, Finestre e porte - Resistenza al carico del vento - Metodo di prova.

UNI 3952:1998, Alluminio e leghe di alluminio - Serramenti di alluminio e sue leghe per edilizia - Norme per la scelta, l'impiego ed il collaudo dei materiali

UNI EN 14501:2006, Tende e chiusure oscuranti - Benessere termico e visivo - Caratteristiche prestazionali e classificazione

UNI EN 12179:2002 Facciate continue – Resistenza al carico del vento – Metodo di prova

UNI EN 123116:2002, Facciate continue - Resistenza al carico del vento – Requisiti prestazionali

UNI EN 949:2000 Finestre e facciate continue, porte e chiusure oscuranti – Determinazione della resistenza delle porte all'urto con corpo molle e pesante

UNI EN 14019:2004 Facciate continue – Resistenza all'urto – Requisiti prestazionali

UNI 7172: 1987, Vetri piani. Vetri stratificati per edilizia ed arredamento.

UNI 9186: 1987, Vetri piani. Vetri stratificati per edilizia e arredamento con prestazioni antivandalismo e anticrimine

UNI 9187: 1987, Vetri piani. Vetri stratificati per l' edilizia e arredamento con prestazioni antiproiettile

UNI EN ISO 140 - 3 : 2006, Acustica. Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio. Misurazione in laboratorio dell'isolamento acustico per via aerea di elementi di edificio

UNI EN ISO 140 - 5 : 2000, Acustica - Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Misurazioni in opera dell'isolamento acustico per via aerea degli elementi di facciata e delle facciate

UNI ISO 140-10 Acustica – Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio – Misurazioni di Laboratorio dell'isolamento per via aerea di piccoli elementi di edificio.

UNI EN ISO 140-16:2006, Acustica - Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 16: Misurazione in laboratorio dell'incremento del potere fonoisolante mediante rivestimento addizionale

UNI EN ISO 140-18:2007, Acustica - Misurazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 18: Misurazione in laboratorio del rumore generato da pioggia battente su elementi di edificio

UNI EN ISO 717 – 1:2007, Acustica - Valutazione dell'isolamento acustico in edifici e di elementi di edificio - Parte 1: Isolamento acustico per via aerea

UNI 11018:2003, Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione - Rivestimenti lapidei e ceramici

UNI EN 13363 - 01:2008, Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate - Calcolo della trasmittanza solare e luminosa - Parte 1: Metodo semplificato

UNI EN 13363 - 02:2008, Dispositivi di protezione solare in combinazione con vetrate - Calcolo della trasmittanza solare e luminosa - Parte 2: Metodo di calcolo dettagliato

UNI 410:2000, Vetro per edilizia - Determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate

UNI EN 13947:2007,
Prestazione termica delle facciate continue - Calcolo della trasmittanza termica

UNI EN ISO 6946:2008, Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo

UNI EN 673:2005, Vetro per edilizia - Determinazione della trasmittanza termica (valore U) - Metodo di calcolo

UNI EN 674:1999, Vetro per edilizia - Determinazione della trasmittanza termica (valore U) - Metodo della piastra calda con anello di guardia

UNI EN 675:1999, Vetro per edilizia - Determinazione della trasmittanza termica (valore U) - Metodo dei termoflussimetri

UNI EN ISO 12567-1:2006, Isolamento termico di finestre e porte - Determinazione della trasmittanza termica con il metodo della camera calda - Finestre e porte complete

UNI 10344:1993, Riscaldamento degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia

UNI EN 12464-1:2004 – Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni.