



Ricerca di Sistema elettrico

Parametri fisico-tecnici delle specie vegetali
utilizzate per la realizzazione di tetti e pareti
verdi nelle regioni mediterranee, per la
realizzazione di un data-base specifico da
utilizzare in programmi di simulazione
energetica degli edifici

Fabio Fantozzi, Carlo Bibbiani, Caterina Gargari

PARAMETRI FISICO-TECNICI DELLE SPECIE VEGETALI UTILIZZATE PER LA REALIZZAZIONE DI TETTI E PARETI VERDI NELLE REGIONI MEDITERRANEE, PER LA REALIZZAZIONE DI UN DATA-BASE SPECIFICO DA UTILIZZARE IN PROGRAMMI DI SIMULAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

Fabio Fantozzi (DESTEC, Università di Pisa), Carlo Bibbiani (DSV, Università di Pisa), Caterina Gargari (Collaborazione esterna Università di Pisa)

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2013

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico

Obiettivo: Sviluppo di e caratterizzazione di schermature solari ad elevato contenuto tecnologico

Responsabile del Progetto: Gaetano Fasano, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *“Validazione di modelli di simulazione semplificati per il bilancio energetico dei fabbricati dotati di coltri vegetali”*

Responsabile scientifico ENEA: Carlo Alberto Campiotti

Responsabile scientifico Università di Pisa: Fabio Fantozzi

Indice

SOMMARIO.....	4
2 LA MODELLAZIONE DEL COMPORTAMENTO ENERGETICO ATTRAVERSO IL SOFTWARE ENERGY PLUS.....	5
2.1 IL SOFTWARE ENERGYPLUS.....	5
2.2 IL MODULO ENERGY PLUS ROOFVEGETATION	5
2.3 IDENTIFICAZIONE DEI PARAMETRI FISICO TECNICI DEL SISTEMA TETTO-VERDE	7
2.4 LA SIMULAZIONE DEL COMPORTAMENTO DI UNA PARETE VERDE.....	11
3 IL DATABASE CLIMATICO.....	12
4 IL CASO STUDIO: EDIFICIO MULTIPIANO PER EDILIZIA RESIDENZIALE	15
4.1 IL MODELLO GEOMETRICO – GOOGLE SKETCHUP.....	19
4.2 IL MODELLO ENERGETICO – OPENSTUDIO.....	20
4.3 LA CONFIGURAZIONE DEI PARAMETRI SPECIFICI DELLA COPERTURA A VERDE.....	21
4.4 LA CONFIGURAZIONE DEI PARAMETRI SPECIFICI DELLA PARETE VERDE	22
5 CONCLUSIONI.....	22
6 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	24
7 ALLEGATO A - SCHEDE TECNICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO	25
8 ALLEGATO B – PROFILO CLIMATICO DELLE LOCALITA’ DI ANALISI.....	37
9 CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO IMPEGNATO NELL’ATTIVITÀ.....	41

Sommario

Il presente lavoro di ricerca si basa sulla applicazione del modulo RoofVegetation e RoofIrrigation, sviluppati all'interno di un progetto di implementazione dei modelli di calcolo per il software EnergyPlus. Il modulo consente di simulare con sufficiente attuabilità il complesso sistema di scambio termico che avviene all'interno di un sistema vegetale tenendo conto dei meccanismi di infiltrazione, evaporazione e traspirazione legati alla presenza di umidità nel substrato. L'applicazione del Modulo richiede la disponibilità di informazioni dettagliate sulle caratteristiche delle specie vegetali impiantate nel substrato, necessarie all'algoritmo di calcolo per elaborare i processi di scambio di calore tenendo conto della diversa natura delle piante utilizzate. E' stato raccolto un database delle specie vegetali più comuni generalmente impiegate per la realizzazione di tetti e pareti verdi e sono stati identificati i parametri più significativi come richiesti dal modulo di EnergyPlus.

E' stato altresì costruito un database climatico per tre zone climatiche distinte caratterizzanti lo scenario meteorologico nazionale, utilizzando banche dati esistenti ed implementando i dati disponibili, ove non completi, con dati specifici raccolti dalle stazioni meteorologiche, con particolare riferimento ai dati sulla piovosità media mensile. E' stato scelto un edificio tipo quale base per la progettazione, sono stati definiti i sistemi costruttivi degli elementi di involucro nonché i pacchetti del tetto verde (in tre configurazioni alternative) e della parete verde.

E' stato realizzato, attraverso il software open source Google SketchUp, il modello geometrico tridimensionale impiegato per la simulazione con il software EnergyPlus.

1 La modellazione del comportamento energetico attraverso il software Energy Plus

1.1 Il software EnergyPlus

La maggior parte dei software di simulazione del comportamento dinamico degli edifici, disponibili a scala globale, impiegano tutt'oggi metodi di calcolo e codici sviluppati negli anni 60 all'interno di due dei principali programmi del governo USA dedicati allo sviluppo di software di simulazione del comportamento orario degli edifici, BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) e DOE-2.

Con l'obiettivo di ottimizzare e implementare i due modelli, e tenendo conto dei più recenti sviluppi delle tecnologie costruttive e dei materiali e dei sempre più stringenti requisiti prestazionali richiesti a livello normativo, nel 1996, l'agenzia federale U.S. ha lanciato il progetto per la creazione di un nuovo software di simulazione EnergyPlus, sviluppato a partire dalle esperienze dei due precedenti, con l'obiettivo di introdurre nuove caratteristiche di modellazione della simulazione e di caratterizzazione del modello descrittivo dell'edificio. La prima versione di EnergyPlus è stata rilasciata dal U.S. Dept. Of Energy nel 2001.

EnergyPlus è un programma di analisi energetica e di simulazione dei carichi termici di un edificio descritto a cura dell'utente attraverso le sue caratteristiche fisico-geometriche, le specifiche fisico-tecniche dei materiali e dei componenti che ne costituiscono l'involucro e gli altri elementi costruttivi, nonché i sistemi meccanici ed impiantistici che ne definiscono il funzionamento.

EnergyPlus è in grado di calcolare i carichi di riscaldamento e raffrescamento necessari per mantenere i livelli di comfort impostati attraverso la modellazione di un sistema HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning , ovvero Riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria) e conseguentemente i consumi energetici associati al funzionamento di tali impianti.

EnergyPlus è in grado di modellare i flussi di riscaldamento, raffrescamento, illuminazione, ventilazione e altri flussi energetici significativi, calcolati per zone termiche distinte per le quali è possibile definire diversi requisiti di comfort e programmare diversi modelli orari di funzionamento dei sistemi impiantistici presenti.

Nella sua ultima versione (8.1.0) il software EnergyPlus è in grado di:

- Valutare simultaneamente il comportamento integrato del sistema edificio (involucro esterno) e dell'impianto HVAC utilizzando intervalli di simulazione variabili e inferiori all'ora ove necessario
- Elaborare soluzioni di bilancio termico in regime transitorio
- Valutare il comfort degli occupanti attraverso equazioni variabili di benessere termo-igrometrico
- Verifica del comportamento igrometrico dell'edificio tramite il modello EMPD (Effective Moisture Penetration Depth Model)
- Valutazione del comportamento energetico di sistemi solari attivi e passivi (pannelli fotovoltaici, muro di trombe, serra solare)
- Analisi del comportamento termo-igrometrico di tetti verdi
- stima, calcolo e controllo delle emissioni inquinanti legate al funzionamento degli impianti
- Analisi degli effetti della radiazione solare incidente sulle superfici d'involucro opache e trasparenti in relazione alle caratteristiche specifiche dei materiali e con simulazione degli effetti schermati dovuti ad aggetti od ostacoli presenti nei dintorni dell'edificio.
- Analisi dei livelli di illuminazione interna degli ambienti

1.2 Il modulo Energy Plus RoofVegetation

Il tetto verde è noto storicamente per la propria capacità di provvedere all'isolamento termico dell'ambiente interno, in climi freddi, nonché di limitare il surriscaldamento dovuto all'irraggiamento solare diretto delle superfici di copertura, nei climi caldi. Come testimoniato da M. Santamouris [1], numerosi sono stati negli ultimi anni gli sforzi della ricerca scientifica orientati a definire in termini non più esclusivamente qualitativi, il contributo all'efficienza energetica degli edifici e al comfort degli ambienti interni, apportato dalle tecnologie "green" quali tetti e pareti verdi. Simulazioni su modelli matematici e su modelli reali hanno consentito di calcolare, attraverso parametri quantitativi, il comportamento di tali elementi di involucro, evidenziando il contributo alla prestazione termica di isolamento e inerzia offerta

tanto dagli strati materiali quanto dagli stati vegetali e dalla interazione di entrambi con i parametri climatici di irraggiamento ma, soprattutto, di umidità e piovosità.

Il passo successivo della ricerca è stato quello di integrare tali modelli di calcolo matematico nei più avanzati software di simulazione del comportamento energetico degli edifici in modo da valutare il contributo del tetto/parete verde, alla prestazione globale dell'edificio espressa in termini di riduzione del flusso di calore e riduzione del surriscaldamento interno, e conseguentemente, riduzione della spesa energetica annuale.

Il modulo Green Roof introdotto in EnergyPlus nel 2007 costituisce un modello di simulazione in grado di controllare diversi parametri caratteristici di una copertura verde, quali l'indice di superficie fogliare LAI (Leaf Area Index) ossia il rapporto della proiezione dell'area della superficie fogliare rispetto alla superficie complessiva del suolo di copertura.

Il modello EnergyPlus è in grado di simulare:

- Gli scambi radiativi a onde lunghe e corte al di sotto della copertura delle piante
- Gli effetti della copertura verde sugli scambi convettivi
- L'evapotraspirazione dal suolo e dalle piante
- La conduzione e accumulo di calore nello stato di terreno

La possibilità di simulare le proprietà termiche legate alla concentrazione di umidità non è ancora stata implementata, ma è in corso di sviluppo.

La simulazione richiede l'inserimento come dato di input delle caratteristiche del materiale nel Modulo RoofVegetation.

L'utente può in seguito specificare diversi aspetti della copertura verde inclusi la profondità di radicazione, le proprietà termiche, la densità di copertura fogliare, l'altezza delle piante, la conduttanza stomatica e le condizioni di umidità del suolo, inclusa l'irrigazione.

Il modulo di calcolo considera un indice di radiazione solare differenziato per onde lunghe e corte, tanto sul suolo quanto sulla superficie fogliare, gli effetti della evapotraspirazione, la conduzione e lo stoccaggio del calore nel suolo e gli scambi per convezione tra la calotta verde e il suolo.

Il modulo consente anche di parametrizzare gli indici di piovosità e i programmi di irrigazione, tracciando la variazione giornaliera e stagionale del contenuto di umidità nel suolo.

Il modulo è inoltre in grado di prevedere il ruscellamento delle acque meteoriche e i flussi di calore sensibile e latente dalla copertura nell'atmosfera urbana. [2]

Il modello di calcolo include:

- bilancio semplificato dell'umidità che considera precipitazioni, irrigazione e trasporto dell'umidità tra i due livelli di suolo (superficie e area radicata)
- bilancio energetico della superficie fogliare basata sul modello vegetativo FASST

Le equazioni di temperatura del suolo T_g e della superficie fogliare T_f sono risolte contemporaneamente per ogni istante calcolato, invertendo numericamente il sistema CTF (Conduction Transfer Functions) per estrarre le informazioni sul flusso di calore necessarie al calcolo del bilancio energetico.

Il risultato finale è costituito da un sistema di due equazioni di temperatura, una per la superficie del suolo, una per la superficie fogliare.

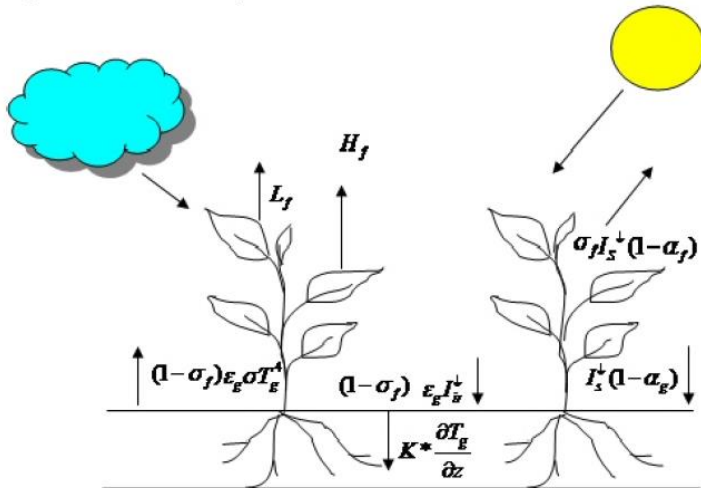


Figura 1. Bilancio energetico di un tetto verde - la convenzione assume che i flussi siano positivi quando l'energia è assorbita dallo strato

La formula di calcolo del bilancio energetico della superficie fogliare è :

$$F_f = \sigma_f \left[I_s^{\downarrow} (1 - \alpha_f) + \varepsilon_f I_{ir}^{\downarrow} - \varepsilon_f \sigma T_f^4 \right] + \frac{\sigma_f \varepsilon_g \varepsilon_f \sigma}{\varepsilon_1} (T_g^4 - T_f^4) + H_f + L_f$$

Oltre al trasferimento del calore sensibile e al flusso di calore convettivo, questa equazione considera sia le radiazioni a onda lunga assorbite dalla vegetazione e gli effetti della riflessione multipla.

Il bilancio energetico dello strato di suolo è primariamente influenzato dalle proprietà termo-fisiche del terreno, dalla superficie ombreggiata dalle foglie, dalla quantità di umidità contenuta nel terreno. Se la superficie è densamente ombreggiata, l'oscillazione diurna della temperatura T° è minima. Infatti, il calore rilasciato o accumulato a causa del cambiamento di fase dell'acqua contenuta nel terreno, il flusso di precipitazione del calore e il flusso di calore dovuto al trasporto in verticale dell'acqua nel terreno sono trascurabili.

La formula di calcolo del bilancio energetico del suolo è:

$$F_g = (1 - \sigma_f) \left[I_s^{\downarrow} (1 - \alpha_g) + \varepsilon_g I_{ir}^{\downarrow} - \varepsilon_g T_g^4 \right] - \frac{\sigma_f \varepsilon_g \varepsilon_f \sigma}{\varepsilon_1} (T_g^4 - T_f^4) + H_g + L_g + K * \frac{\partial T_g}{\partial z}$$

1.3 Identificazione dei parametri fisico tecnici del sistema tetto-verde











La complessità del sistema di calcolo integrato nel modulo tetto verde richiede all'utente di specificare un numero significativo dei parametri utili a descrivere dettagliatamente il sistema costruttivo del tetto verde. Il modulo RoofVegetation, è relativo al solo substrato di suolo, ultimo componente del pacchetto di copertura generalmente costituito anche da strati drenanti, isolanti e antiradice e che sono modellati, in EnergyPlus, nelle schede descrittive "Materials".

I dati minimi di input richiesti dal software sono riportati brevemente di seguito.









Altezza delle piante (m): altezza degli elementi vegetali oltre la superficie del suolo

LAI Leaf Area Index: area in proiezione della superficie fogliare per unità di superficie. Campo variabile da $0.001 < LAI < 5.0$

Per quanto riguarda il valore di LAI di alcune delle specie più utilizzate nella realizzazione di tetti/pareti verdi, si riporta di seguito una tabella¹ esplicativa di alcuni valori medi utilizzabili quale riferimento in assenza di dati specifici.

Descrizione della specie vegetale	Leaf Area Index (LAI) medio	Immagine
"fiori bianchi, lycoris radiata "	3.07	
"fiori rosa"	4.95	
"Fogliame verde-giallo"	3.75	
"Foglie verde scuro a grandi lamine"	5.82	
"Fiori rossi/rosati"	2.44	
"siepi"	6.59	
"arbusti della famiglia delle aregaceae"	4.41	
"fiori bianchi con pistillo giallo"	3.21	
"foglie giallo-verdi piccole"	4.08	
"Grandi foglie allungate"	5.28	

¹ Chen Yu, "The intervention of plants in the conflicts between buildings and climate - A case study in Singapore", Tesi di Dottorato, for the degree of doctor of philosophy, Department of building, National University of Singapore, 2006

Descrizione della specie vegetale	Leaf Area Index (LAI) medio	Immagine
"Orange stems and leaves for those which are taller"	2.15	
"No special features"	3.32	
"Light green edges with dark green center leaf blades"	5.83	
"Red yellow tulip like flowers"	3.04	
"Large red leaves"	2.33	
"Dark green leaf blades"	~0	
Tree	1.69	
Palm tree	2.37	

Riflettività dello strato fogliare: frazione della radiazione solare incidente che è riflessa dalla singola superficie fogliare (albedo). La radiazione solare include lo spettro del visibile, dell'infrarosso e dell'ultravioletto. Il Valore è variabile da 0.005 a 0.5. Valori tipici sono compresi tra 0.18 e 0.25. Valore di default 0.22.

Emissività dello strato fogliare: rapporto tra la radiazione solare emessa dalla superficie fogliare e quella ideale emessa da un corpo nero alla medesima temperatura. Questo parametro viene utilizzato per il calcolo dello scambio radiativo ad onda lunga sulla superficie fogliare. I valori variano tra 0.8 e 1. Valore di default: 0.95

Resistenza Stomatica Minima (s/m): resistenza delle piante alla diffusione di umidità. Piante con valori bassi di resistenza stomatale assicurano una alta evapotraspirazione . Il valore è variabile tra 50 e 300. Valore di Default. 180

Conduttività termica (W/mK): conduttività termica del substrato di suolo a secco

Calore specifico (J/KgK): calore specifico dello strato di suolo a secco

Densità (kg/m³): densità dello strato di suolo a secco

Assorbanza termica superficiale: frazione della radiazione incidente ad onda lunga assorbita dal materiale. Questo parametro viene utilizzato nel calcolo dello scambio radiativo e condiziona il flusso termico superficiale. Per scambi radiativi ad onde lunghe, l'emissività termica e l'emittanza termica equivalgono alla assorbanza termica. Il valore è variabile tra 0 e 1. Valore di Default 0.9-0.98

Assorbanza solare: frazione della radiazione solare incidente assorbita dal materiale. La radiazione solare comprende lo spettro del visibile, l'infrarosso e l'ultravioletto. Questo parametro viene utilizzato per calcolare la quantità di radiazione solare incidente assorbita dalle diverse superfici e condiziona il bilancio energetico di dette superfici. Se disponibile anche il dato sulla riflessività solare, il valore dell'assorbanza è pari alla differenza tra 1 e il valore della riflettanza (per materiali opachi). Il valore è variabile tra 0.0 e 1.0. Valori tipici sono compresi tra 0.6 e 0.85

Assorbimento nel visibile: frazione della radiazione solare incidente nel solo spettro del visibile assorbita dal materiale. Questo parametro viene utilizzato per calcolare la quantità di radiazione solare nello spettro del visibile incidente assorbita dalle diverse superfici e condiziona il bilancio energetico di dette superfici nonché i livelli di illuminazione naturale. Se disponibile anche il dato sulla riflettanza solare nello spettro del visibile, il valore dell'assorbimento è pari alla differenza tra 1 e il valore della riflettanza (per materiali opachi). Il valore è variabile tra 0.5 e 1.0.

Contenuto volumetrico di umidità a saturazione nel substrato: contenuto massimo di umidità a saturazione presente nel substrato di suolo. Valori tipici sono compresi tra 0.3 e 0.5. Valore di default 0.3.

Contenuto volumetrico residuo di umidità nel substrato: contenuto minimo di umidità presente nel substrato di suolo. Valori tipici sono compresi tra 0.01 e 0.1. Valore di default 0.01.

Contenuto volumetrico iniziale di umidità nel substrato: contenuto iniziale di umidità presente nel substrato di suolo. Valori tipici sono compresi tra 0.05 e 0.5. Valore di default 0.1.

Modello di calcolo della diffusione dell'umidità nel suolo: il software EnergyPlus consente di scegliere tra due modelli di calcolo distinti

- *Semplice:* prevede una diffusione costante dell'umidità nel substrato di suolo. Il modello di calcolo prevede una iniziale scomposizione del suolo in due strati. Ad ogni istante di calcolo, il modello considera la quantità di umidità presente in entrambi gli strati e ridistribuisce, in proporzione costante, nello strato con umidità minore, la quota parte di umidità in eccesso presente nello strato con umidità maggiore.
- *Avanzato:* per utilizzare il modello di calcolo Avanzato, è necessario incrementare il numero di intervalli temporali di calcolo. Il valore suggerito è 20. Il modello di trasporto dell'umidità si basa sul metodo della differenza finita per suddividere il suolo in strati distinti (nodi) L'umidità è ridistribuita nei diversi nodi secondo il modello di calcolo descritto da *M. G. Schaap and M. Th. van Genuchten, 2006* [3].

Il modello di calcolo della diffusione dell'umidità sopra descritto, in entrambe le versioni semplice e avanzato, si basa sulle informazioni relative alla piovosità oraria estratte dal file climatico utilizzato per la simulazione. Nel caso il database climatico non contenga informazioni specifiche sui dati di piovosità, o nel caso in cui il sistema tecnico del tetto verde preveda una irrigazione manuale automatica, annuale o programmata solo in alcuni periodi specifici dell'anno, il software EnergyPlus consente di dettagliare il funzionamento dell'impianto di irrigazione attraverso una schedulazione della durata (in termini di ore al giorno) e intensità (m/h) dell'irrigazione artificiale.

Il modulo *RoofIrrigation* può infatti essere impiegato per descrivere la quantità di irrigazione fornita alla superficie del tetto verde durante il periodo della simulazione. Il modulo prevede due modelli di irrigazione tra cui scegliere:

- *Programmato:* impiegato per forzare l'irrigazione indipendentemente dal livello di umidità contenuta nel substrato
- *Programmato intelligente:* per interrompere l'irrigazione programmata nel caso in cui, il contenuto di umidità del substrato raggiunga un livello di saturazione superiore al 40%. (Tale valore di saturazione può essere modificato attraverso il campo: *Soglia massima di saturazione*)

1.4 La simulazione del comportamento di una parete verde

Il manuale tecnico a corredo del software EnergyPlus [5], specifica che il modulo *RoofVegetation* è stato sviluppato e validato specificatamente per superfici esterne e bassa inclinazione. L'uso di tale modulo non è pertanto raccomandato per la simulazione del comportamento di superfici verdi ad alta inclinazione (es. Pareti verticali), non solo per l'assenza di uno strato significativo di suolo ma soprattutto per il diverso meccanismo di scambio di calore. Tuttavia, il modulo consente con una certa approssimazione di simulare il comportamento di pareti verticali verdi sebbene i risultati di tale simulazione non siano stati validati dagli sviluppatori. Di fatto, nei due casi deve essere fatta adeguata distinzione tra i modelli di irrigazione eventualmente presenti, dal momento che le pareti verticali non sono in grado di trattenere la medesima quantità d'acqua delle coperture. Ad oggi, nonostante numerosi studi atti a definire un modello matematico rappresentativo del comportamento reale delle pareti verdi [6]-[7]-[8], non sono stati pubblicati modelli validati in grado di simulare l'effetto della presenza di diverse tipologie di elementi vegetali sulle facciate verticali o di valutare l'incidenza di diverse configurazioni (orientamento, clima, proprietà della parete) sul comportamento dell'elemento verde. Susurova et. al [9] hanno messo a punto nel 2013 l'ultimo e più avanzato modello di calcolo che considera i processi fisiologici all'interno delle piante, inclusa l'evapotraspirazione e lo scambio termico di tipo radiativo e convettivo tra lo strato vegetale, la facciata, l'ambiente circostante e il terreno, utilizzando quali input i dati caratteristici dello strato vegetale (assorbanza delle foglie, dimensione delle foglie, LAI, coefficiente di attenuazione della radiazione, conduttanza stomatica) e i dati meteorologici della località.

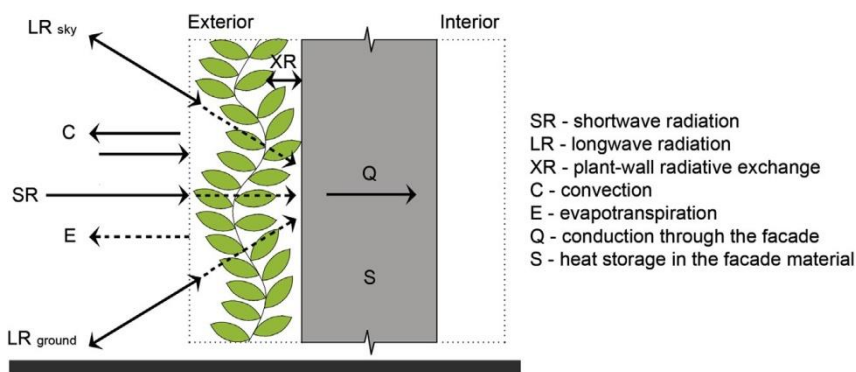


Figura 2. Il bilancio energetico di una parete verde

Nonostante il modello matematico sviluppato da Susurova et. Al sia stato validato attraverso la realizzazione di un modello reale presso il Campus dell'Illinois Institute of Technology sul quale sono state eseguite le rilevazioni e misurazioni in opera, tale modulo, o altri similari, non è stato ad oggi implementato in EnergyPlus e il software risulta essere quindi non adatto a simulare dettagliatamente il comportamento delle pareti verdi.

Al contrario, il software TRNSYS ha recentemente implementato i risultati di uno studio condotto da Djedjig et al. [10] che supera alcune ipotesi limitanti degli studi precedenti, generalmente fondati su un modello semi-stazionario di trasferimento del calore e trascurano gli effetti sul flusso termico del movimento dell'acqua. Il nuovo modello di calcolo può essere applicato indistintamente alle coperture e alle pareti verdi, sulla base di un modello di scambio del calore valido per ogni tipologia di involucro verde, come riportato in Figura 3.

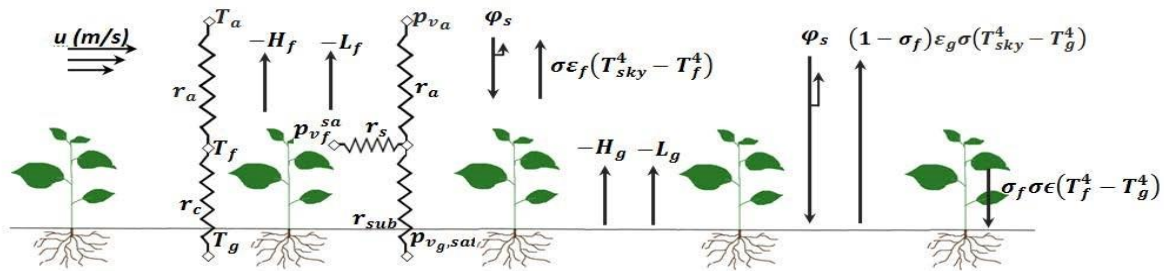


Figura 3. Modello del flusso di calore su un involucro vegetale secondo Djedjig et al.

TRNSYS risulta essere quindi lo strumento oggi più adatto a simulare il comportamento delle facciate verdi e i risultati ottenuti attraverso l'impiego del software EnergyPlus possono essere considerati solo come indicativi di un comportamento reale.

2 Il database climatico

La localizzazione dell'edificio è un fattore determinante nel calcolo delle prestazioni energetiche dell'edificio in uso e, conseguentemente, nel determinare i potenziali impatti sul consumo di energia legati alla scelta di un sistema di copertura.

Una accurata valutazione della prestazione dell'edificio, si basa su una altrettanto accurata selezione dei dati climatici di input. La qualità del database climatico è un elemento indispensabile per una corretta progettazione sostenibile degli edifici poiché è in grado di incidere in maniera significativa sulle strategie progettuali e sulla accuratezza della progettazione dei carichi e sul calcolo del consumo energetico. Negli ultimi anni, sono stati impiegati diversi tipi di dati climatici quale base per la valutazione comportamento energetico degli edifici e la loro risposta prestazionale ai sempre più estremi stress climatici. In una progettazione sempre più orientata al raggiungimento di elevate prestazioni energetiche, l'analisi e la valutazione della consistenza e rappresentatività dei dati climatici diventano elementi cruciali di una corretta progettazione, quanto degli edifici che degli impianti.

Purtroppo le banche dati a disposizione del progettista per la raccolta di informazioni climatiche da impiegare all'interno dei software di simulazione energetica sono ancora scarse, incomplete e difficilmente accessibili. E soprattutto, ove i dati climatici fossero disponibili, questi raramente sono raccolti e organizzati in formati adatti alla importazione nei software di simulazione.

Per le valutazioni energetiche dettagliate è necessario avere a disposizione le sequenze dei valori orari delle grandezze meteorologiche. E' necessario costruire un "anno tipo" elaborando statisticamente dati climatici misurati su lungo periodo (almeno 20 anni)

Il software EnergyPlus, infatti, dispone di una banca dati internazionale contenente profili climatici di località diverse nel mondo, elaborati su profilo orario e raccolti in un file zip che contiene il file climatico nativo *.epw, un report informativo sul dato specifico (*.stat) e di un file di supporto alla modellazione climatica contenente i dati relativi ai giorni di progetto di riferimento per la località specifica (ASHRAE Design Conditions Design Day Data file - *.ddy).

All'interno di questa banca dati, è disponibile una sezione dedicata ai profili climatici di alcune città italiane (NREL DOE Dati meteo per Energy+: <http://www.nrel.gov>²)

Il Database italiano di riferimento per l'applicazione Energy Plus è costituito dalla banca dati IGDG "Gianni De Giorgio"³ realizzata nell'anno 1979 dall'IFA (Istituto di Fisica dell'Atmosfera del CNT) all'interno del Progetto Finalizzato Energetica. I dati climatici sono stati raccolti dal Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (68 stazioni sparse in modo piuttosto omogeneo sul territorio nazionale), in maniera praticamente continua nel periodo 1951-1970. sono state calcolate, per ogni stazione, il valore medio e varianza della temperatura dell'aria per ogni mese dell'anno sull'intera popolazione. La stessa operazione è stata poi ripetuta per ogni singolo mese di ogni singolo anno. È stato quindi selezionato quale

²http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=6_europe_wmo_region_6/country=ITA/cna_me=italy

³ http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/italia_dati_climatici_g_de_giorgio.pdf

mese tipo più rappresentativo quello con valore medio e varianza della temperatura dell'aria più prossimi ai valori calcolati per quel mese sull'intera popolazione. L'anno tipo (TRY o Test Reference Year) è stato infine costruito come composizione dei mesi tipo.

Generato così l'anno tipo, che è costituito da una sequenza di mesi reali (cioè effettivamente verificatisi) provenienti da anni diversi, sono stati estratti dall'insieme dei dati e aggiunti alla temperatura dell'aria (dati orari ottenuti per interpolazione dai dati orari) le altre grandezze meteorologiche:

- la velocità del vento a 10 metri dal suolo (data dalla media aritmetica calcolata nei 10 minuti centrati intorno all'ora sinottica a cui il valore si riferisce);
- l'umidità relativa dell'aria al suolo;
- il numero di ore e di decimi di ora di sole verificatesi nell'intera giornata.

A tali dati, disponibili per ognuna delle 68 stazioni è stata aggiunta quando disponibile, la irradiazione solare oraria diretta e diffusa elaborata appunto secondo il metodo De Giorgio.

Una analisi dei record contenuti nel database De Giorgio, ha permesso di evidenziare alcune lacune strutturali della banca dati che risulta ormai antiquata dal momento che e i dati climatici, della T° oraria dell'aria esterna ad esempio, non descrivono l'attuale scenario meteorologico ed ignorano i mutamenti climatici dell'ultimo decennio.

All'interno del database EnergyPlus, sono stati pertanto indagati anche i file climatici IWEC (International Weather for Energy Calculations) elaborati dal Numerical Logics and Bodycote Materials Testing Canada all'interno del progetto ASHRAE Research Project 1015 [4]. Il progetto ha elaborato in formato EnergyPlus dati climatici di oltre 227 località al di fuori di Stati Uniti e Canada, derivati da oltre 18 anni di monitoraggio orario, svolto presso il U. S. National Climatic Data Center, dei parametri climatici, raccolti in formato ASCII *data set* DATSAV3. I dati raccolti sono stati successivamente integrati con riferimenti estimativi della radiazione solare calcolata a partire dalla geometria del percorso solare e integrati informazioni aggiuntive quali la presenza e distribuzione di nuvolosità.

Oltre ai IGDG e ai dati IWEC, sono disponibili per il contesto italiano, altre fonti di dati climatici, non sempre però esaustive rispetto alle richieste di input del software. I dati climatici ricavati da tali banche dati necessitano comunque di essere rielaborati e ricostruiti in formato idoneo all'importazione nel software.

Di seguito alcune delle fonti da cui è possibile ricavare dati climatici:

- UNI 13049:1994
- Dati climatici per la progettazione edile ed impiantistica - CNR PFE, 1982.
- Profilo climatico d'Italia – ENEA, 1999
- MeteoNorm - WMO: <http://www.meteotest.ch/>
- Satel-light: <http://www.satel-light.com/>
- National Oceanic Atmospheric Administration: <http://www.noaa.gov/>
- Società Italiana Meteorologia: <http://www.nimbus.i>

File climatici annuali specifici completi possono essere costruiti a partire dal database presente sul sito <http://www.ilmeteo.it/>

E' da considerare che la norma UNI 10349:1994 sui cui è basata l'attuale normativa energetica italiana, così come peraltro le pubblicazioni CNR ed ENEA tracciano un profilo climatico dello stivale ormai datato e non più rappresentativo del reale andamento climatico.

Ai fini dell'impiego dei dati climatici per la simulazione del comportamento degli edifici in software di calcolo che operano in regime transitorio, emerge quindi prioritaria la necessità di procedere ad una revisione completa ed accurata delle informazioni disponibili sull'andamento climatico in Italia nell'ultimo decennio e alla realizzazione di un database contenente dati relativi non solo a T°, Umidità dell'aria, Velocità del vento e Irradianza, ma tutti i parametri, dettagliati in profilo orario, necessari ad una completa parametrizzazione del comportamento energetico dell'edificio ossia:

Dry Bulb Temperature {C}
Dew Point Temperature {C}
Relative Humidity {%}
Atmospheric Pressure {Pa}
Extraterrestrial Horizontal Radiation {W/m²}
Extraterrestrial Direct Normal Radiation {W/m²}
Horizontal Infrared Rad. Intens. from Sky {W/m²}
Global Horizontal Radiation {W/m²}
Direct Normal Radiation {W/m²}
Diffuse Horizontal Radiation {W/m²}
Global Horizontal Illuminance {lux}
Direct Normal Illuminance {lux}
Diffuse Horizontal Illuminance {lux}
Zenith Luminance {Cd/m²}
Wind Direction {deg}
Wind Speed {m/s}
Total Sky Cover {.1}
Opaque Sky Cover {.1}
Visibility {km}
Ceiling Height {m}
Precipitable Water {mm}
Aerosol Optical Depth {.001}
Snow Depth {cm}
Days Since Last Snow
Albedo {.01}
Liquid Precipitation Depth {mm}
Liquid Precipitation Quantity {hr}

La fonte più attuale di informazioni climatiche sulle diverse realtà Italiane, è ancora rappresentata dall'Archivio meteorologico dell'Aeronautica militare⁴ che dispone sia di **dati di archivio**, ossia messaggi meteorologici d'osservazione pregressi, presenti nella Banca Dati Climatologica, o prodotti di elaborazioni statistiche, sia di **dati in tempo reale**, costituiti sia da messaggi meteorologici d'osservazione, sia da prodotti di previsione.

Per soddisfare gli obiettivi del presente lavoro di ricerca, i dati climatici di riferimento per le simulazioni sono stati selezionati tra quelli presenti nel database EnergyPlus, avendo cura di scegliere, tra i dati presenti, quelli elaborati secondo i protocolli IWEC piuttosto che quelli elaborati su base IGDG, ritenendo i primi, poiché più recenti, in grado di generare risultati più attendibili del reale comportamento attuale degli edifici nel clima italiano. Le modifiche ed integrazioni ai file climatici, rese necessarie per ottimizzare le simulazioni del comportamento del tetto verde, sono descritte in dettaglio al paragrafo 5.1

Al fine di condurre una simulazione comparata rappresentativa dei molteplici contesti climatici italiani, sono state scelte a campione tre località nelle tre più diffuse zone climatiche di riferimento:

- Torino, per la zona climatica E - ITA_Torino.160590_IWEC.epw
- Pisa per la zona climatica D - ITA_Pisa.161580_IWEC.epw
- Palermo per la zona climatica B - ITA_Palermo.164050_IWEC.epw

I profili climatici delle località sono riportati in Appendice B

3 Il Caso studio: edificio multipiano per edilizia residenziale

Tenuto conto delle recenti disposizioni fornite dalla direttiva 2012/27 relative al ruolo esemplare degli enti pubblici, secondo cui ciascuno Stato membro dovrà garantire che dal 2014 il 3% della superficie degli immobili posseduti dalle amministrazioni pubbliche centrali sia ristrutturata ogni anno per raggiungere almeno le prestazioni stabilite dai requisiti minimi stabiliti dalla direttiva 2010/31, e che anche tutti gli enti impegnati nell'edilizia sociale, dovranno adottare piani di efficienza energetica autonomi con obiettivi e azioni specifiche analoghe a quelle fissate per le amministrazioni centrali, si è scelto di condurre le simulazioni, ai fini della presente ricerca, su un edificio di studio rappresentativo del panorama costruttivo dell'edilizia sociale italiana del secondo dopoguerra.

Il fabbricato, sito in Pisa, fa parte di un complesso denominato Sant'Ermete, realizzato a partire dal 1948 ad opera del Genio Civile per far fronte all'emergenza abitativa relativa ai reduci di guerra e alle loro famiglie e ospita 12 alloggi, ad oggi fatiscanti. Il fabbricato è situato in via Bronzetti, nel quartiere pisano di Sant'Ermete (in regione climatica D), in un lotto riservato all'edilizia popolare complessivamente delimitato ad est dalla linea ferroviaria in uscita dalla stazione di Pisa Centrale e ad ovest dalla strada statale SS206.

Costituito da tre piani fuori terra e un piano seminterrato, l'edificio ospita 6 bilocali di superficie utile 37,53 mq e 6 trilocali di superficie utile 48,65 mq; al piano seminterrato, troviamo degli ambienti a servizio degli alloggi che, data l'altezza di interpiano di 1,30 m, nascono molto probabilmente come vespaio (Figura 4).

La struttura è in muratura portante realizzata con mattoni semipieni a due teste, mentre la copertura è caratterizzata da una struttura di travi prefabbricate in cemento armato (tipo Varese) su cui poggiano i tavelloni e il manto di copertura in tegole marsigliesi. La muratura si presenta complessivamente in buone condizioni, ma la malta risulta essere di qualità scadente; inoltre i mattoni sono stati messi in opera in molti casi con la foratura passante, favorendo così lo scambio termico con l'esterno e aumentando le perdite dovute a trasmissione.

I locali degli alloggi appaiono ben disposti e illuminati, ma sono caratterizzati da superfici (murature, infissi e solai) fortemente disperdenti che influenzano fortemente le scarse prestazioni termiche dell'involucro.

Pertanto, al fine di valutare il comportamento energetico dell'edificio a regime e l'effettivo contributo di una copertura a verde rispetto ad una copertura tradizionale, e di una parte verde rispetto ad una parete verticale isolata, si è provveduto a progettare un involucro a media efficienza che costituisce l'invariante prestazionale delle simulazioni.

L'involucro esterno esistente è stato rivestito con un sistema a cappotto (spessore 8 cm) per incrementare la resistenza termica e risolvere il problema dei ponti termici.

⁴ http://www.meteoam.it/?q=dati_in_tempo_reale

I divisori interni sono stati isolati termicamente e acusticamente su entrambe le facce

I solai interpiano sono stati anch'essi isolati termicamente e acusticamente.

Il solaio controterra è del tipo impermeabilizzato su sottofondo in ghiaia.

La parete controterra è rivestita esternamente con membrana bituminosa.

Per le finestre, è stato ipotizzato un telaio in alluminio con vetrocamera 6+13+12 e intercapedine in argon con persiane esterne sempre in alluminio.

Al piano seminterrato, le finestre sono del tipo 6+6+6 con intercapedine d'aria e prive di persiane.

Queste soluzioni costruttive costituiscono l'invariante strutturale degli edifici tipo oggetto di analisi

Il dettaglio delle caratteristiche degli elementi di involucro, verticali, orizzontali e inclinate è riportato nell'Allegato A.

Ai fini del presente lavoro di ricerca, le diverse soluzioni tecniche sono state combinate a definire tre edifici di riferimento che sono state impiegate nelle simulazioni:

- l'edificio Tipo A con copertura inclinata di tipo tradizionale in tegole marsigliesi, involucro verticale esterno isolato con cappotto
- l'edificio Tipo B con copertura piana a giardino (tetto verde), involucro verticale esterno isolato con cappotto
- L'edificio Tipo C con copertura inclinata di tipo tradizionale in tegole marsigliesi, involucro verticale esterno isolato con cappotto e, per la sola parete esposta a SUD e oltre al cappotto, un giardino verticale.

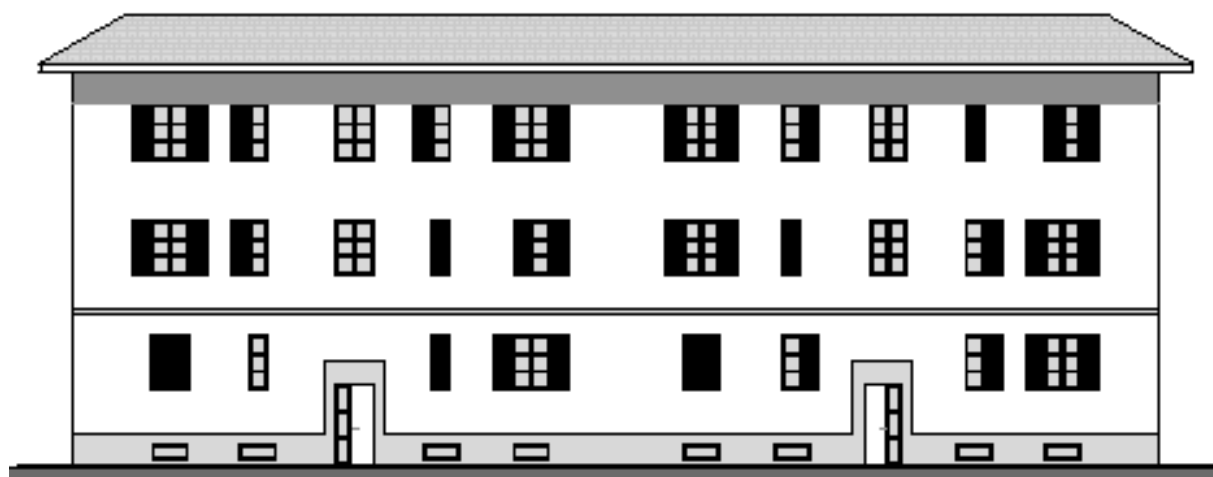
La copertura inclinata tradizionale dell'edificio Tipo A è costituita da manto di copertura in tegole marsigliesi su intercapedine ventilata (cm 6) e isolamento termico in EPS, poggianti sul solaio in laterocemento.

La copertura piana a verde dell'edificio Tipo B è costituita da un substrato di suolo (cm 8-20) nel quale cresce la vegetazione, un geotessile in fibre di polipropilene, un pannello di drenaggio in EPS (cm8) e un manto impermeabile antiradice, poggianti su solaio in laterocemento.

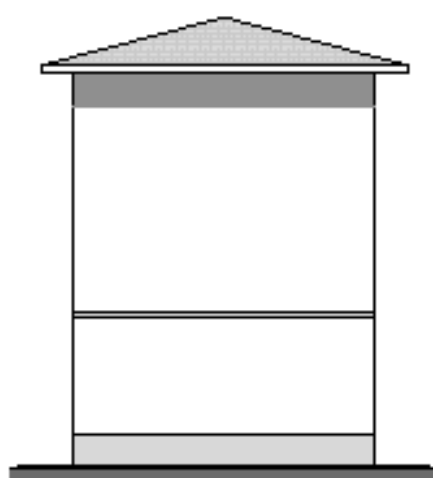
La parete verde verticale dell'edificio Tipo C è sostituita da un substrato di suolo (cm 5) nel quale cresce la vegetazione, un cartonfeltro e un rivestimento impermeabile in PVC, oltre alla camera d'aria (cm 5) che separa il giardino verticale dalla parte esistente in muratura.



Figura 4. Vista satellitare del quartiere di S.Ermete; vista della corteo dalla via Emilia; vista del prospetto Est dell'edificio multipiano



prospetto est



prospetto sud e nord

piano terra



piano tipo



Figura 4 Prospetti e piante dello stato attuale.

3.1 Il modello geometrico – Google SketchUp

Il software Energyplus non dispone di una interfaccia grafica e la costruzione del modello geometrico passerebbe attraverso una complessa ricostruzione dei riferimenti cartesiani di ognuno degli elementi d'involucro (pareti, coperture, solai, infissi, schermi aggetti, ecc...)

Per ovviare a questa mancanza e per rendere più facilmente gestibile e controllabile la correttezza della costruzione del modello geometrico descrittivo dell'edificio da simulare, EnergyPlus dispone di una serie di Plug-in che consentono di disegnare l'edificio e le sue parti, definendone direttamente sul disegno, alcune proprietà (orientamento, materiali, stratigrafia, zona termica di appartenenza) riconosciute da Energyplus per la simulazione del comportamento energetico.

I due Plug-in di riferimento, in grado di operare in maniera combinata, che sono stati impiegati per la realizzazione del modello di calcolo dei due edifici di riferimento sono Google SketchUp e OpenStudio.

Google Sketchup consente di disegnare, anche a partire da un rilievo digitale o vettoriale, il modello tridimensionale dell'edificio e di collocarlo in un luogo specifico attraverso l'integrazione con il modulo 3D di Google Earth.

Nelle Figura 5 e Figura 6 sono riportati i due modelli grafici utilizzati quale base per le simulazioni di Energyplus.

Il modello è stato costruito rispettando il reale orientamento dell'edificio esistente (15' Nord) con lati corti esposti a sud/nord e lati lunghi esposti a est/ovest.

Successivamente, è stato ruotato di 90' ovest con lati corti esposti a est/ovest e lati lunghi esposti a sud/nord per simulare la presenza sul prospetto sud di una parete verde.

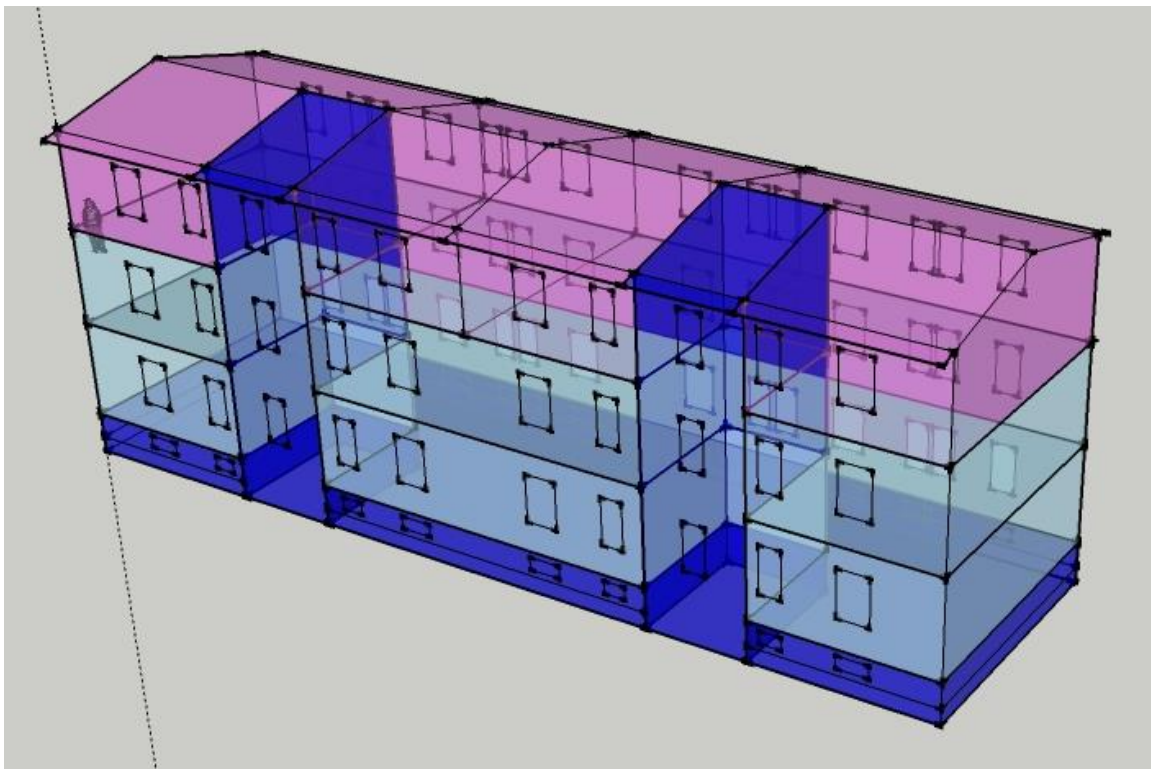


Figura 5 Modello SketchUp dell'edificio con copertura inclinata in tegole marsigliesi (Edificio Tipo A e C)

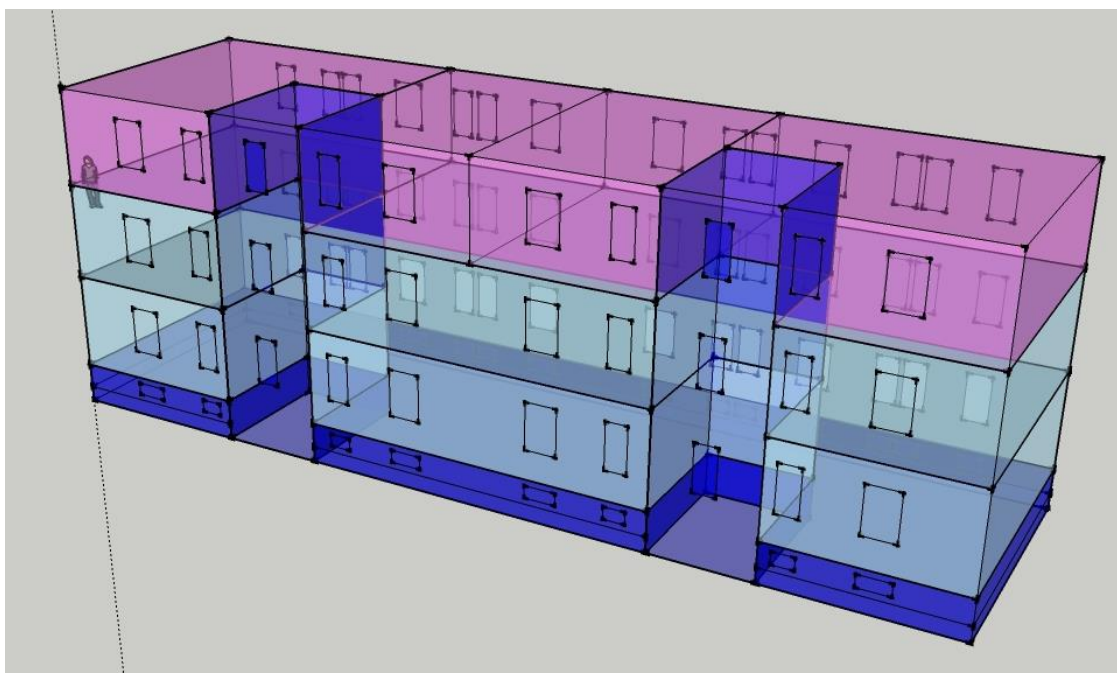


Figura 6 Modello SketchUp dell'edificio con copertura piana (edificio Tipo B)

3.2 Il modello energetico – OpenStudio

OpenStudio è un plug-in gratuito di SketchUp che permette agli utenti, dopo aver creato la geometria dell'edificio, di costruire il modello di calcolo di Energyplus, attraverso l'inserimento di dati climatici, delle specifiche costruttive di tutti gli elementi dell'edificio, dei profili di utilizzo e di occupazione, dei carichi elettrici e di illuminazione, delle specifiche impiantistiche (riscaldamento, impianti di ventilazione, condizionamento, produzione di acqua calda sanitaria, collettori solari) nonché della suddivisione dell'edificio in zone termiche per le quali è possibile dettagliare configurazioni e scenari di uso distinti. Una volta inseriti i dati, OpenStudio è in grado di gestire la simulazione del comportamento energetico direttamente all'interno dell'interfaccia di SketchUp, appoggiandosi al motore di calcolo di EnergyPlus, ovvero consentire l'esportazione del file .idf da gestire successivamente in EnergyPlus per le configurazioni di dettaglio.

Il modello geometrico è stato quindi primariamente caratterizzato in 3 zone termiche distinte:

1. la zona termica ULTIMO PIANO che rappresenta i quattro appartamenti sottotetto (in rosa nella grafica)
2. la zona termica APPARTAMENTI che comprende gli otto appartamenti distribuiti tra piano terra e piano primo (in azzurro nella grafica)
3. la zona termica SCALE/CANTINA che comprende tutti gli ambienti non riscaldati (in blu nella grafica)

L'edificio è stato ipotizzato privo di impianto termico per poterne così simulare il comportamento passivo e valutare con maggiore precisione il contributo assoluto derivante dalla presenza della copertura o della parete verde.

La T° del suolo per il calcolo delle dispersioni del piano interrato, è stata ipotizzata costante e pari a 18°C . E' stata impostata una ventilazione naturale degli ambienti riscaldati ($0,8 \text{ Vol/h}$) esclusivamente nelle ore notturne a persiane chiuse e solamente quando il file climatico rileva un differenza di T° tra ambiente interno ed esterno maggiore di 2°C . E' stata inoltre impostata una chiusura delle persiane delle finestre sul lato ovest nelle ore calde della giornata (14:00-16:30).

Le simulazioni sono state condotte nel periodo estivo, dal 1 giugno al 30 settembre.

3.3 La configurazione dei parametri specifici della copertura a verde

Per la valutazione dell'efficacia di diverse soluzioni di copertura a verde, sono stati definiti tre modelli di tetto giardino:

- *Modello 1*: tetto verde estensivo leggero
- *Modello 2*: tetto verde estensivo pesante
- *Modello 3*: tetto verde intensivo

La caratterizzazione dei tre modelli è riportata in Tabella 1

Tabella 1 Dati di input della simulazione delle tre tipologie di copertura a verde in EnergyPlus

	Estensivo leggero	Estensivo pesante	Intensivo
Altezza delle piante (m)	0,15	0,3	0,3
LAI	1	1	2
Riflettività dello strato fogliare	0,22	0,22	0,22
Emissività dello strato fogliare	0,95	0,95	0,95
Resistenza Stomatica minima (s/m)	180	180	180
Rugosità	Media	Media	Media
Spessore (m)	0,08	0,2	0,2
Conducibilità del suolo a secco (W/mK)	0,31	0,31	0,31
Densità del suolo a secco (kg/m ³)	878	878	878
Calore specifico del suolo a secco (J/kgK)	1348	1348	1348
Assorbanza termica	0,9	0,9	0,9
Assorbanza solare	0,5	0,5	0,5
Assorbanza solare nello spettro del visibile	0,7	0,7	0,7
Contenuto volumetrico di umidità a saturazione nel substrato	0,4	0,4	0,4
Contenuto volumetrico residuo di umidità nel substrato:	0,1	0,1	0,1
Contenuto volumetrico iniziale di umidità nel substrato:	0,1	0,1	0,1
Modello di calcolo della diffusione dell'umidità nel suolo	semplice	semplice	semplice

Dal momento che nessuno dei file climatici disponibili nel database contiene dati relativi ai valori di piovosità delle località, per tutti e tre i modelli di copertura verde è stata ipotizzata, attraverso il modulo RoofIrrigation, una irrigazione meccanica, programmata giornalmente tra le 06:00 e le 08:00 del mattino e tra le 19:00 e le 21:00 per un totale di circa 12,3 mm/settimana, pari a 52,8 mm/mese.

Tabella 2 Dati di input del modello di irrigazione

	Estensivo leggero	Estensivo pesante	Intensivo
Modello di Irrigazione	intelligente	intelligente	intelligente
Soglia massima di saturazione (70%)	70	70	70

Per la località Pisa, sono stati inoltre ricavati dal sito <http://www.pisameteo.it/> i valori medi mensili di piovosità dal 2008 al 2013 e tali informazioni sui mm mensili di pioggia durante i mesi di Giugno, Luglio, Agosto e Settembre, sono stati utilizzati per simulare, attraverso il modulo Roofirrigation, un periodo di piovosità naturale (52,6 mm in Giugno, 37,7mm in Luglio, 36,4mm in Agosto, 58,6mm in Settembre).

Per la località Torino i dati sulla piovosità mensili sono stati ricavati dal sito <http://www.meteo-torino.it/> (98 mm in Giugno, 67mm in Luglio, 80mm in Agosto, 70mm in Settembre).

Per la località Palermo i dati sulla piovosità mensile sono stati ricavati dal sito http://it.wikipedia.org/wiki/Stazione_meteorologica_di_Palermo_Punta_Raisi (12,2 mm in Giugno, 5,1mm in Luglio, 13,3mm in Agosto, 41,5mm in Settembre)

In alternativa, ove disponibili dati giornalieri orari sulla piovosità relativi a località climatologicamente simili, è possibile intervenire direttamente sul file climatico ipotizzando uno scenario di piovosità medio per ognuna delle località selezionate e adattando, per interpolazione, i dati della località campione agli indici di piovosità media mensile della località simulata.

3.4 La configurazione dei parametri specifici della parete verde

Considerando la limitata attendibilità del modello previsionale EnergyPlus nel determinare la prestazione di una parete verde, si è ritenuto di simulare una unica configurazione di giardino verticale, tecnicamente realizzata come riportato in Allegato A e con le caratteristiche riportate in Tabella 3.

Tabella 3 Dati di input della simulazione della parete verde in EnergyPlus

	Estensivo leggero
Altezza delle piante (m)	0,15
LAI	3
Riflettività dello strato fogliare	0,22
Emissività dello strato fogliare	0,95
Resistenza Stomatale minima (s/m)	180
Rugosità	Media
Spessore (m)	0,051
Conducibilità del suolo a secco (W/mK)	0,31
Densità del suolo a secco (kg/m ³)	400
Calore specifico del suolo a secco (J/kgK)	1348
Assorbente termica	0,9
Assorbente solare	0,5
Assorbente solare nello spettro del visibile	0,7
Contenuto volumetrico di umidità a saturazione nel substrato	0,4
Contenuto volumetrico residuo di umidità nel substrato:	0,02
Contenuto volumetrico iniziale di umidità nel substrato:	0,1
Modello di calcolo della diffusione dell'umidità nel suolo	semplice

Come per la copertura, attraverso il modulo RoofIrrigation, è stata simulata una irrigazione meccanica, programmata giornalmente tra le 06:00 e le 08:00 del mattino e tra le 19:00 e le 21:00 per un totale di circa 12,3 mm a settimana.

Tabella 4 Dati di input del modello di irrigazione

	Estensivo leggero
Modello di Irrigazione	intelligente
Soglia massima di saturazione (40%)	40

Considerando le indicazioni sulle limitazioni del modulo RoofVegetation, quando applicato alla simulazione di Pareti verticali, riportate in bibliografia, è stata impostata una soglia di saturazione più bassa rispetto a quella della copertura a verde (40%).

4 Conclusioni

Il modello geometrico tridimensionale del fabbricato impiegato per la simulazione con il software EnergyPlus è stato realizzato attraverso il software open source Google SketchUp,.

Ai fini del presente lavoro di ricerca, diverse soluzioni tecniche sono state combinate per definire tre edifici di riferimento che sono stati impiegati nelle simulazioni:

- l'edificio Tipo A con copertura inclinata di tipo tradizionale in regole marsigliesi, involucro verticale esterno isolato con cappotto
- l'edificio Tipo B con copertura piana a giardino (tetto verde), involucro verticale esterno isolato con cappotto
- L'edificio Tipo C con copertura inclinata di tipo tradizionale in tegole marsigliesi, involucro verticale esterno isolato con cappotto e, per la sola parete esposta a SUD e oltre al cappotto, un giardino verticale.

Applicando i moduli RoofVegetation e RoofIrrigation, sviluppati all'interno del software EnergyPlus è possibile simulare con sufficiente precisione il complesso sistema di scambio termico che avviene all'interno di un sistema vegetale, tenendo conto dei meccanismi di infiltrazione, evaporazione e traspirazione legati alla presenza di umidità nel substrato. L'applicazione del Modulo richiede la disponibilità di informazioni dettagliate sulle caratteristiche delle specie vegetali impiantate nel substrato, necessarie all' algoritmo di calcolo per elaborare i processi di scambio di calore tenendo conto della diversa natura delle piante utilizzate.

Dunque, è necessario costituire un database delle specie vegetali più comuni generalmente impiegate per la realizzazione di tetti e pareti verdi, a seguito della identificazione dei parametri più significativi richiesti dal modulo di EnergyPlus.

E' altresì fondamentale poter accedere ad un database climatico per le zone climatiche caratterizzanti lo scenario meteorologico nazionale, implementando i dati disponibili ove non completi, con particolare riferimento ai dati sulla piovosità oraria su base giornaliera.

Nel presente Rapporto sono stati perciò definiti tutti gli elementi necessari per poter condurre una analisi di simulazione energetica degli edifici utilizzando il software EnergyPlus.

5 Riferimenti bibliografici

1. Santamouris M., *Advances in Building Energy Research*, Volume 3, Earthscan 2009, pag. 271-288
2. Scherba, A., D. J. Sailor, T. N. Rosenstiel and C. C. Wamser (2011). "Modeling impacts of roof reflectivity, integrated photovoltaic panels and green roof systems on sensible heat flux into the urban environment." *Building and Environment* (DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.06.012).
3. Schaap M.G. and van Genuchten M.Th. , 2006 [2] 'A modified Maulem-van Genuchten Formulation for Improved Description of the Hydraulic Conductivity Near Saturation', *Vadose Zone Journal* 5 (1), p 27-34.
4. ASHRAE. 2001. *International Weather for Energy Calculations (IWEC Weather Files) Users Manual and CD-ROM*, Atlanta: ASHRAE
5. *Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output*, 2013
6. Di HF, Wang DN. Cooling effect of ivy on a wall. *Experimental Heat Transfer*, 1999;235e45
7. Holm D. Thermal improvement by means of leaf cover on external walls - a simulation model. *Energy and Buildings* 1989; 14:19e30.
8. Kontoleon KJ, Evmorfopoulou EA. The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. *Building and Environment* 2010; 45:1287e303.
9. Susorova I., Angulo M. Bahrami P., Stephens B., A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal Performance, *Building and Environment* 67 (2013) 1e13
10. Djedjig, R., Belarbi, R., Bozonnet, E., 2012a., *Modélisation dynamique des transferts hygrothermiques dans les enveloppes de bâtiments végétalisées*. Presented at the XXXe Rencontres AUGC-IBPSA, Chambéry.

6 ALLEGATO A - SCHEDE TECNICHE DEGLI ELEMENTI DI INVOLUCRO

Sono riportate nel presente allegato le schede tecniche descrittive delle stratigrafie e delle caratteristiche prestazionali termiche in regime invernale ed estivo degli elementi di involucro dell'edificio oggetto della simulazione

Tabella 5 Stato attuale - Parete di tamponamento esterna

1) Scegliere il tipo di componente edilizio				2) Scegliere il periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)				24				
Chiusura verticale				Periodo delle variazioni termiche T				[sec]		86400		
				Resistenza termica sup interna Rsi				[m2K/W]		0,13		
				Resistenza termica sup esterna Rse				[m2K/W]		0,04		
Descrizione degli strati		Spessore (s) [m]	Conductività termica (l) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/KgK]	Densità (ρ) [Kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (d) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]		
Rsi	Aria	Strato laminare interno										
1	<input checked="" type="checkbox"/>	intonaco int calce cem.	0,015	0,900	1000	1800		0,117	0,128	0,017		
2	<input checked="" type="checkbox"/>	muratura doppio UNI	0,250	0,273	1000	910		0,091	2,752	0,916		
3	<input checked="" type="checkbox"/>	intonaco int calce cem.	0,015	0,900	1000	1800		0,117	0,128	0,017		
4	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-		
5	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-		
6	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-		
7	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-		
8	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-		
9	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-		
10	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-		
11	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-		
12	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-		
13	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-		
14	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-		
15	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-		
Rse	Aria	Strato laminare esterno										
Spessore totale componente [cm]		28,00		Resistenza termica totale [m2K/W]				1,119				
RISULTATI												
Regime periodico stabilizzato						Regime stazionario						
T = 24 ore												
Fattore di decremento (attenuazione)			fd [-]	0,316		Massa superficiale			Ms [kg/m2]	282		
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)			φ [h]	10,15		Resistenza termica totale			Rt [m2K/W]	1,119		
Trasmittanza termica periodica			Yie [W/m2K]	0,283		Trasmittanza			U [W/m2K]	0,894		
Ammettenza termica lato interno			Yii [W/m2K] , [h]	3,64		2,19		Conduttanza			C [W/m2K]	1,054
Ammettenza termica lato esterno			Yee [W/m2K] , [h]	4,87		3,11		Capacità termica areica			Cta [kJ/m2K]	282
Capacità termica areica lato interno			k1 [kJ/m2K]	53,9		83,2		Costante di tempo			t [h]	88
Capacità termica areica lato esterno			k2 [kJ/m2K]	70,6		83,2						
Fattore di smorzamento superficiale interno												
Parete disperdente			fsd [-]	0,527		0,367						
Parete interna			fsi [-]	0,490		0,333						
Dati acustici						Stratigrafia del componente edilizio						
Indice potere fonoisolante			Rw (dB) [dB]	46,99								
Rapporto tecnico UNI												
<input checked="" type="radio"/> Laboratori italiani <input type="radio"/> Formula CEN												
Altre formule												
Pareti monostrato												
<input type="radio"/> In laterizio alleggerito <input type="radio"/> In laterizio <input type="radio"/> In blocchi di argilla espansa												
Pareti doppie												
<input type="radio"/> In laterizio, interc. > 5 cm con materiale fibroso <input type="radio"/> In blocchi di argilla espansa, interc. senza materiale fibroso												
Solai												
<input type="radio"/> Solai in laterocemento												
Indice livello rumore da calpestio equivalente			Lnw,eq [dB]	-								
Prestazione Energetica Estiva - Metodo dei parametri qualitativi secondo Linee Guida Nazionali sulla Certificazione Energetica degli Edifici												
Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità Prestazionale	Attenuazione		Controllo attenuazione	Controllo Sfasamento	Sfasamento (h)				
S > 12	Fd < 0,15	ottime	I	fa < 0,15	0	0	S > 12					
12 >= S > 10	0,15 <= fd < 0,30	buone	II	0,15 <= fa < 0,30	0	1	12 >= S > 10					
10 >= S > 8	0,30 <= fd < 0,40	medie	III	0,30 <= fa < 0,40	1	0	10 >= S > 8					
8 >= S > 6	0,40 <= fd < 0,60	sufficienti	IV	0,40 <= fa < 0,60	0	0	8 >= S > 6					
6 >= S	0,60 <= fd	mediocri	V	0,60 <= fa	0	0	6 >= S					
Prestazioni				Buone								
Qualità prestazionale				II								

Tabella 6 Stato modificato - Parete di tamponamento esterna con isolamento a cappotto

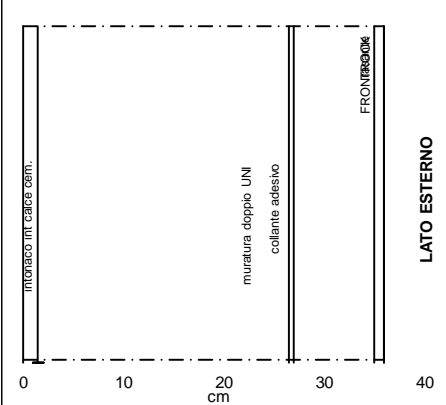
1) Scegliere il tipo di componente edilizio				2) Scegliere il periodo delle variazioni termiche (≤ 24 ore)					24		
Chiusura verticale				Periodo delle variazioni termiche T					[sec]	86400	
				Resistenza termica sup interna Rsi					[m ² K/W]	0,13	
				Resistenza termica sup esterna Rse					[m ² K/W]	0,04	
Descrizione degli strati		Spessore (s) [m]	Conduttività termica (l) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/KgK]	Densità (p) [Kg/m ³]	Resistenza termica aria [m ² K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (d) [m]	$\xi = s/d$ [-]	Resistenza termica [m ² k/w]	
Rsi	Aria	Strato laminare interno									0,130
1	<input type="checkbox"/>	intonaco int calce cem.	0,015	0,900	1000	1800		0,117	0,128	0,017	
2	<input type="checkbox"/>	muratura doppio UNI	0,250	0,273	1000	910		0,091	2,752	0,916	
3	<input type="checkbox"/>	collante adesivo	0,005	0,750	1000	1350		0,124	0,040	0,007	
4	<input type="checkbox"/>	FRONTROCK	0,080	0,036	1030	90		0,103	0,774	2,222	
5	<input type="checkbox"/>	rasante	0,010	0,380	840	950		0,114	0,087	0,026	
6	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
7	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
8	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
9	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
10	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
11	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
12	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
13	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
14	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
15	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
Rse	Aria	Strato laminare esterno									0,040
Spessore totale componente [cm]		36,00		Resistenza termica totale [m ² K/W]					3,358		
RISULTATI											
Regime periodico stabilizzato						Regime stazionario					
T = 24 ore											
Fattore di decremento (attenuazione)			fd [-]	0,097		Massa superficiale			Ms [kg/m ²]	278	
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)			ϕ [h]	13,34		Resistenza termica totale			Rt [m ² K/W]	3,358	
Trasmittanza termica periodica			Yie [W/m ² K]	0,029		Trasmittanza			U [W/m ² K]	0,298	
Ammetenza termica lato interno			Yii [W/m ² K], [h]	3,62		Conduttanza			C [W/m ² K]	0,314	
Ammetenza termica lato esterno			Yee [W/m ² K], [h]	0,89		Capacità termica areica			Cta [kJ/m ² K]	277	
Capacità termica areica lato interno			k1 [kJ/m ² K]	50,0		Costante di tempo			t [h]	258	
Capacità termica areica lato esterno			k2 [kJ/m ² K]	12,3							
Fattore di smorzamento superficiale interno											
Parete disperdente			fsd [-]	0,529		0,885					
Parete interna			fsi [-]	0,527		0,884					
Dati acustici						Stratigrafia del componente edilizio					
Indice potere fonoisolante			Rw (dB) [dB]	46,88							
Rapporto tecnico UNI											
<input checked="" type="radio"/> Laboratori italiani <input type="radio"/> Formula CEN											
Altre formule											
Pareti monostrato											
<input type="radio"/> In laterizio alleggerito <input type="radio"/> In laterizio <input type="radio"/> In blocchi di argilla espansa											
Pareti doppie											
<input type="radio"/> In laterizio, interc. > 5 cm con materiale fibroso <input type="radio"/> In blocchi di argilla espansa, interc. senza materiale fibroso											
Solai											
<input type="radio"/> Solai in laterocemento											
Indice livello rumore da calpestio equivalente			Lnw,eq [dB]	-							
Prestazione Energetica Estiva - Metodo dei parametri qualitativi secondo Linee Guida Nazionali sulla Certificazione Energetica degli Edifici											
Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità Prestazionale	Attenuazione		Controllo attenuazione	Controllo Sfasamento	Sfasamento (h)			
S > 12	Fd < 0,15	ottime	I	fa < 0,15	1	1	S > 12				
12 >= S > 10	0,15 <= fd < 0,30	buone	II	0,15 <= fa < 0,30	0	0	12 >= S > 10				
10 >= S > 8	0,30 <= fd < 0,40	medie	III	0,30 <= fa < 0,40	0	0	10 >= S > 8				
8 >= S > 6	0,40 <= fd < 0,60	sufficienti	IV	0,40 <= fa < 0,60	0	0	8 >= S > 6				
6 >= S	0,60 <= fd	mediocri	V	0,60 <= fa	0	0	6 >= S				
Prestazioni						Ottime					
Qualità prestazionale						I					

Tabella 7 Stato modificato - Parete di tamponamento esterna con giardino verticale

1) Scegliere il tipo di componente edilizio				2) Scegliere il periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)						24																																																									
Chiusura verticale				Periodo delle variazioni termiche T						[sec]	86400																																																								
				Resistenza termica sup interna Rsi						[m2K/W]	0,13																																																								
				Resistenza termica sup esterna Rse						[m2K/W]	0,04																																																								
Descrizione degli strati		Spessore (s) [m]	Conductività termica (l) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/KgK]	Densità (ρ) [Kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (d) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]																																																									
Rsi	Aria Strato laminare interno		1	2	3	4	5			0,130																																																									
1	<input type="checkbox"/> intonaco int calce cem.	0,015	0,900		1000	1800		0,117	0,128	0,017																																																									
2	<input type="checkbox"/> muratura doppio UNI	0,250	0,273		1000	910		0,091	2,752	0,916																																																									
3	<input type="checkbox"/> collante adesivo	0,005	0,750		1000	1350		0,124	0,040	0,007																																																									
4	<input type="checkbox"/> FRONTROCK	0,080	0,036		1030	90		0,103	0,774	2,222																																																									
5	<input type="checkbox"/> rasante	0,010	0,380		840	950		0,114	0,087	0,026																																																									
6	<input checked="" type="checkbox"/> intercapedine	0,050					0,160	-	-	0,160																																																									
7	<input checked="" type="checkbox"/> PVC	0,130	0,150		2780	1400		0,033	3,993	0,867																																																									
8	<input checked="" type="checkbox"/> cartongfietro	0,004	0,230		1270	1100		0,067	0,059	0,017																																																									
9	<input checked="" type="checkbox"/> DAKU ROOF SOIL	0,050	0,310		1348	400		0,126	0,398	0,161																																																									
10	<input type="checkbox"/>							-	-	-																																																									
11	<input type="checkbox"/>							-	-	-																																																									
12	<input type="checkbox"/>							-	-	-																																																									
13	<input type="checkbox"/>							-	-	-																																																									
14	<input type="checkbox"/>							-	-	-																																																									
15	<input type="checkbox"/>							-	-	-																																																									
Rse	Aria Strato laminare esterno									0,040																																																									
Spessore totale componente [cm]		59,40		Resistenza termica totale [m2K/W]						4,563																																																									
RISULTATI																																																																			
Regime periodico stabilizzato						Regime stazionario																																																													
T = 24 ore																																																																			
Fattore di decremento (attenuazione)		fd	[-]	0,002		Massa superficiale		Ms	[kg/m2]	484																																																									
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)		φ	[h]	7,43		Resistenza termica totale		Rt	[m2K/W]	4,563																																																									
Trasmittanza termica periodica		Yie	[W/m2K]	0,000		Trasmittanza		U	[W/m2K]	0,219																																																									
Ammettenza termica lato interno		Yii	[W/m2K], [h]	3,62 2,20		Conduzzanza		C	[W/m2K]	0,228																																																									
Ammettenza termica lato esterno		Yee	[W/m2K], [h]	3,62 1,95		Capacità termica areica		Cta	[kJ/m2K]	815																																																									
Capacità termica areica lato interno		k1	[kJ/m2K]	49,8 75,8		Costante di tempo		t	[h]	1033																																																									
Capacità termica areica lato esterno		k2	[kJ/m2K]	49,8 56,9																																																															
Fattore di smorzamento superficiale interno																																																																			
Parete disperdente		fsd	[-]	0,529 0,529																																																															
Parete interna		fsi	[-]	0,529 0,529																																																															
Dati acustici						Stratigrafia del componente edilizio																																																													
Indice potere fonoisolante		Rw (dB)	[dB]	51,70																																																															
Rapporto tecnico UNI <input checked="" type="radio"/> Laboratori italiani <input type="radio"/> Formula CEN																																																																			
Altre formule <input type="radio"/> Pareti monostrato <input type="radio"/> In laterizio alleggerito <input type="radio"/> In laterizio <input type="radio"/> In blocchi di argilla espansa <input type="radio"/> Pareti doppie <input type="radio"/> In laterizio, interc. > 5 cm con materiale fibroso <input type="radio"/> In blocchi di argilla espansa, interc. senza materiale fibroso <input type="radio"/> Solai <input type="radio"/> Solai in laterocemento																																																																			
Indice livello rumore da calpestio equivalente		Lnw,eq	[dB]	-																																																															
Prestazione Energetica Estiva - Metodo dei parametri qualitativi secondo Linee Guida Nazionali sulla Certificazione Energetica degli Edifici																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Sfasamento (ore)</th> <th>Attenuazione</th> <th>Prestazioni</th> <th>Qualità Prestazionale</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S > 12</td> <td>Fd < 0,15</td> <td>ottime</td> <td>I</td> </tr> <tr> <td>12 >= S > 10</td> <td>0,15 <= fd < 0,30</td> <td>buone</td> <td>II</td> </tr> <tr> <td>10 >= S > 8</td> <td>0,30 <= fd < 0,40</td> <td>medie</td> <td>III</td> </tr> <tr> <td>8 >= S > 6</td> <td>0,40 <= fd < 0,60</td> <td>sufficienti</td> <td>IV</td> </tr> <tr> <td>6 >= S</td> <td>0,60 <= fd</td> <td>mediocri</td> <td>V</td> </tr> </tbody> </table>				Sfasamento (ore)	Attenuazione						Prestazioni	Qualità Prestazionale	S > 12	Fd < 0,15	ottime	I	12 >= S > 10	0,15 <= fd < 0,30	buone	II	10 >= S > 8	0,30 <= fd < 0,40	medie	III	8 >= S > 6	0,40 <= fd < 0,60	sufficienti	IV	6 >= S	0,60 <= fd	mediocri	V	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Attenuazione</th> <th>Controllo attenuazione</th> <th>Controllo Sfasamento</th> <th>Sfasamento (h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fa < 0,15</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>S > 12</td> </tr> <tr> <td>0,15 <= fa < 0,30</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>12 >= S > 10</td> </tr> <tr> <td>0,30 <= fa < 0,40</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10 >= S > 8</td> </tr> <tr> <td>0,40 <= fa < 0,60</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>8 >= S > 6</td> </tr> <tr> <td>0,60 <= fa</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>6 >= S</td> </tr> </tbody> </table>			Attenuazione	Controllo attenuazione	Controllo Sfasamento	Sfasamento (h)	fa < 0,15	1	0	S > 12	0,15 <= fa < 0,30	0	0	12 >= S > 10	0,30 <= fa < 0,40	0	0	10 >= S > 8	0,40 <= fa < 0,60	0	1	8 >= S > 6	0,60 <= fa	0	0	6 >= S	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Prestazioni</th> <th>Qualità prestazionale</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sufficienti</td> <td>IV</td> </tr> </tbody> </table>				Prestazioni	Qualità prestazionale	Sufficienti	IV
Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità Prestazionale																																																																
S > 12	Fd < 0,15	ottime	I																																																																
12 >= S > 10	0,15 <= fd < 0,30	buone	II																																																																
10 >= S > 8	0,30 <= fd < 0,40	medie	III																																																																
8 >= S > 6	0,40 <= fd < 0,60	sufficienti	IV																																																																
6 >= S	0,60 <= fd	mediocri	V																																																																
Attenuazione	Controllo attenuazione	Controllo Sfasamento	Sfasamento (h)																																																																
fa < 0,15	1	0	S > 12																																																																
0,15 <= fa < 0,30	0	0	12 >= S > 10																																																																
0,30 <= fa < 0,40	0	0	10 >= S > 8																																																																
0,40 <= fa < 0,60	0	1	8 >= S > 6																																																																
0,60 <= fa	0	0	6 >= S																																																																
Prestazioni	Qualità prestazionale																																																																		
Sufficienti	IV																																																																		

Tabella 8 Stato attuale – Copertura in coppi e teogli

1) Scegliere il tipo di componente edilizio				2) Scegliere il periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)					24			
Chiusura orizzontale (flusso discendente)				Periodo delle variazioni termiche T					[sec]	86400		
				Resistenza termica sup interna Rsi					[m2K/W]	0,17		
				Resistenza termica sup esterna Rse					[m2K/W]	0,04		
Descrizione degli strati	Spessore (s) [m]	Conduttività termica (l) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/KgK]	Densità (ρ) [Kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (d) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2K/W]			
Rsi	Aria	Strato laminare interno	1	2	3	4	5		0,170			
1	<input type="checkbox"/>	tabelle in laterizio	0,033	0,538	1000	1650		0,095	0,348	0,061		
2	<input type="checkbox"/>	massetto in CLS	0,050	1,100	1000	1800		0,130	0,386	0,045		
3	<input type="checkbox"/>	tegole in laterizio	0,021	0,900	840	2000		0,121	0,173	0,023		
4	<input type="checkbox"/>							-	-	-		
5	<input type="checkbox"/>							-	-	-		
6	<input type="checkbox"/>							-	-	-		
7	<input type="checkbox"/>							-	-	-		
8	<input type="checkbox"/>							-	-	-		
9	<input type="checkbox"/>							-	-	-		
10	<input type="checkbox"/>							-	-	-		
11	<input type="checkbox"/>							-	-	-		
12	<input type="checkbox"/>							-	-	-		
13	<input type="checkbox"/>							-	-	-		
14	<input type="checkbox"/>							-	-	-		
15	<input type="checkbox"/>							-	-	-		
Rse	Aria	Strato laminare esterno								0,040		
Spessore totale componente [cm]				10,40					Resistenza termica totale [m2K/W]		0,340	
RISULTATI												
Regime periodico stabilizzato						T = 24 ore		Regime stazionario				
Fattore di decremento (attenuazione)			fd	[-]	0,832		Massa superficiale			Ms [kg/m2]	186	
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)			φ	[h]	2,96		Resistenza termica totale			Rt [m2K/W]	0,340	
Trasmittanza termica periodica			[Yie]	[W/m2K]	2,445		Trasmittanza			U [W/m2K]	2,940	
Ammettenza termica lato interno			Yii	[W/m2K], [h]	3,55		0,91	Conduttanza			C [W/m2K]	7,685
Ammettenza termica lato esterno			Yee	[W/m2K], [h]	7,72		2,68	Capacità termica areica			Cta [kJ/m2K]	180
Capacità termica areica lato interno			k1	[kJ/m2K]	42,2		75,4	Costante di tempo			t [h]	17
Capacità termica areica lato esterno			k2	[kJ/m2K]	108,3		101,4					
Fattore di smorzamento superficiale interno												
Parete disperdente			fsd	[-]	0,397		-0,313					
Parete interna			fsi	[-]	0,479		-0,339					
Dati acustici						Stratigrafia del componente edilizio						
Indice potere fonoisolante			Rw (dB)	[dB]	43,41							
Rapporto tecnico UNI												
<input checked="" type="radio"/> Laboratori italiani <input type="radio"/> Formula CEN												
Altre formule												
Pareti monostrato												
<input type="radio"/> In laterizio alleggerito <input type="radio"/> In laterizio <input type="radio"/> In blocchi di argilla espansa												
Pareti doppie												
<input type="radio"/> In laterizio, interc. > 5 cm con materiale fibroso <input type="radio"/> In blocchi di argilla espansa, interc. senza materiale fibroso												
Solai												
<input type="radio"/> Solai in laterocemento												
Indice livello rumore da calpestio equivalente			Lnw,eq	[dB]	-							
Prestazione Energetica Estiva - Metodo dei parametri qualitativi secondo Linee Guida Nazionali sulla Certificazione Energetica degli Edifici												
Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità Prestazionale	Attenuazione		Controllo attenuazione	Controllo Sfasamento	Sfasamento (h)				
S > 12	Fd < 0,15	ottime	I	fa < 0,15	0	0	S > 12					
12 >= S > 10	0,15 <= fd < 0,30	buone	II	0,15 <= fa < 0,30	0	0	12 >= S > 10					
10 >= S > 8	0,30 <= fd < 0,40	medie	III	0,30 <= fa < 0,40	0	0	10 >= S > 8					
8 >= S > 6	0,40 <= fd < 0,60	sufficienti	IV	0,40 <= fa < 0,60	0	0	8 >= S > 6					
6 >= S	0,60 <= fd	mediocri	V	0,60 <= fa	1	1	6 >= S					
				Prestazioni		Mediocri						
				Qualità prestazionale		V						

T abella 9 Stato modificato – Copertura isolata in tegole marsigliesi

1) Scegliere il tipo di componente edilizio				2) Scegliere il periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)				24		
Chiusura orizzontale (flusso ascendente)				Periodo delle variazioni termiche T		[sec]	86400			
				Resistenza termica sup interna Rsi		[m2K/W]	0,10			
				Resistenza termica sup esterna Rse		[m2K/W]	0,04			
Descrizione degli strati	Spessore (s) [m]	Conductività termica (l) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/kgK]	Densità (p) [kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (d) [m]	$\xi = s/d$ [-]	Resistenza termica [m2K/W]	
Rsi Aria Strato laminare interno		1	2	3	4	5			0,100	
1 <input type="checkbox"/> Intonaco calce cemento	0,015	0,900		1000	1800		0,117	0,128	0,017	
2 <input type="checkbox"/> solaio 16+4	0,160	1,007		880	1550		0,142	1,123	0,159	
3 <input type="checkbox"/> EPS STYRODUR 2500C	0,080	0,035		1450	28		0,154	0,520	2,286	
4 <input checked="" type="checkbox"/> aria	0,060					0,180	-	-	0,180	
5 <input type="checkbox"/> manto in marsigliesi	0,020	1,000		800	2000		0,131	0,153	0,020	
6 <input type="checkbox"/>							-	-	-	
7 <input type="checkbox"/>							-	-	-	
8 <input type="checkbox"/>							-	-	-	
9 <input type="checkbox"/>							-	-	-	
10 <input type="checkbox"/>							-	-	-	
11 <input type="checkbox"/>							-	-	-	
12 <input type="checkbox"/>							-	-	-	
13 <input type="checkbox"/>							-	-	-	
14 <input type="checkbox"/>							-	-	-	
15 <input type="checkbox"/>							-	-	-	
Rse Aria Strato laminare esterno									0,040	
Spessore totale componente [cm]		33,50		Resistenza termica totale [m2K/W]				2,801		
RISULTATI										
Regime periodico stabilizzato					Regime stazionario					
T = 24 ore										
Fattore di decremento (attenuazione)	fd	[-]	0,337		Massa superficiale	Ms	[kg/m2]	317		
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)	ϕ	[h]	7,15		Resistenza termica totale	Rt	[m2K/W]	2,801		
Trasmittanza termica periodica	[Yie]	[W/m2K]	0,120		Trasmittanza	U	[W/m2K]	0,357		
Ammettenza termica lato interno	Yii	[W/m2K], [h]	5,93	1,59	Conduttanza	C	[W/m2K]	0,376		
Ammettenza termica lato esterno	Yee	[W/m2K], [h]	2,38	4,95	Capacità termica areica	Cta	[kJ/m2K]	280		
Capacità termica periodica lato interno	k1	[kJ/m2K]	82,7	159,8	Costante di tempo	t	[h]	218		
Capacità termica periodica lato esterno	k2	[kJ/m2K]	34,3	36,3						
Fattore di smorzamento superficiale interno										
Parete disperdente	fsd	[-]	0,407	0,762						
Parete interna	fsi	[-]	0,399	0,750						
Dati acustici					Stratigrafia del componente edilizio					
Indice potere fonoisolante Rw (dB) [dB]					48,03					
Rapporto tecnico UNI										
<input type="checkbox"/> Laboratori italiani <input type="checkbox"/> Formula CEN										
Altre formule										
<i>Pareti monostrato</i>										
<input type="checkbox"/> In laterizio alleggerito										
<input type="checkbox"/> In laterizio										
<input type="checkbox"/> In blocchi di argilla espansa										
<i>Pareti doppie</i>										
<input type="checkbox"/> In laterizio, interc. > 5 cm con materiale fibroso										
<input type="checkbox"/> In blocchi di argilla espansa, interc. senza materiale fibroso										
<i>Solai</i>										
<input type="checkbox"/> Solai in laterocemento										
Indice livello rumore da calpestio equivalente Lnw,eq [dB]					-					
Prestazione Energetica Estiva - Metodo dei parametri qualitativi secondo Linee Guida Nazionali sulla Certificazione Energetica degli Edifici										
Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità Prestazionale	Attenuazione	Controllo attenuazione	Controllo Sfasamento	Sfasamento (h)			
S > 12	Fd < 0,15	ottime	I	fa < 0,15	0	0	S > 12			
12 >= S > 10	0,15 <= fd < 0,30	buone	II	0,15 <= fa < 0,30	0	0	12 >= S > 10			
10 >= S > 8	0,30 <= fd < 0,40	medie	III	0,30 <= fa < 0,40	1	0	10 >= S > 8			
8 >= S > 6	0,40 <= fd < 0,60	sufficienti	IV	0,40 <= fa < 0,60	0	1	8 >= S > 6			
6 >= S	0,60 <= fd	mediocri	V	0,60 <= fa	0	0	6 >= S			
				Prestazioni	Sufficienti					
				Qualità prestazionale	IV					

Tabella 10 Stato modificato – copertura piana con tetto verde estensivo

1) Scegliere il tipo di componente edilizio				2) Scegliere il periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)					24		
Chiusura orizzontale (flusso ascendente)				Periodo delle variazioni termiche T					[sec]	86400	
				Resistenza termica sup interna Rsi					[m2K/W]	0,10	
				Resistenza termica sup esterna Rse					[m2K/W]	0,04	
Descrizione degli strati	Spessore (s) [m]	Conductività termica (l) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/KgK]	Densità (ρ) [Kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (d) [m]	$\xi = s/d$ [-]	Resistenza termica [m2k/w]		
Rsi Aria Strato laminare interno		1	2	3	4	5			0,100		
1 <input type="checkbox"/> intonaco int. cacle cem.	0,015	0,900		1000	1800		0,117	0,128	0,017		
2 <input type="checkbox"/> solaio in laterocemento	0,160	1,007		880	1550		0,142	1,123	0,159		
3 <input type="checkbox"/> soletta in CLS	0,040	1,800		2000	2500		0,100	0,402	0,022		
4 <input type="checkbox"/> manto imp. Antiradice	0,005	0,230		900	110		0,253	0,020	0,022		
5 <input type="checkbox"/> DAKU FSD 30	0,080	0,034		1200	25		0,177	0,453	2,353		
6 <input type="checkbox"/> DAKU STABILFILTER SFE	0,0013	0,220		900	170		0,199	0,007	0,006		
7 <input type="checkbox"/> DAKU ROOF SOIL	0,080	0,310		1348	878		0,085	0,943	0,258		
8 <input type="checkbox"/>							-	-	-		
9 <input type="checkbox"/>							-	-	-		
10 <input type="checkbox"/>							-	-	-		
11 <input type="checkbox"/>							-	-	-		
12 <input type="checkbox"/>							-	-	-		
13 <input type="checkbox"/>							-	-	-		
14 <input type="checkbox"/>							-	-	-		
15 <input type="checkbox"/>							-	-	-		
Rse Aria Strato laminare esterno									0,040		
Spessore totale componente [cm]				38,13					Resistenza termica totale [m2K/W]		2,976
RISULTATI											
Regime periodico stabilizzato					Regime stazionario						
T = 24 ore											
Fattore di decremento (attenuazione)	fd	[-]	0,107		Massa superficiale	Ms	[kg/m2]	448			
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)	φ	[h]	12,23		Resistenza termica totale	Rt	[m2K/W]	2,976			
Trasmittanza termica periodica	Yie	[W/m2K]	0,036		Trasmittanza	U	[W/m2K]	0,336			
Ammettenza termica lato interno	Yii	[W/m2K] , [h]	5,43	1,39	Conduttanza	C	[W/m2K]	0,353			
Ammettenza termica lato esterno	Yee	[W/m2K] , [h]	4,86	3,34	Capacità termica areica	Cta	[kJ/m2K]	543			
Capacità termica areica lato interno	k1	[kJ/m2K]	75,1	142,0	Costante di tempo	t	[h]	449			
Capacità termica areica lato esterno	k2	[kJ/m2K]	67,1	76,1							
Fattore di smorzamento superficiale interno											
Parete dispersante	fsd	[-]	0,457	0,514							
Parete interna	fsi	[-]	0,454	0,512							
Dati acustici					Stratigrafia del componente edilizio						
Indice potere fonoisolante					Rw (dB)	[dB]	51,03				
Rapporto tecnico UNI											
<input checked="" type="radio"/> Laboratori italiani <input type="radio"/> Formula CEN											
Altre formule											
<input type="radio"/> Pareti monostrato <input type="radio"/> In laterizio alleggerito <input type="radio"/> In laterizio <input type="radio"/> In blocchi di argilla espansa											
<input type="radio"/> Pareti doppie <input type="radio"/> In laterizio, interc. > 5 cm con materiale fibroso <input type="radio"/> In blocchi di argilla espansa, interc. senza materiale fibroso											
<input type="radio"/> Solai <input type="radio"/> Solai in laterocemento											
Indice livello rumore da calpestio equivalente					Lnw,eq	[dB]	-				
Prestazione Energetica Estiva - Metodo dei parametri qualitativi secondo Linee Guida Nazionali sulla Certificazione Energetica degli Edifici											
Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità Prestazionale		Controllo attenuazione		Controllo Sfasamento		Sfasamento (h)		
S > 12	Fd < 0,15	ottime	I		1	1	S > 12				
12 >= S > 10	0,15 <= fd < 0,30	buone	II		0	0	12 >= S > 10				
10 >= S > 8	0,30 <= fd < 0,40	medie	III		0	0	10 >= S > 8				
8 >= S > 6	0,40 <= fd < 0,60	sufficienti	IV		0	0	8 >= S > 6				
6 >= S	0,60 <= fd	mediocri	V		0	0	6 >= S				
					Prestazioni		Ottime				
					Qualità prestazionale		I				

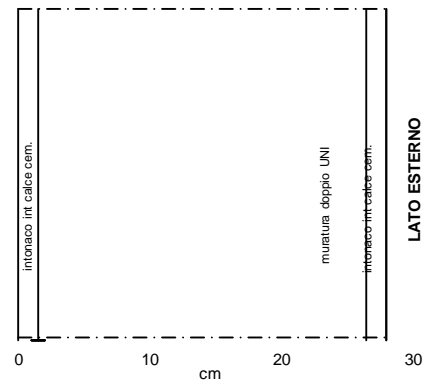


Tabella 11 Stato modificato – copertura piana con tetto verde estensivo pesante

1) Scegliere il tipo di componente edilizio				2) Scegliere il periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)					24																																																	
Chiusura orizzontale (flusso ascendente)				Periodo delle variazioni termiche T					[sec]	86400																																																
				Resistenza termica sup interna Rsi					[m2K/W]	0,10																																																
				Resistenza termica sup esterna Rse					[m2K/W]	0,04																																																
Descrizione degli strati		Spessore (s) [m]	Conduttività termica (l) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/KgK]	Densità (ρ) [Kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (d) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]																																																
Rsi	Aria	Strato laminare interno								0,100																																																
1	<input checked="" type="checkbox"/>	intonaco int. cacle cem.	0,015	0,900		1000	1800	0,117	0,128	0,017																																																
2	<input checked="" type="checkbox"/>	solaio in laterocemento	0,160	1,007		880	1550	0,142	1,123	0,159																																																
3	<input checked="" type="checkbox"/>	soletta in CLS	0,040	1,800		2000	2500	0,100	0,402	0,022																																																
4	<input checked="" type="checkbox"/>	manto imp. Antiradice	0,005	0,230		900	110	0,253	0,020	0,022																																																
5	<input checked="" type="checkbox"/>	DAKU FSD 30	0,080	0,034		1200	25	0,177	0,453	2,353																																																
6	<input checked="" type="checkbox"/>	DAKU STABILFILTER SFE	0,0013	0,220		900	170	0,199	0,007	0,006																																																
7	<input checked="" type="checkbox"/>	DAKU ROOF SOIL	0,200	0,310		1348	878	0,085	2,356	0,645																																																
8	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-																																																
9	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-																																																
10	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-																																																
11	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-																																																
12	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-																																																
13	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-																																																
14	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-																																																
15	<input checked="" type="checkbox"/>							-	-	-																																																
Rse	Aria	Strato laminare esterno								0,040																																																
Spessore totale componente [cm]		50,13		Resistenza termica totale [m2K/W]					3,364																																																	
RISULTATI																																																										
Regime periodico stabilizzato						Regime stazionario																																																				
T = 24 ore																																																										
Fattore di decremento (attenuazione)		fd [-]	0,028			Massa superficiale		Ms [kg/m2]	553																																																	
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)		φ [h]	18,00			Resistenza termica totale		Rt [m2K/W]	3,364																																																	
Trasmittanza termica periodica		Yie [W/m2K]	0,008			Trasmittanza		U [W/m2K]	0,297																																																	
Ammettenza termica lato interno		Yii [W/m2K], [h]	5,43		1,39		Conduttanza		C [W/m2K]	0,310																																																
Ammettenza termica lato esterno		Yee [W/m2K], [h]	4,47		2,46		Capacità termica areica		Cta [kJ/m2K]	685																																																
Capacità termica areica lato interno		k1 [kJ/m2K]	74,6		141,0		Costante di tempo		t [h]	640																																																
Capacità termica areica lato esterno		k2 [kJ/m2K]	61,4		71,1																																																					
Fattore di smorzamento superficiale interno																																																										
<i>Parete disperdente</i>		fsd [-]	0,457		0,553																																																					
<i>Parete interna</i>		fsi [-]	0,457		0,554																																																					
Dati acustici						Stratigrafia del componente edilizio																																																				
Indice potere fonoisolante						Rw (dB) [dB]																																																				
						52,86																																																				
Rapporto tecnico UNI																																																										
<input checked="" type="radio"/> Laboratori italiani																																																										
<input type="radio"/> Formula CEN																																																										
Altre formule																																																										
<i>Pareti monostrato</i>																																																										
<input type="radio"/> In laterizio alleggerito																																																										
<input type="radio"/> In laterizio																																																										
<input type="radio"/> In blocchi di argilla espansa																																																										
<i>Pareti doppie</i>																																																										
<input type="radio"/> In laterizio, interc. > 5 cm con materiale fibroso																																																										
<input type="radio"/> In blocchi di argilla espansa, interc. senza materiale fibroso																																																										
<i>Solai</i>																																																										
<input type="radio"/> Solai in laterocemento																																																										
Indice livello rumore da calpestio equivalente						Lnw,eq [dB]																																																				
						-																																																				
Prestazione Energetica Estiva - Metodo dei parametri qualitativi secondo Linee Guida Nazionali sulla Certificazione Energetica degli Edifici																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Sfasamento (ore)</th> <th>Attenuazione</th> <th>Prestazioni</th> <th>Qualità Prestazionale</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S > 12</td> <td>Fd < 0,15</td> <td>ottime</td> <td>I</td> </tr> <tr> <td>12 >= S > 10</td> <td>0,15 <= fd < 0,30</td> <td>buone</td> <td>II</td> </tr> <tr> <td>10 >= S > 8</td> <td>0,30 <= fd < 0,40</td> <td>medie</td> <td>III</td> </tr> <tr> <td>8 >= S > 6</td> <td>0,40 <= fd < 0,60</td> <td>sufficienti</td> <td>IV</td> </tr> <tr> <td>6 >= S</td> <td>0,60 <= fd</td> <td>mediocri</td> <td>V</td> </tr> </tbody> </table>				Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità Prestazionale	S > 12	Fd < 0,15	ottime	I	12 >= S > 10	0,15 <= fd < 0,30	buone	II	10 >= S > 8	0,30 <= fd < 0,40	medie	III	8 >= S > 6	0,40 <= fd < 0,60	sufficienti	IV	6 >= S	0,60 <= fd	mediocri	V	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Attenuazione</th> <th>Controllo attenuazione</th> <th>Controllo Sfasamento</th> <th>Sfasamento (h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>fa < 0,15</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>S > 12</td> </tr> <tr> <td>0,15 <= fa < 0,30</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>12 >= S > 10</td> </tr> <tr> <td>0,30 <= fa < 0,40</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>10 >= S > 8</td> </tr> <tr> <td>0,40 <= fa < 0,60</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>8 >= S > 6</td> </tr> <tr> <td>0,60 <= fa</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>6 >= S</td> </tr> </tbody> </table>			Attenuazione	Controllo attenuazione	Controllo Sfasamento	Sfasamento (h)	fa < 0,15	1	1	S > 12	0,15 <= fa < 0,30	0	0	12 >= S > 10	0,30 <= fa < 0,40	0	0	10 >= S > 8	0,40 <= fa < 0,60	0	0	8 >= S > 6	0,60 <= fa	0	0	6 >= S	<p>Prestazioni Ottime</p> <p>Qualità prestazionale I</p>			
Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità Prestazionale																																																							
S > 12	Fd < 0,15	ottime	I																																																							
12 >= S > 10	0,15 <= fd < 0,30	buone	II																																																							
10 >= S > 8	0,30 <= fd < 0,40	medie	III																																																							
8 >= S > 6	0,40 <= fd < 0,60	sufficienti	IV																																																							
6 >= S	0,60 <= fd	mediocri	V																																																							
Attenuazione	Controllo attenuazione	Controllo Sfasamento	Sfasamento (h)																																																							
fa < 0,15	1	1	S > 12																																																							
0,15 <= fa < 0,30	0	0	12 >= S > 10																																																							
0,30 <= fa < 0,40	0	0	10 >= S > 8																																																							
0,40 <= fa < 0,60	0	0	8 >= S > 6																																																							
0,60 <= fa	0	0	6 >= S																																																							

Tabella 12 Stato attuale – solaio intermedio di divisione tra gli alloggi

1) Scegliere il tipo di componente edilizio			2) Scegliere il periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)				24						
Chiusura orizzontale (flusso discendente)			Periodo delle variazioni termiche T				[sec]	86400					
			Resistenza termica sup interna Rsi				[m2K/W]	0,17					
			Resistenza termica sup esterna Rse				[m2K/W]	0,04					
Descrizione degli strati	Spessore (s) [m]	Conduktività termica (l) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/KgK]	Densità (ρ) [Kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (d) [m]	$\xi = s/d$ [-]	Resistenza termica [m2k/w]				
Rsi	Aria	Strato laminare interno	1	2	3	4	5		0,170				
1	<input type="checkbox"/>	piastrelle in marmo	0,015	0,538	1000	2700		0,074	0,203	0,028			
2	<input type="checkbox"/>	massetto in CLS	0,040	1,350	1000	2000		0,136	0,294	0,030			
3	<input type="checkbox"/>	soletta in CLS	0,200	0,720	840	1800		0,114	1,748	0,278			
4	<input type="checkbox"/>	solaio in laterocemento	0,040	1,800	2000	2500		0,100	0,402	0,022			
5	<input type="checkbox"/>							-	-	-			
6	<input type="checkbox"/>							-	-	-			
7	<input type="checkbox"/>							-	-	-			
8	<input type="checkbox"/>							-	-	-			
9	<input type="checkbox"/>							-	-	-			
10	<input type="checkbox"/>							-	-	-			
11	<input type="checkbox"/>							-	-	-			
12	<input type="checkbox"/>							-	-	-			
13	<input type="checkbox"/>							-	-	-			
14	<input type="checkbox"/>							-	-	-			
15	<input type="checkbox"/>							-	-	-			
Rse	Aria	Strato laminare esterno								0,040			
Spessore totale componente [cm]			29,50		Resistenza termica totale [m2K/W]				0,568				
RISULTATI													
Regime periodico stabilizzato						Regime stazionario							
T = 24 ore													
Fattore di decremento (attenuazione)			fd	[-]	0,249		Massa superficiale			Ms [kg/m2]	581		
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)			φ	[h]	10,46		Resistenza termica totale			Rt [m2K/W]	0,568		
Trasmittanza termica periodica			Yie	[W/m2K]	0,439		Trasmittanza			U [W/m2K]	1,762		
Ammetenza termica lato interno			Yii	[W/m2K], [h]	4,21		1,08		Conduktivanza			C [W/m2K]	2,797
Ammetenza termica lato esterno			Yee	[W/m2K], [h]	12,63		2,42		Capacità termica areica			Cta [kJ/m2K]	623
Capacità termica areica lato interno			k1	[kJ/m2K]	63,9		177,2		Costante di tempo			t [h]	98
Capacità termica areica lato esterno			k2	[kJ/m2K]	179,5		285,7						
Fattore di smorzamento superficiale interno													
Parete disperdente			fsd	[-]	0,284		-1,147						
Parete interna			fsi	[-]	0,210		-1,219						
Dati acustici						Stratigrafia del componente edilizio							
Indice potere fonoisolante						Rw (dB)	[dB]		53,28				
Rapporto tecnico UNI													
<input checked="" type="radio"/>						Laboratori italiani							
<input type="radio"/>						Formula CEN							
Altre formule													
Pareti monostrato													
<input type="radio"/>						In laterizio alleggerito							
<input type="radio"/>						In laterizio							
<input type="radio"/>						In blocchi di argilla espansa							
Pareti doppie													
<input type="radio"/>						In laterizio, interc. > 5 cm con materiale fibroso							
<input type="radio"/>						In blocchi di argilla espansa, interc. senza materiale fibroso							
Solai													
<input type="radio"/>						Solai in laterocemento							
Indice livello rumore da calpestio equivalente						Lnw,eq	[dB]		-				
Prestazione Energetica Estiva - Metodo dei parametri qualitativi secondo Linee Guida Nazionali sulla Certificazione Energetica degli Edifici													
Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità Prestazionale	Attenuazione		Controllo attenuazione	Controllo Sfasamento	Sfasamento (h)					
S > 12	Fd < 0,15	ottime	I	fa < 0,15	0	0	0	S > 12					
12 >= S > 10	0,15 <= fd < 0,30	buone	II	0,15 <= fa < 0,30	1	1	1	12 >= S > 10					
10 >= S > 8	0,30 <= fd < 0,40	medie	III	0,30 <= fa < 0,40	0	0	0	10 >= S > 8					
8 >= S > 6	0,40 <= fd < 0,60	sufficienti	IV	0,40 <= fa < 0,60	0	0	0	8 >= S > 6					
6 >= S	0,60 <= fd	mediocri	V	0,60 <= fa	0	0	0	6 >= S					
				Prestazioni		Buone							
				Qualità prestazionale		II							

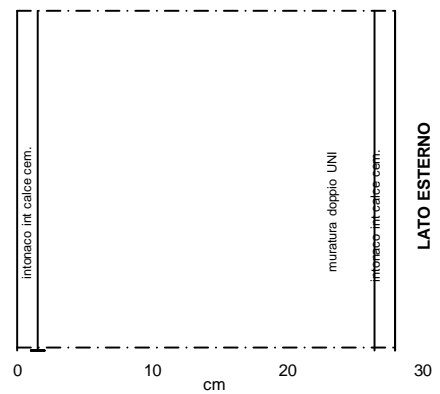


Tabella 13 Stato modificato – Solaio intermedio di divisione tra gli alloggi

1) Scegliere il tipo di componente edilizio				2) Scegliere il periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)						24	
Chiusura orizzontale (flusso discendente)				Periodo delle variazioni termiche T						[sec]	86400
				Resistenza termica sup interna Rsi						[m2K/W]	0,17
				Resistenza termica sup esterna Rse						[m2K/W]	0,04
Descrizione degli strati		Spessore (s) [m]	Conduktività termica (l) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/KgK]	Densità (ρ) [Kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (d) [m]	ξ = s/d [-]	Resistenza termica [m2k/w]	
Rsi	Aria Strato laminare interno		1	2	3	4	5			0,170	
1	<input type="checkbox"/> pavimento in cotto	0,015	0,538		1000	1770		0,091	0,164	0,028	
2	<input type="checkbox"/> massetto alleggerito	0,100	0,269		1000	1000		0,086	1,163	0,372	
3	<input type="checkbox"/> STEPROCK LD	0,020	0,036		1030	100		0,098	0,204	0,556	
4	<input type="checkbox"/> soletta in CLS	0,040	1,800		2000	2500		0,100	0,402	0,022	
5	<input type="checkbox"/> solaio in laterocemento	0,160	1,007		880	1550		0,142	1,123	0,159	
6	<input type="checkbox"/> intonaco int. calce cem.	0,015	0,900		1000	1800		0,117	0,128	0,017	
7	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
8	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
9	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
10	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
11	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
12	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
13	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
14	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
15	<input type="checkbox"/>							-	-	-	
Rse	Aria Strato laminare esterno									0,040	
Spessore totale componente [cm]		35,00	Resistenza termica totale [m2K/W]						1,363		
RISULTATI											
Regime periodico stabilizzato						Regime stazionario					
T = 24 ore											
Fattore di decremento (attenuazione)		fd [-]	0,111			Massa superficiale		Ms [kg/m2]	504		
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)		φ [h]	13,42			Resistenza termica totale		Rt [m2K/W]	1,363		
Trasmittanza termica periodica		Yie [W/m2K]	0,081			Trasmittanza		U [W/m2K]	0,734		
Ammettenza termica lato interno		Yii [W/m2K], [h]	3,29		1,94		Conduktivanza		C [W/m2K]		
Ammettenza termica lato esterno		Yee [W/m2K], [h]	7,69		2,04		Capacità termica areica		Cta [kJ/m2K]		
Capacità termica areica lato interno		k1 [kJ/m2K]	46,0		80,2		Costante di tempo		t [h]		
Capacità termica areica lato esterno		k2 [kJ/m2K]	106,4		143,0						
Fattore di smorzamento superficiale interno											
<i>Parete disperdente</i>		fsd [-]	0,441		-0,307						
<i>Parete interna</i>		fsi [-]	0,432		-0,315						
Dati acustici						Stratigrafia del componente edilizio					
Indice potere fonoisolante						Rw (dB) [dB]					
						52,04					
Rapporto tecnico UNI											
<input checked="" type="radio"/> Laboratori italiani <input type="radio"/> Formula CEN											
Altre formule											
<i>Pareti monostrato</i>											
<input type="radio"/> In laterizio alleggerito											
<input type="radio"/> In laterizio											
<input type="radio"/> In blocchi di argilla espansa											
<i>Pareti doppie</i>											
<input type="radio"/> In laterizio, interc. > 5 cm con materiale fibroso											
<input type="radio"/> In blocchi di argilla espansa, interc. senza materiale fibroso											
<i>Solai</i>											
<input type="radio"/> Solai in laterocemento											
Indice livello rumore da calpestio equivalente						Lnw,eq [dB]					
						-					
Prestazione Energetica Estiva - Metodo dei parametri qualitativi secondo Linee Guida Nazionali sulla Certificazione Energetica degli Edifici											
Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità Prestazionale	Controllo attenuazione		Controllo Sfasamento		Sfasamento (h)			
S > 12	Fd < 0,15	ottime	I	fa < 0,15	1	1	1	S > 12			
12 >= S > 10	0,15 <= fd < 0,30	buone	II	0,15 <= fa < 0,30	0	0	0	12 >= S > 10			
10 >= S > 8	0,30 <= fd < 0,40	medie	III	0,30 <= fa < 0,40	0	0	0	10 >= S > 8			
8 >= S > 6	0,40 <= fd < 0,60	sufficienti	IV	0,40 <= fa < 0,60	0	0	0	8 >= S > 6			
6 >= S	0,60 <= fd	mediocri	V	0,60 <= fa	0	0	0	6 >= S			
Prestazioni						Ottime					
Qualità prestazionale						I					

Tabella 14 Stato attuale – Parete divisoria interna

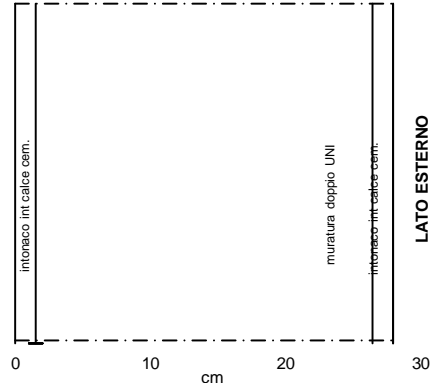
1) Scegliere il tipo di componente edilizio				2) Scegliere il periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)						24	
Partizione verticale interna				Periodo delle variazioni termiche T						[sec]	86400
				Resistenza termica sup interna Rsi						[m2K/W]	0,13
				Resistenza termica sup esterna Rse						[m2K/W]	0,13
Descrizione degli strati		Spessore (s) [m]	Conduktività termica (l) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/KgK]	Densità (p) [Kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (d) [m]	$\xi = s/d$ [-]	Resistenza termica [m2k/w]	
Rsi	Aria	Strato laminare interno	1	2	3	4	5			0,130	
1		intonaco int. calce cem.	0,015	0,900	1000	1800		0,117	0,128	0,017	
2		muratura doppio UNI	0,250	0,273	1000	910		0,091	2,752	0,916	
3		intonaco int. calce cem.	0,015	0,900	1000	1800		0,117	0,128	0,017	
4								-	-	-	
5								-	-	-	
6								-	-	-	
7								-	-	-	
8								-	-	-	
9								-	-	-	
10								-	-	-	
11								-	-	-	
12								-	-	-	
13								-	-	-	
14								-	-	-	
15								-	-	-	
Rse	Aria	Strato laminare esterno								0,130	
Spessore totale componente [cm]		28,00		Resistenza termica totale [m2K/W]						1,209	
RISULTATI											
Regime periodico stabilizzato						Regime stazionario					
T = 24 ore											
Fattore di decremento (attenuazione)		fd	[-]	0,255		Massa superficiale		Ms	[kg/m2]	282	
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)		ϕ	[h]	11,07		Resistenza termica totale		Rt	[m2K/W]	1,209	
Trasmittanza termica periodica		Yie	[W/m2K]	0,211		Trasmittanza		U	[W/m2K]	0,827	
Ammettenza termica lato interno		Yii	[W/m2K], [h]	3,63		Conduktivanza		C	[W/m2K]	1,054	
Ammettenza termica lato esterno		Yee	[W/m2K], [h]	3,63		Capacità termica areica		Cta	[kJ/m2K]	282	
Capacità termica areica lato interno		k1	[kJ/m2K]	52,7		Costante di tempo		t	[h]	95	
Capacità termica areica lato esterno		k2	[kJ/m2K]	52,7							
Fattore di smorzamento superficiale interno											
Parete disperdente		fsd	[-]	0,528							
Parete interna		fsi	[-]	0,502							
Dati acustici						Stratigrafia del componente edilizio					
Indice potere fonoisolante						Rw (dB) [dB]					
						46,99					
Rapporto tecnico UNI											
Laboratori italiani											
Formula CEN											
Altre formule											
Pareti monostrato											
In laterizio alleggerito											
In laterizio											
In blocchi di argilla espansa											
Pareti doppie											
In laterizio, interc. > 5 cm con materiale fibroso											
In blocchi di argilla espansa, interc. senza materiale fibroso											
Solai											
Solai in laterocemento											
Indice livello rumore da calpestio equivalente						Lnw,eq [dB]					
						-					
Prestazione Energetica Estiva - Metodo dei parametri qualitativi secondo Linee Guida Nazionali sulla Certificazione Energetica degli Edifici											
Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità Prestazionale	Attenuazione		Controllo attenuazione	Controllo Sfasamento	Sfasamento (h)			
S > 12	Fd < 0,15	ottime	I	fa < 0,15	0	0	0	S > 12			
12 >= S > 10	0,15 <= fd < 0,30	buone	II	0,15 <= fa < 0,30	1	1	1	12 >= S > 10			
10 >= S > 8	0,30 <= fd < 0,40	medie	III	0,30 <= fa < 0,40	0	0	0	10 >= S > 8			
8 >= S > 6	0,40 <= fd < 0,60	sufficienti	IV	0,40 <= fa < 0,60	0	0	0	8 >= S > 6			
6 >= S	0,60 <= fd	mediocri	V	0,60 <= fa	0	0	0	6 >= S			
Prestazioni						Buone					
Qualità prestazionale						II					

Tabella 15 Stato modificato – Parete divisoria interna

1) Scegliere il tipo di componente edilizio			2) Scegliere il periodo delle variazioni termiche (<= 24 ore)						24	
Partizione verticale interna			Periodo delle variazioni termiche T [sec]						86400	
			Resistenza termica sup interna Rsi [m2K/W]						0,13	
			Resistenza termica sup esterna Rse [m2K/W]						0,13	
Descrizione degli strati	Spessore (s) [m]	Conduktività termica (l) [W/mK]	Resistenza termica [mqK/W]	Calore specifico (c) [J/KgK]	Densità (p) [Kg/m3]	Resistenza termica aria [m2K/W]	Profondità di penetrazione al periodo T (d) [m]	$\xi = s/d$ [-]	Resistenza termica [m2k/w]	
Rsi	Aria	Strato laminare interno	1	2	3	4	5		0,130	
1		intonaco int. calce cem.	0,015	0,900	1000	1800		0,117	0,128	0,017
2		ACOUSTIC 225	0,050	1,400	1030	70		0,117	0,428	1,400
3		muratura doppio UNI	0,250	0,273	1000	910		0,091	2,752	0,916
4		ACOUSTIC 225	0,050	1,400	1030	70		0,117	0,428	1,400
5		intonaco int. calce cem.	0,015	0,900	1000	1800		0,117	0,128	0,017
6								-	-	-
7								-	-	-
8								-	-	-
9								-	-	-
10								-	-	-
11								-	-	-
12								-	-	-
13								-	-	-
14								-	-	-
15								-	-	-
Rse	Aria	Strato laminare esterno								0,130
Spessore totale componente [cm]		38,00	Resistenza termica totale [m2K/W]						4,009	
RISULTATI										
Regime periodico stabilizzato						Regime stazionario				
T = 24 ore										
Fattore di decremento (attenuazione)	fd	[-]	0,037			Massa superficiale	Ms	[kg/m2]	289	
Ritardo fattore di decremento (sfasamento)	ϕ	[h]	15,30			Resistenza termica totale	Rt	[m2K/W]	4,009	
Trasmittanza termica periodica	Yie	[W/m2K]	0,009			Trasmittanza	U	[W/m2K]	0,249	
Ammettenza termica lato interno	Yii	[W/m2K], [h]	1,97		3,89	Conduktivanza	C	[W/m2K]	0,267	
Ammettenza termica lato esterno	Yee	[W/m2K], [h]	1,97		3,89	Capacità termica areica	Cta	[kJ/m2K]	289	
Capacità termica areica lato interno	k1	[kJ/m2K]	27,0		30,3	Costante di tempo	t	[h]	322	
Capacità termica areica lato esterno	k2	[kJ/m2K]	27,0		30,3					
Fattore di smorzamento superficiale interno										
Parete disperdente		fsd	[-]	0,744		0,744				
Parete interna		fsi	[-]	0,744		0,744				
Dati acustici						Stratigrafia del componente edilizio				
Indice potere fonoisolante						Rw (dB) [dB]				
						47,20				
Rapporto tecnico UNI										
Laboratori italiani										
Formula CEN										
Altre formule										
Pareti monostrato										
In laterizio alleggerito										
In laterizio										
In blocchi di argilla espansa										
Pareti doppie										
In laterizio, interc. > 5 cm con materiale fibroso										
In blocchi di argilla espansa, interc. senza materiale fibroso										
Solai										
Solai in laterocemento										
Indice livello rumore da calpestio equivalente						Lnw,eq [dB]				
						-				
Prestazione Energetica Estiva - Metodo dei parametri qualitativi secondo Linee Guida Nazionali sulla Certificazione Energetica degli Edifici										
Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità Prestazionale	Attenuazione		Controllo attenuazione	Controllo Sfasamento	Sfasamento (h)		
S > 12	Fd < 0,15	ottime	I	fa < 0,15	1	1	1	S > 12		
12 >= S > 10	0,15 <= fd < 0,30	buone	II	0,15 <= fa < 0,30	0	0	0	12 >= S > 10		
10 >= S > 8	0,30 <= fd < 0,40	medie	III	0,30 <= fa < 0,40	0	0	0	10 >= S > 8		
8 >= S > 6	0,40 <= fd < 0,60	sufficienti	IV	0,40 <= fa < 0,60	0	0	0	8 >= S > 6		
6 >= S	0,60 <= fd	mediocri	V	0,60 <= fa	0	0	0	6 >= S		
Prestazioni						Ottime				
Qualità prestazionale						I				

7 ALLEGATO B – PROFILO CLIMATICO DELLE LOCALITA' DI ANALISI

Sono riportate nel presente allegato i grafici a confronto dei profili climatici delle tre località individuate per le simulazioni

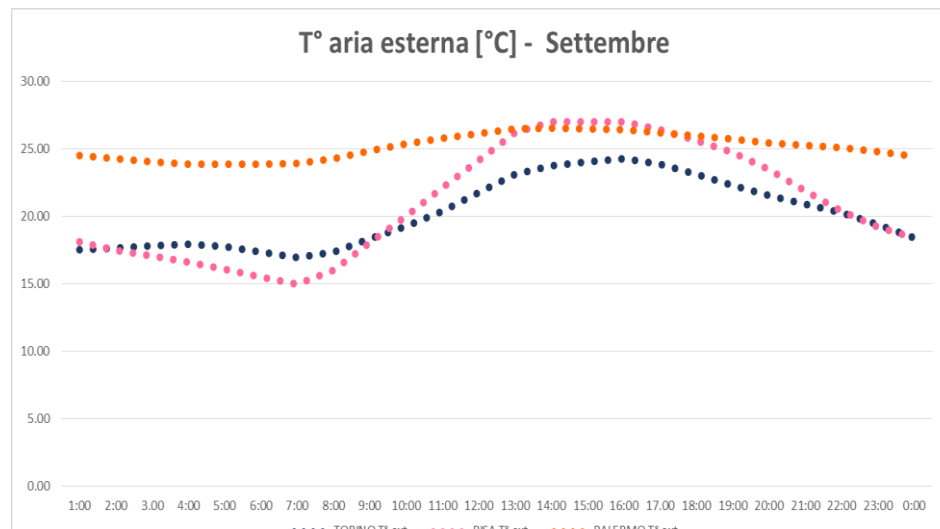
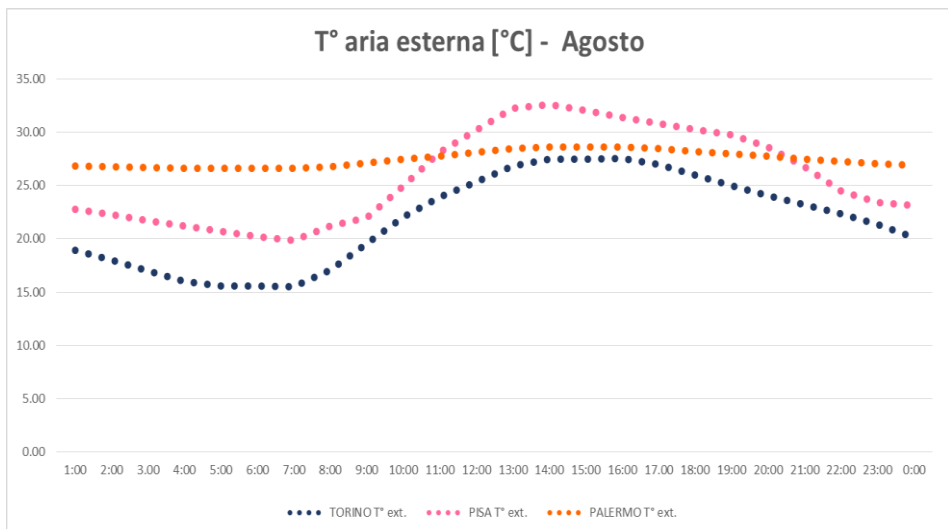
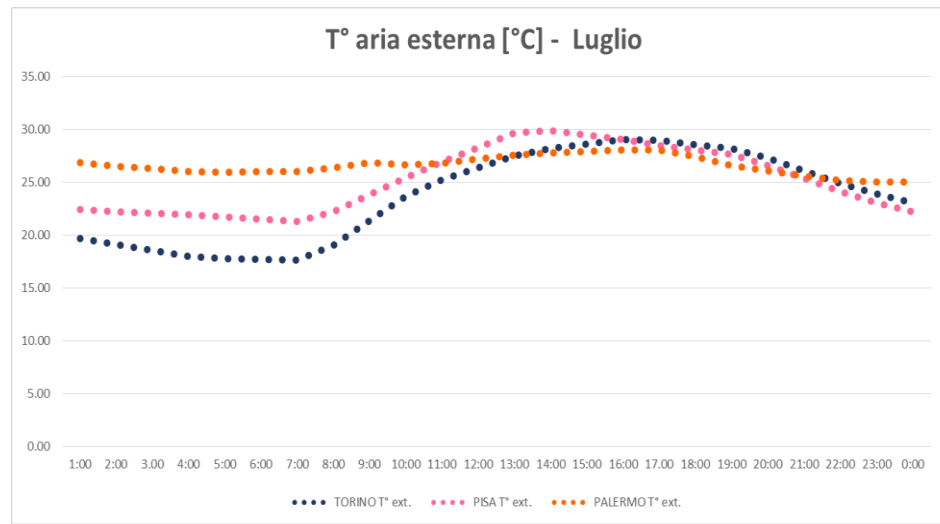
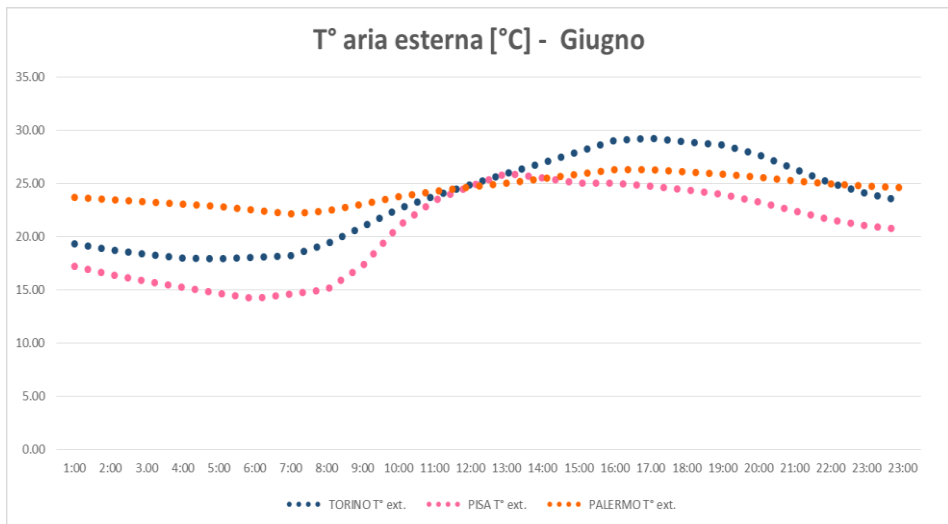


Tabella 16 Andamento delle T° dell'aria esterna nelle tre località di riferimento

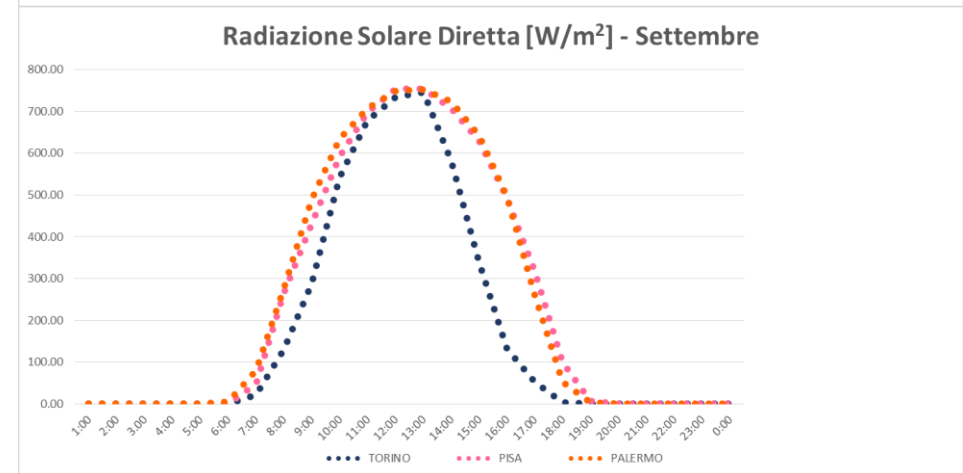
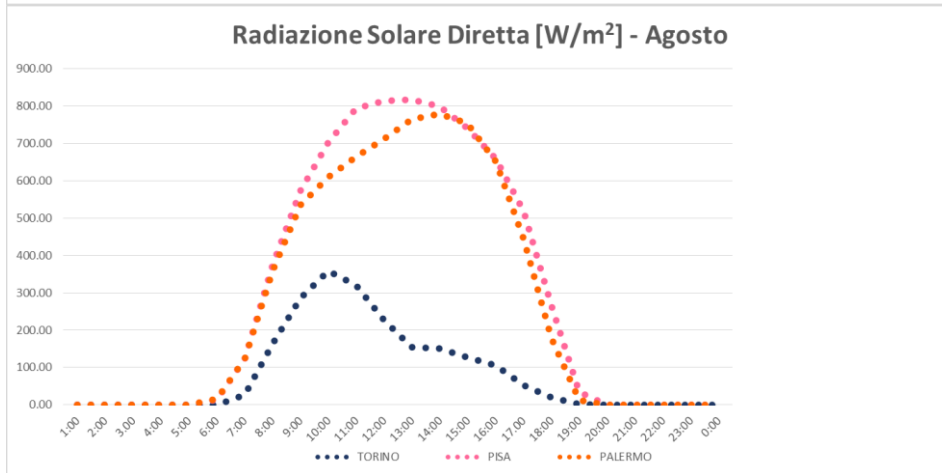
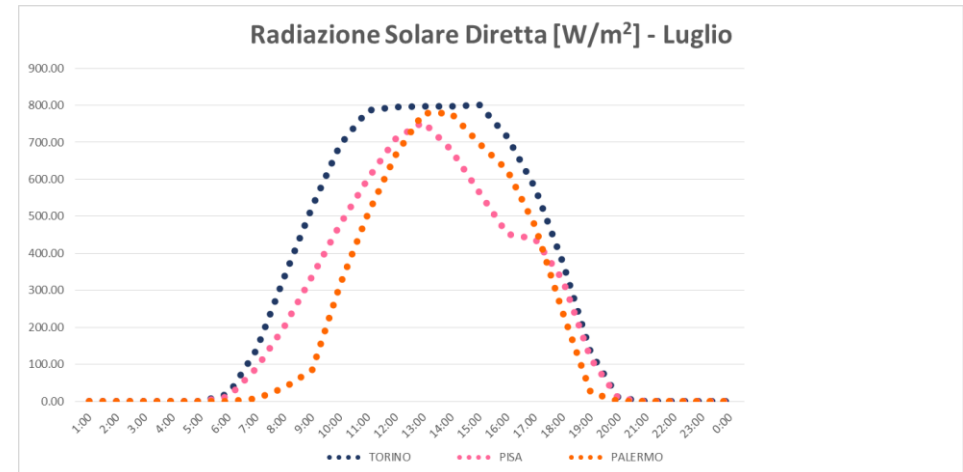
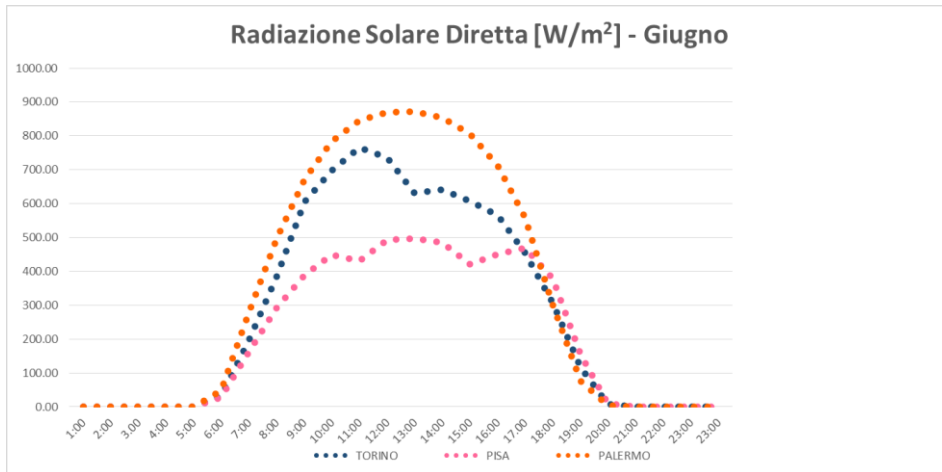


Tabella 17 Livelli di Intensità della Radiazione solare diretta nelle tre località di riferimento

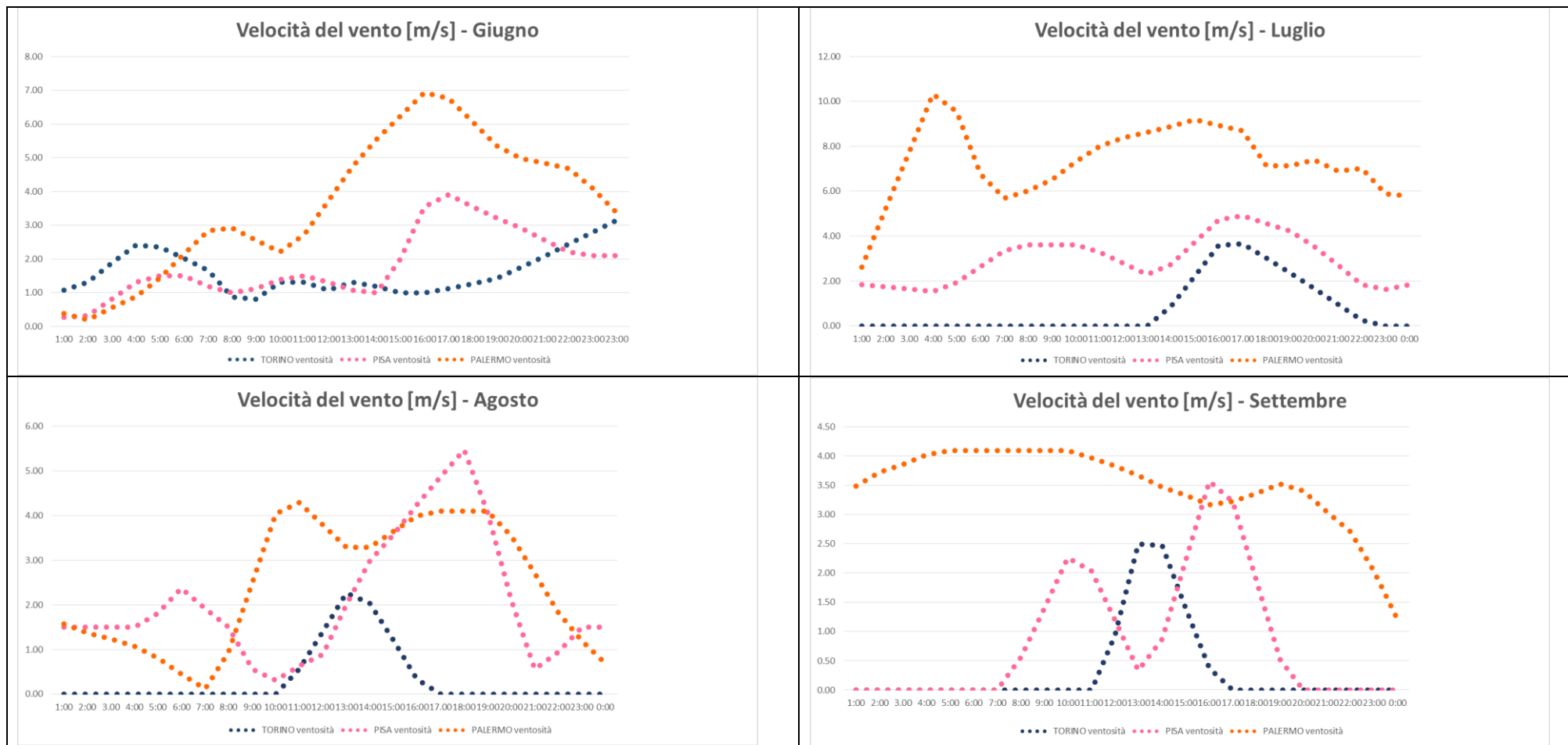


Tabella 18 Velocità del vento nelle tre località di riferimento

8 Curriculum scientifico del gruppo di lavoro impegnato nell'attività

Prof. Ing. Fabio Fantozzi

Curriculum Vitae

Fabio Fantozzi, nato a Pontedera (Pi) nel 1954, laureato in Ingegneria Meccanica con tesi sperimentale dal titolo "Progetto di un corpo nero sul principio del tubo di calore per applicazioni termometriche" presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pisa, Dottore di Ricerca in Fisica Tecnica (1° ciclo- Curriculum: Termofluidodinamica, è attualmente Professore Associato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC).

Oltre ad un'intensa attività didattica, ha partecipato, in qualità di relatore, a circa 100 tesi di laurea nell'ambito dei Corsi di Laurea in Ing. Meccanica, Chimica, Civile ed Edile. Questa attività, in qualche caso, lo ha portato non solo a fare da correlatore di studenti di altre Facoltà (Architettura di Firenze e C.L. in Conservazione e Beni Culturali dell'Università di Parma) ma anche ad intraprendere importanti collaborazioni di ricerca con Enti e Università straniere

È attualmente Presidente del Consiglio aggregato dei Corsi di laurea magistrale in Ingegneria idraulica, dei trasporti e del territorio, in Ingegneria edile, in Ingegneria delle Costruzioni civili e in Ingegneria edile e delle Costruzioni civili (laurea interclasse di recente istituzione).

L'attività scientifica si è svolta inizialmente su diverse applicazioni di tubi di calore, su cui aveva lavorato anche durante la tesi (Titolo: "Progetto di un corpo nero sul principio del tubo di calore per applicazioni termometriche").

In particolare, i tubi di calore erano costituiti da termosifoni bifase con applicazioni previste nei campi:

- a) della geotermia
- b) del raffreddamento dell'elettronica, soprattutto di potenza.

Tale attività è stata a lungo svolta in collaborazione con il Moscow Power Engineering Institute di Mosca. Successivamente, ha cominciato ad interessarsi all'influenza che i parametri termoigrometrici e l'inquinamento esterno hanno sugli ambienti in cui si voglia garantire una corretta conservazione dei manufatti di interesse storico ed artistico, facendo anche parte di gruppi di lavoro, nell'ambito del CTI (Comitato Termotecnico Italiano) per la stesura di progetti di norme sull'argomento

Attualmente, con riferimento alle Direttive Europee sul rendimento energetico in edilizia, svolge la sua attività, principalmente su tematiche di diagnosi energetica, risparmio energetico e riqualificazione di edifici esistenti, tema sul quale è stato chiamato a fare da relatore in diverse occasioni.

Ha lavorato sul tema della "Certificazione Energetica degli edifici", anche nell'ambito del Comitato Termotecnico Italiano (CTI) in cui ha fatto parte di due specifici Gruppi di Lavoro del SottoComitato 1 riguardanti: a) Norme tecniche a supporto della legislazione energetica degli edifici, b) Caratteristiche termiche dei materiali.

L'attività si è poi definitivamente spostata su temi più tipici della Fisica Tecnica Ambientale, in particolare sullo studio di pareti multistrato e ventilate in edilizia, tema con cui ha fatto parte anche di diversi PRIN di ricerca a livello nazionale.

Ha lavorato su tematiche acustiche, con particolare riferimento a barriere acustiche autostradali.

Ha condotto, in qualità di Responsabile, diversi contratti di ricerca con aziende, su tematiche energetiche e ha partecipato come relatore a diversi Convegni e Corsi, sempre in materia energetica, sia in Italia che all'estero.

L'attività di ricerca svolta è documentata dalla produzione di un centinaio di lavori scientifici pubblicati su riviste internazionali e italiane e su atti di convegni.

Ing. Carlo Bibbiani

Curriculum Vitae

Carlo Bibbiani, nato a Pisa nel 1962, consegue la Laurea in Ingegneria Civile, Sezione Idraulica, presso la Università degli Studi di Pisa. Successivamente consegue il titolo di Dottore di Ricerca in " Genio rurale " (IX° Ciclo, 1996) presso l'Università di Pisa. Dal 2001 è Ricercatore universitario presso il Dipartimento di Scienze Veterinarie (DSV) dell'Università di Pisa.

Ha svolto ricerche nei seguenti settori : Energia rinnovabile applicata ai sistemi serra; Compilazione di software volto alla simulazione climatica nelle serre; Studio delle proprietà fisiche ed idrauliche dei substrati per le colture fuori suolo; Simulazione della relazione suolo-acqua nelle colture fuori suolo.

Ha partecipato come relatore a diversi Convegni, in materia energia rinnovabili applicate alla agricoltura, sia in Italia che all'estero.

L'attività di ricerca svolta è documentata dalla produzione di una cinquantina di lavori scientifici pubblicati su riviste internazionali e italiane e su atti di convegni.

Arch. Caterina Gargari

Curriculum Vitae

Caterina Gargari, Laureata in Architettura presso la facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze, dottore di Ricerca in Tecnologia dell'Architettura, svolge attività di ricerca presso il Dipartimento TAeD Tecnologie dell'Architettura e Design di Firenze e il Dipartimento DESTEC dell'Università di Pisa sulle tematiche della progettazione sostenibile con particolare riguardo alla qualificazione energetica e alla valutazione di impatto ambientale di materiali e edifici. Ha iniziato la sua attività di ricerca partecipando a numerosi progetti europei sulla progettazione ambientale, il risparmio e l'efficienza energetica, l'utilizzo di energie rinnovabili, con particolare riferimento alla progettazione in clima mediterraneo. Dal 2004 si occupa nello specifico di Valutazione delle prestazioni ambientali dei materiali da costruzione secondo la metodologia LCA e dal 2006 è membro stabile, nominata da UNI, del tavolo di lavoro CEN TC 350 "Sustainability of Construction Works".