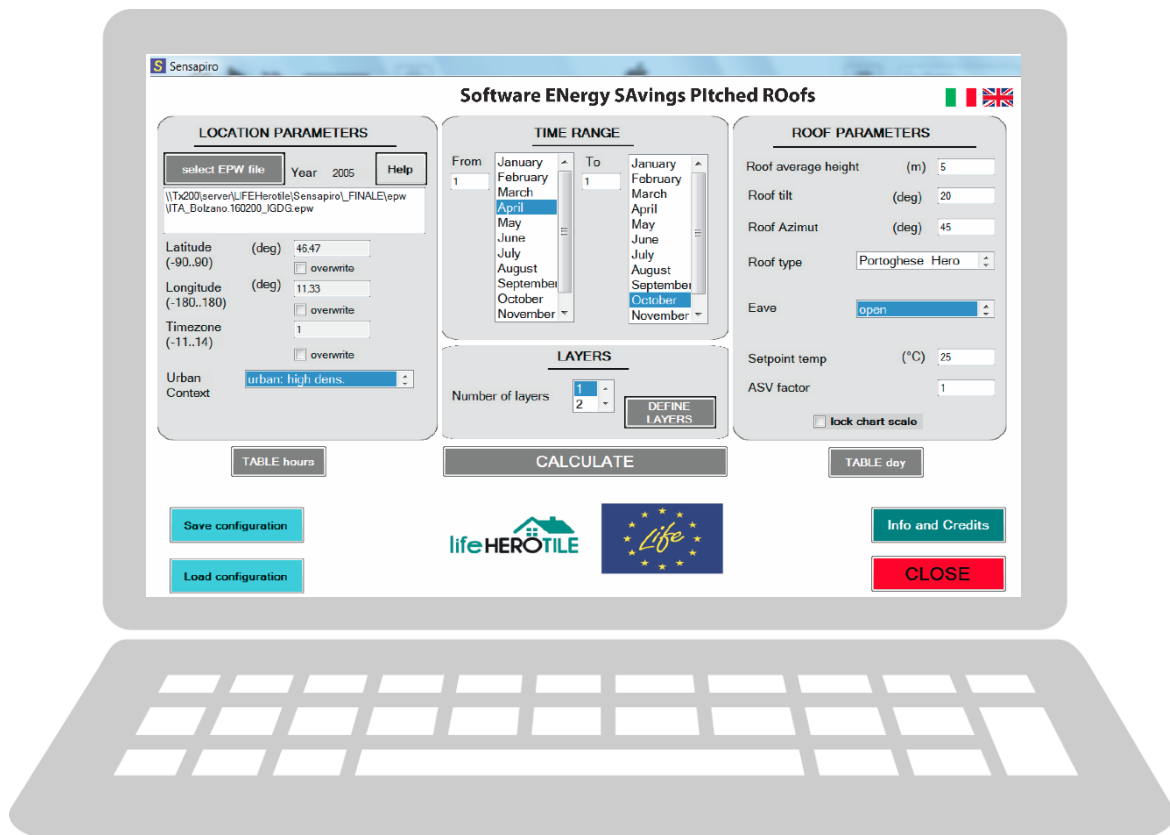


SENSAPIRO – Software ENergy SAving Pitched ROofs



LIFE14CCA/IT/000939

Software per la verifica del risparmio energetico dei tetti a falda

MANUALE SENSAPIRO

Versione 1.0
gennaio 2019



MANUALE DEL SOFTWARE SENSAPIRO

SOMMARIO

1. Introduzione	3
2. Installazione	4
2.1 File di programma	4
2.2 Configurazione del separatore decimale	4
2.3 Modifica dei file *.TXT	5
2.3.1 File "LAYERS.TXT"	5
2.3.2 File "PARAMETERS.TXT"	5
3. Esecuzione del software	6
3.1 Selezione del file meteo (*.EPW)	7
3.2 Definizione del periodo di calcolo	7
3.3 Definizione della struttura del tetto	7
3.4 Caratterizzazione del manto di copertura del tetto	8
3.4.1 Altezza del tetto	8
3.4.2 Inclinazione del tetto	9
3.4.3 Orientamento del tetto	9
3.4.4 Tipologia del tetto	9
3.4.5 Tipologia della gronda	10
3.4.6 Temperatura di setpoint	10
3.4.7 Fattore ASV	10
3.5 Salvataggio e caricamento di una configurazione	10
4. Output del software	11
5. Metodologia	13
6. Bibliografia	15



1. Introduzione

Il programma SENSAPIRO è un software sviluppato nell'ambito del progetto europeo LIFE+ HEROTILE (LIFE14-CCA/IT/000939), al cui partenariato hanno partecipato i seguenti partner:

- ICP, Industrie Cotto Possagno (coordinatore, IT);
- TERREAL San Marco (IT);
- BMI (UK);
- ACER, Azienda Casa Emilia Romagna (IT);
- ANDIL, Associazione Nazionale Industriali dei Laterizi (IT);
- Università degli Studi di Ferrara (IT).

SENSAPIRO è in grado di stimare in forma semplificata le prestazioni, in termini di consumi energetici per il raffrescamento in regime estivo, che alcune tipologie di tetto e di manto di copertura possono fornire agli edifici.

Il software è basato sull'analisi statistica di prolungati rilievi strumentali svolti su edifici sperimentali appositamente realizzati, confrontati anche con casi reali opportunamente monitorati. Pertanto non sostituisce altri codici di calcolo in commercio che si basano su analisi fisico tecnica, ma propone una valutazione speditiva per la comparazione diretta e preliminare delle prestazioni di differenti tipologie di copertura.

Oltre alle prestazioni di manti di copertura standard realizzati con tegole portoghesi, tegole marsigliesi, lastre metalliche e membrane normalmente in commercio, SENSAPIRO consente anche la valutazione delle prestazioni di due particolari tipologie di tegola portoghese e marsigliese sviluppate all'interno del progetto HeroTile al fine di incrementare le prestazioni della circolazione d'aria nel sottomanto ai fini della climatizzazione passiva degli ambienti sottotetto in regime estivo.

Il software è freeware, liberamente scaricabile dal sito ufficiale del progetto (www.lifeherotile.eu), dai siti dei partner e da altri siti ad essi collegati.

Per l'utilizzo dei risultati e/o per consentire lo scaricamento del programma presso altri siti viene cortesemente richiesta adeguata citazione come segue:

Sensapiro, programma Europeo LIFE "Climate Change Adaptation" progetto HeroTile 2015-2018 (LIFE14 CCA/IT/000939)

Per quanto sia stato compiuto ogni sforzo e controllo per rimuovere errori e imprecisioni, si declina ogni responsabilità conseguente all'impiego dei risultati ottenibili dal presente software.



2. Installazione

2.1 File di programma

SENSAPIRO è costituito dai seguenti file:

- SENSAPIRO.EXE, programma eseguibile in ambiente WINDOWS;
- ITEXTSHARP.DLL, libreria necessaria all'esecuzione del programma;
- PARAMETER.TXT, file editabile per la configurazione del programma in avvio;
- LAYERS.TXT, file editabile contenente i parametri termofisici di materiali edilizi;
- COEFF_POLAR_ASV, file binario contenente i parametri statistici riguardanti la ventilazione del manto di copertura;
- COEFF_Q, file binario contenente i parametri statistici riguardanti l'apporto termico conseguente a irraggiamento, ASV, setpoint e orientamento.

Inoltre SENSAPIRO utilizza i file meteorologici standard del software ENERGYPLUS (<https://energyplus.net>), aventi estensione *.EPW e che sono scaricabili dal sito <https://energyplus.net/weather>. Tali file costituiscono la caratterizzazione meteorologica attraverso cui SENSAPIRO assume l'irraggiamento solare, il regime anemometrico, la temperatura dell'aria, nonché le principali informazioni (longitudine, latitudine, ...) sulla località nella quale il progettista intende effettuare la valutazione delle prestazioni delle coperture come consentito dal programma.

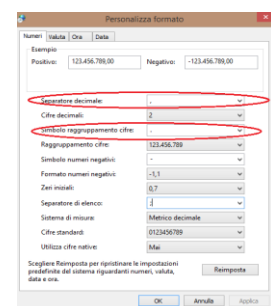
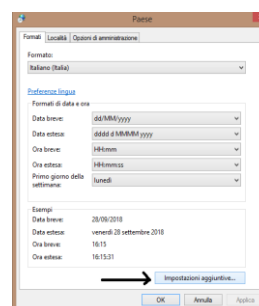
Grazie a questa scelta è possibile effettuare queste valutazioni in una moltitudine di località nel globo.

2.2 Configurazione del separatore decimale

Affinché SENSAPIRO esegua correttamente i calcoli, tutte le quantità numeriche devono essere espresse utilizzando come separatore decimale la virgola (",") e non il punto (".").

Ciò vale sia per la valorizzazione numerica all'interno del programma, sia per i file editabili letti dallo stesso (*.TXT).

Per la medesima ragione è necessario configurare correttamente le Opzioni internazionali di WINDOWS, accessibili dal Pannello di Controllo, settando, nelle Impostazioni Aggiuntive, la virgola (",") come separatore decimale dei numeri e il punto (".") come simbolo di raggruppamento di cifre.





2.3 Modifica dei file *.TXT

L'utente può editare e modificare i file *.TXT per modificare valori e caratterizzare diversamente il programma, secondo le informazioni di seguito precisate:

2.3.1 File "LAYERS.TXT"

Questo file contiene una lista di default di possibili materiali edili e soluzione tecniche, selezionabile nel menu a tendina del programma, per configurare il proprio personale "pacchetto di copertura".

Il formato di ogni record del file contiene:

- nome attribuito allo strato;
- coefficiente di conducibilità termica ($W\ m^{-1}\ K^{-1}$);
- calore specifico ($J\ kg^{-1}\ K^{-1}$);
- densità ($kg\ m^{-3}$).

Per esempio: *Blocco forato;0,35;840;750*.

Tutti i precedenti valori devono risultare separati dal simbolo di punto-e-virgola (";") e devono avere come separatore decimale il simbolo di virgola (",").

In questo modo l'utente può aggiungere nuovi record corrispondenti a nuovi layer o modificare quelli già esistenti semplicemente sovrascrivendo questo file in funzione di proprie specifiche esigenze, particolari configurazioni, uso di materiali differenti, ecc.

Tuttavia, per caratterizzare intercapedini d'aria, è necessario che tra le righe del file di testo LAYERS.TXT rimanga il record "Aria;0,026;1,2;1005", dove Aria deve avere la "A" maiuscola se in italiano; se in inglese, il record dev'essere "Air;0,026;1,2;1005" con la A di Air maiuscola.

2.3.2 File "PARAMETERS.TXT"

Questo file contiene i parametri numerici che servono per configurare l'avvio del programma, nonché valori di default di alcune grandezze necessarie all'algoritmo di calcolo. Il file è costituito da una sola riga, nel formato seguente:

0,15;ENG;5;20;45;25;25;1006;25;1367;20;30;0,952;10;50;0;0,5;0,4;0,3;0,2;0,1

dove:

- valore 1 (0,15), fattore di scala
- valore 2 (ENG), lingua di avvio dell'interfaccia grafica (ITA=italiano; ENG=inglese)
- valore 3 (5), altezza media del tetto, [m]
- valore 4 (20), inclinazione della falda del tetto, [deg]
- valore 5(45), azimut del tetto, [deg]
- valore 6 (25), temperatura di setpoint, [°C]
- valore 7 (25), irraggiamento minimo diurno, [$W\ m^{-2}$]
- valore 8 (1006), pressione atmosferica di riferimento, [Pa]



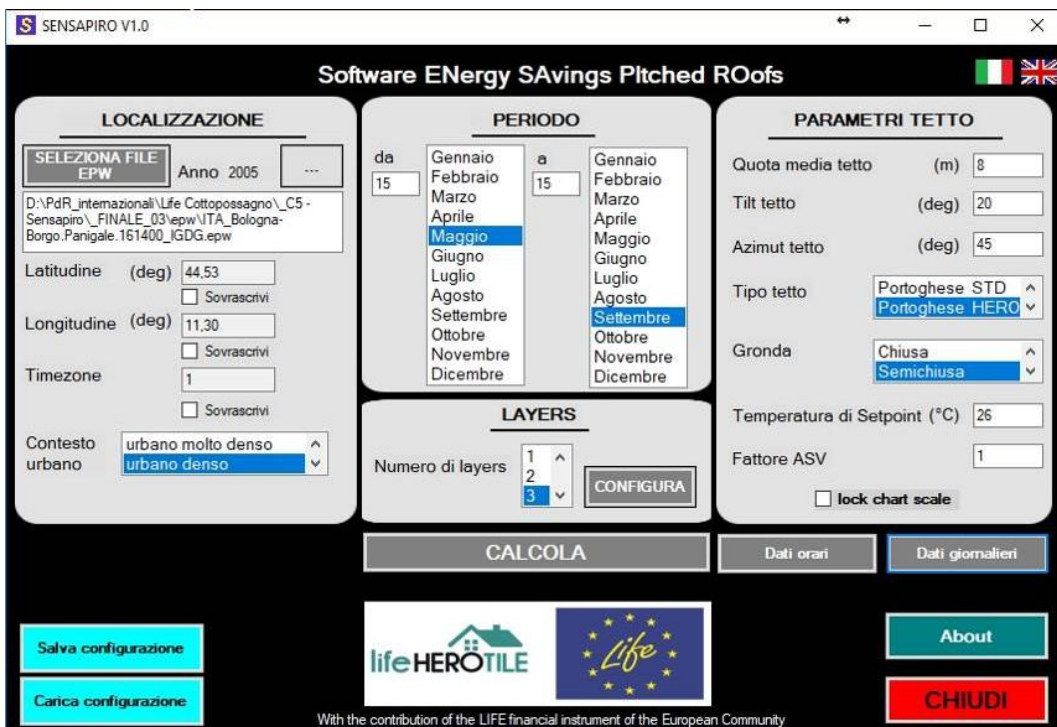
- valore 9 (25), temperatura di bulbo secco di riferimento, [°C]
- valore 10 (1367), irraggiamento solare di riferimento, [W m⁻²]
- valore 11 (20), valore minimo della temperatura di setpoint, [°C]
- valore 12 (30), valore massimo della temperatura di setpoint, [°C]
- valore 13 (0,952), fattore di attenuazione di riferimento
- valore 14 (10), valore minimo del tilt del tetto, [deg]
- valore 15 (50), valore massimo del tilt del tetto, [deg]
- valore 16 (0), valore di debug interno
- valori da 17 a 21, coefficienti caratterizzanti il profilo di vento per tipologia di terreno (α)

3. Esecuzione del software

Il programma si avvia lanciando direttamente il file eseguibile SENSAPIRO.EXE. Per una più semplice e frequente esecuzione è possibile creare sul desktop un collegamento al programma, seguendo le consuete modalità di WINDOWS.

All'avvio, la finestra principale consente di:

- selezionare il file meteo (*.EPW) dal database del software ENERGYPLUS, come precedentemente specificato (tabella a sinistra);
- specificare il contesto urbano all'interno del quale si colloca l'edificio il cui tetto è oggetto di valutazione (tabella a sinistra in basso)
- scegliere il periodo di calcolo (tabella al centro in alto);
- definire la configurazione del "pacchetto di copertura" e quindi i materiali degli strati e i relativi spessori (tabella al centro in basso);
- definire la configurazione del tetto (tabella a destra).



SENSAPIRO V1.0

Software Energy Savings PItched ROofs

LOCALIZZAZIONE

SELEZIONE FILE EPW Anno 2005

D:\PdR_internazionali\Life Cottopossagno_C5 - Sensapiro_FINALE_03\epw\ITA_Bologna-Borgo.Panigale.161400_JGDG.epw

Latitudine (deg) 44.53

Longitudine (deg) 11.30

Timezone 1

Contesto urbano urbano molto denso

PERIODO

da 15 a 15

Gennaio Febbraio
Marzo Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre

PARAMETRI TETTO

Quota media tetto (m) 8

Tilt tetto (deg) 20

Azimut tetto (deg) 45

Tipo tetto Portoghese STD
Portoghese HERO

Gronda Chiusa
Semichiusa

Temperatura di Setpoint (°C) 26

Fattore ASV 1

LAYERS

Numero di layers 1 2 3

CALCOLA

Dati orari Dati giornalieri

Salva configurazione Carica configurazione

lifeHEROTILE

About

CHIUDI

With the contribution of the LIFE financial instrument of the European Community



3.1 Selezione del file meteo (*.EPW)

Per eseguire il calcolo l'utente deve in primo luogo specificare la località nella quale intende condurre la valutazione numerica delle prestazioni della copertura. Ciò avviene automaticamente alla selezione dei file EPW eventualmente già preventivamente memorizzati sul computer da parte dell'utente, recuperandoli attraverso il tasto SELEZIONA FILE EPW.

In alternativa, se l'utente non ha alcun file EPW memorizzato sul proprio computer o se desidera fare delle valutazioni su località di cui non possiede il file EPW con i relativi dato meteorologici, può accedere direttamente al sito web di archiviazione dei file ufficiali EPW (<https://energyplus.net/weather>), dopo aver cliccato sul tasto "...". Una volta raggiunto il sito di Energyplus, l'utente potrà ricercare la stazione meteo della località di interesse e scaricarne il relativo file EPW secondo le consuete modalità disponibili con i più comuni browser.

Laddove non risultasse disponibile nella zona di interesse una stazione meteorologica, l'utente potrà caricare quella che ritiene più adeguata e modificare manualmente longitudine, latitudine e time-zone, per una più precisa stima dell'angolo di inclinazione dell'irraggiamento solare.

In questo modo, una volta che l'utente si è creato la propria libreria specifica di località di interesse, il programma funziona senza alcuna necessità di connessione alla rete.

3.2 Definizione del periodo di calcolo

Il periodo di calcolo è definito attraverso il giorno e mese di inizio e quelli di fine. I giorni di inizio e fine sono compresi nel calcolo. Per esempio, per definire il periodo dal 13 giugno – 23 agosto, l'utente dovrà inserire nell'apposito campo il giorno di inizio (13) e selezionare il mese (giugno); in analogia i dati di fine periodo.

Nel caso l'utente inserisca un giorno solare di inizio posteriore a quello di fine, il programma organizza il periodo considerando il passaggio per il 31 dicembre. Per esempio, se l'utente definisce il periodo 22 ottobre – 4 marzo, il programma svolgerà l'analisi dal 22 ottobre al 31 dicembre e dal 1 gennaio al 4 marzo. In questo modo, il programma consente l'analisi anche nell'emisfero australe.

3.3 Definizione della struttura del tetto

SENSAPIRO consente di definire i layer costituenti il pacchetto strutturale sottostante il manto di copertura scegliendo i prodotti nella finestra che appare cliccando sull'apposito tasto. Mentre le prestazioni che riguardano il manto di copertura sono definite statisticamente in base ai rilievi sperimentali effettuati nel corso dei tre anni del progetto HeroTile, la trasmissione di calore nel pacchetto strutturale è risolta in base alla norma UNI EN ISO 13786:2018, attraverso il calcolo del fattore di attenuazione, dello sfasamento e di altre grandezze.

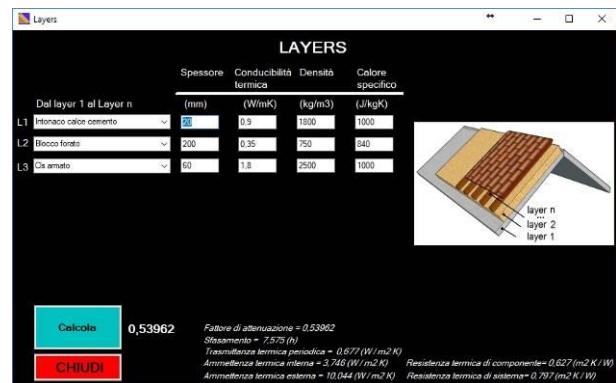
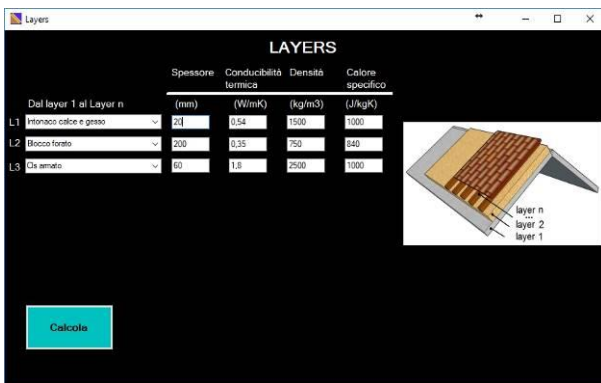
La configurazione della struttura del tetto avviene indicando nella finestra principale il numero di layer costituenti il pacchetto di copertura che si intende valutare e quindi cliccando sull'apposito pulsante. Nella nuova finestra che verrà avviata comparirà un numero di record pari al numero di layer indicato (L1,..., Ln). Procedendo logicamente nell'inserimento degli strati dal lato interno verso quello esterno della copertura, è possibile selezionare, dal menu a tendina, il materiale o il prodotto



costituente lo strato tra quelli riportati nel file LAYERS.TXT. Attraverso tale selezione, il programma compila automaticamente i campi dei parametri fisico-tecnici, lasciando all'utente la sola compilazione dello spessore. Come già accennato, l'utente può implementare questo elenco inserendo, nel file LAYERS.TXT, record contenenti i dati di materiali e prodotti di proprio specifico impiego.

L'utente può anche modificare anche i valori automaticamente compilati; tale operazione non influisce però sul file LAYERS.TXT, ma solamente sulla specifica configurazione in corso (che può anche essere eventualmente salvata nel file di salvataggio). Laddove si volessero modificare permanentemente i dati relativi a un materiale, l'utente deve editare e modificare autonomamente il file LAYERS.TXT; al riavvio del programma, tale file modificato verrà letto e quindi saranno riportate le nuove informazioni.

Una volta compilata la configurazione della struttura, l'azione sul pulsante Calcola calcolerà e visualizzerà il fattore di attenuazione e una serie di altre grandezze (trasmittanza termica periodica, ammettenze, resistenza termica, ...), ai sensi della norma UNI EN ISO 13786:2018 richiamata.



3.4 Caratterizzazione del manto di copertura del tetto

Per la caratterizzazione del tetto, l'utente deve definire:

- l'altezza di riferimento del tetto rispetto al suolo, [m];
- l'inclinazione del tetto rispetto all'orizzontale, [deg];
- l'orientamento del tetto rispetto al Nord, [deg];
- la tipologia del manto di copertura;
- la configurazione della gronda;
- la temperatura di setpoint, [°C].

3.4.1 Altezza del tetto

L'altezza di riferimento da inserire per il tetto da valutare è assunta rispetto al suolo ed è espressa in metri.



Tale informazione è utilizzata dal programma per ragguagliare l'intensità del vento (v_0) a 10 m (z_0) letta nel file meteo (*.EPW) attraverso il profilo di vento selezionato con la scelta del contesto urbano (α). L'espressione adottata è la seguente:

$$v = v_0 \cdot \left(\frac{z}{z_0} \right)^\alpha$$

3.4.2 *Inclinazione del tetto*

L'inclinazione del tetto esprime l'angolo rispetto all'orizzontale in [deg].

Attraverso tale informazione il programma determina l'angolo di incidenza della radiazione solare, attraverso l'algoritmo riportato nel programma SOLPOS V2.0, sviluppato dalla National Renewable Energy Laboratory, Center for Renewable Energy Resources – Renewable Resource Data Center (<https://rredc.nrel.gov/solar/codesandalgorithms/solpos/aboutsolpos.html>).

3.4.3 *Orientamento del tetto*

La definizione dell'orientamento del tetto è specifico di coperture a falde, mentre è indipendente per i tetti piani. In quest'ultimo caso, il programma rende pertanto non valorizzabile tale campo.

L'orientamento della falda del tetto esprime l'angolo di esposizione rispetto al Nord, assunto pari a 0 deg. In altri termini, l'esposizione di una falda a Est risulterebbe definita da un angolo pari a 90 deg, mentre a Sud da 180 deg.

Il programma è in grado di valutare una falda singola. Di conseguenza, per tetti caratterizzati da più falde con diverse inclinazioni e/o orientamenti, l'utente dovrà effettuare diverse valutazioni e considerarle poi nel loro complesso.

3.4.4 *Tipologia del tetto*

La tipologia del tetto è scelta dall'utente tra le 5 configurazioni monitorate di tetti ventilati e di un tetto piano, per le quali è stata condotta l'analisi statistica del flusso termico entrante a fronte di una camera di ventilazione di 7cm di ampiezza, realizzata mediante la posa in opera delle tegole sopra una orditura di listelli di legno di 4 cm + 3 cm di spessore.

Le sigle riguardano queste tipologie di manto:



PORTOGHESE
STANDARD



PORTOGHESE
HEROTILE



MARSIGLIESE
STANDARD



MARSIGLIESE
HEROTILE



TETTO
METALLICO



PIANO



3.4.5 Tipologia della gronda

Nei tetti ventilati, normalmente la linea di gronda costituisce il punto di ingresso dell'aria di ventilazione. Questa linea di gronda può però essere parzialmente chiusa dalla presenza di un profilo parapasseri che ne riduce la sezione o praticamente chiusa dalla presenza di un canale di gronda collocato a ridosso della prima fila di tegole. Per questo motivo la configurazione della linea di gronda può essere scelta dall'utente tra le 3 configurazioni monitorate nel corso del progetto HeroTile e rappresentative di una apertura libera (assenza di parapasseri, sezione aperta 100%), semi-chiusa (presenza di parapasseri, apertura 50%), chiusa (apertura 0%).

La nuova configurazione delle tegole portoghese e marsigliese sviluppate all'interno del progetto HeroTile suppliscono i limiti di una linea di gronda parzialmente o totalmente chiusa grazie alla loro maggiore permeabilità all'aria fra la sovrapposizione delle tegole, a parità di tenuta all'acqua, e incrementano ulteriormente le prestazioni del tetto in presenza di gronda aperta.

3.4.6 Temperatura di setpoint

La temperatura di setpoint indica la temperatura in gradi centigradi [°C] che si desidera venga mantenuta al di sotto della copertura, per la climatizzazione estiva dell'attico.

3.4.7 Fattore ASV

Il Fattore ASV (Above Seathing Ventilation) è il parametro denominato f_{ASV} , variabile tra 0 e 1.

Tale fattore moltiplica il termine nel polinomio per il calcolo dell'apporto termico attraverso cui è statisticamente stimata l'incidenza della ventilazione nel sotto-manto di copertura.

In altri termini, è possibile intervenire su tale parametro per variare l'incidenza della ventilazione conseguente alla sola permeabilità del manto di copertura. Al valore 1 corrisponde la condizione di normale messa in opera delle tegole considerate, mentre al valore 0 corrisponde l'ipotesi di completo intasamento delle fessurazioni tra la sovrapposizione tegole, e quindi nessuna permeabilità all'aria del manto impermeabile.

N.B. Il fattore ASV non incide sulle prestazioni della ventilazione conseguente alla scelta del tipo di apertura in gronda. Pertanto l'eventuale configurazione che intenda valutare l'assenza assoluta di circolazione d'aria nel sotto-manto può essere ottenuta azzerando tale fattore e scegliendo "chiusa" la configurazione in gronda.

3.5 Salvataggio e caricamento di una configurazione

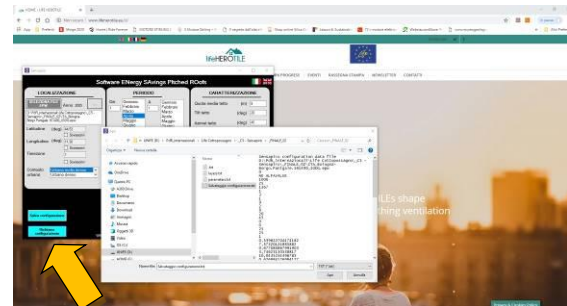
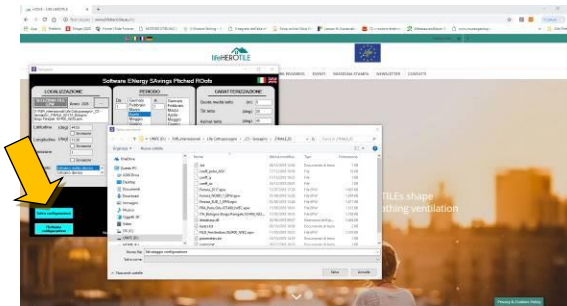
Il programma consente di salvare, su di una qualunque unità in uso dal computer, un file in cui è memorizzata la configurazione dell'analisi inserita dall'utente sino a quel momento. Tale file può successivamente essere richiamato e ricaricato dal programma per riottenere la medesima configurazione.

Le operazioni di salvataggio e caricamento avvengono utilizzando le normali funzionalità di WINDOWS.



I dati memorizzati sono tutti quelli inseriti sino a quel momento nel programma a esclusione dei file meteo (*.EPW). Di questi file è memorizzato solo il percorso all'interno del computer. Pertanto, laddove i file meteo venissero spostati, oppure i file di configurazione di Sensapiro venissero caricati in un altro computer, il programma non sarà più in grado di trovare tali file, informandone l'utente. In questo caso sarà necessario ricaricare i file meteo attuando una nuova selezione secondo le azioni di cui allo specifico paragrafo oppure trasferire anch'essi assieme al programma.

Il file di configurazione è un file di testo (*.TXT), eventualmente editabile dall'utente mediante un qualunque editor di testi.



4. Output del software

Completata la configurazione del tetto secondo le procedure descritte nei precedenti paragrafi, l'esecuzione del calcolo è avviata cliccando sul pulsante "CALCOLA".

Il programma esegue il calcolo su base oraria, in relazione allo step temporale presente nel file meteo (*.EPW), e restituisce i risultati in forma numerica e grafica.

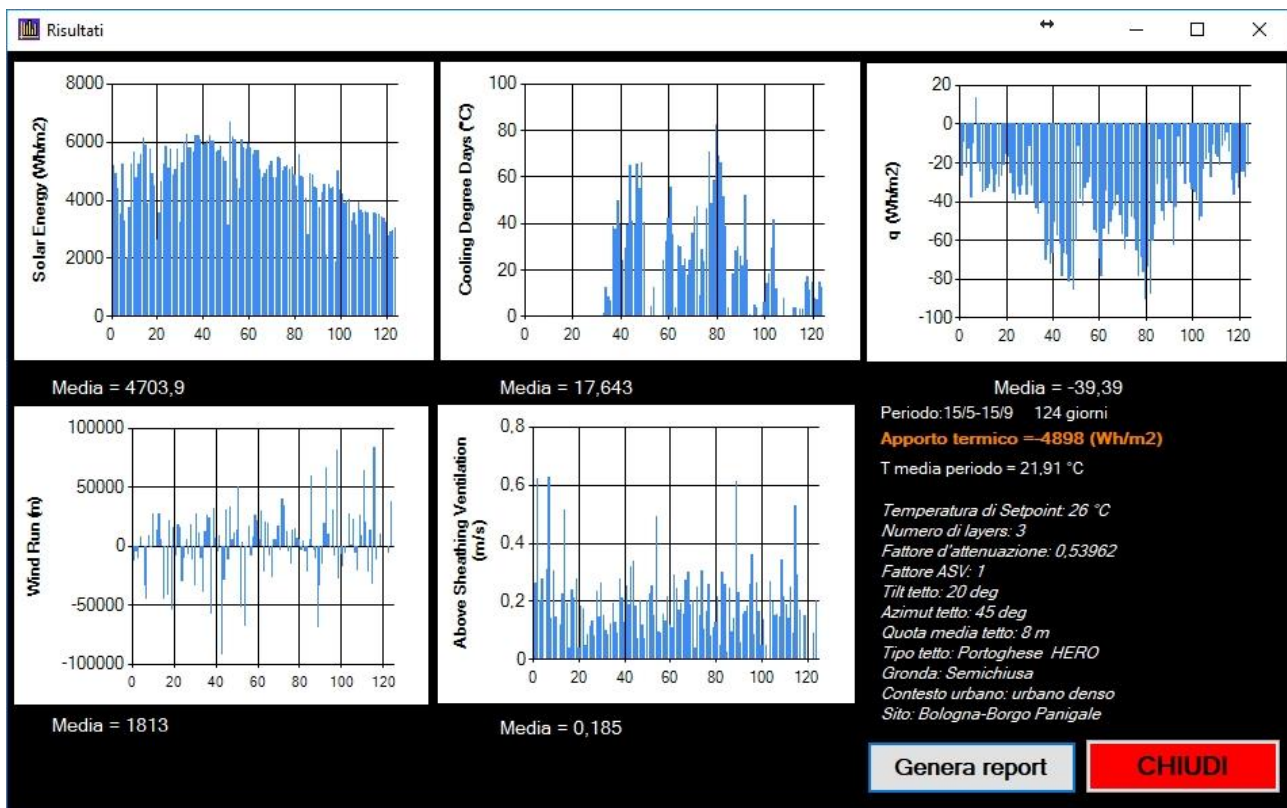
In forma numerica sono riportati i seguenti risultati:

- durata in giorni del periodo valutato;
- energia termica per unità di superficie di copertura e per il periodo considerato, che concorre al fabbisogno per raffrescamento correlato al setpoint scelto, al netto del calore latente legato all'umidità dell'aria (non conteggiata) [Wh m^{-2}];
- temperatura media di periodo [$^{\circ}\text{C}$];

In forma grafica sono riportate le serie storica a scala giornaliera delle seguenti grandezze:

- apporto solare ortogonale alla copertura [$\text{Wh m}^{-2} \text{day}^{-1}$];
- gradi giorno per raffrescamento rispetto alla temperatura di setpoint [$^{\circ}\text{C}$];
- flusso termico in copertura [$\text{Wh m}^{-2} \text{day}^{-1}$];
- wind run, ovvero l'integrale nel tempo della componente della velocità del vento nella direzione di orientamento del tetto [m day^{-1}];
- la velocità media dell'aria di ventilazione nel sotto-manto di copertura, [m s^{-1}].

Per ogni grafico è inoltre riportato il valore medio di periodo della grandezza restituita.



Per comodità, nella medesima finestra sono riportati i principali dati della caratterizzazione della copertura, per distinguere eventuali ulteriori finestre aperte da precedenti calcoli e consentire il confronto di differenti soluzioni. Il programma consente infatti di mantenere aperte tutte le finestre di calcolo avviate nella medesima sessione.

Per poter confrontare direttamente i grafici di più finestre di calcolo, il programma consente di mantenere la scala grafica spuntando la checkbox *Blocca scala grafici*. In questo modo, la scala verticale di tutti i grafici prodotti viene resa invariante e utilizzata per tutti i calcoli successivi a partire da tale azione e fino alla sua rimozione.

Attraverso il tasto *Genera Report* è possibile salvare un file in formato PDF contenente i principali risultati di cui in precedenza.

Il programma consente infine di salvare ulteriori due file in formato PDF.

Il primo file è generabile cliccando sul tasto *Dati orari*; tale file conterrà le medesime informazioni a scala oraria visualizzate nella nuova finestra aperta, ovvero:

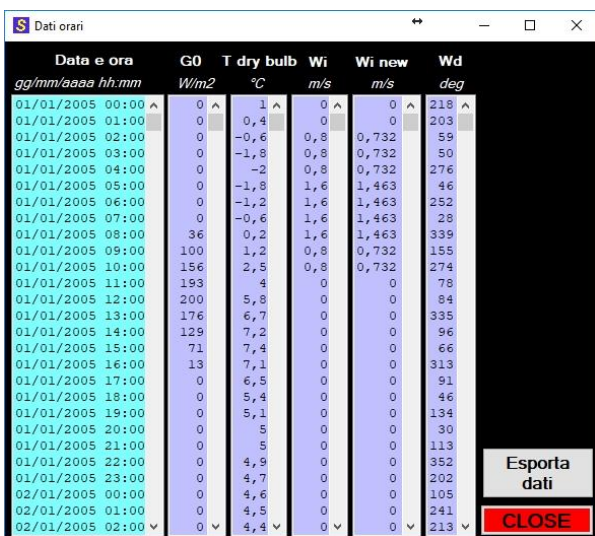
- G_0 , l'irraggiamento solare caricato dal file EPW [W m^{-2}];
- $T_{dry\ bulb}$, la temperatura di bulbo secco caricata dal file EPW [$^{\circ}\text{C}$];
- W_i , la velocità del vento caricato dal file EPW [m s^{-1}];
- W_d , la direzione del vento caricato dal file EPW [deg];
- $W_{i\ new}$, la componente del vento incidente normalmente al tetto [m s^{-1}].



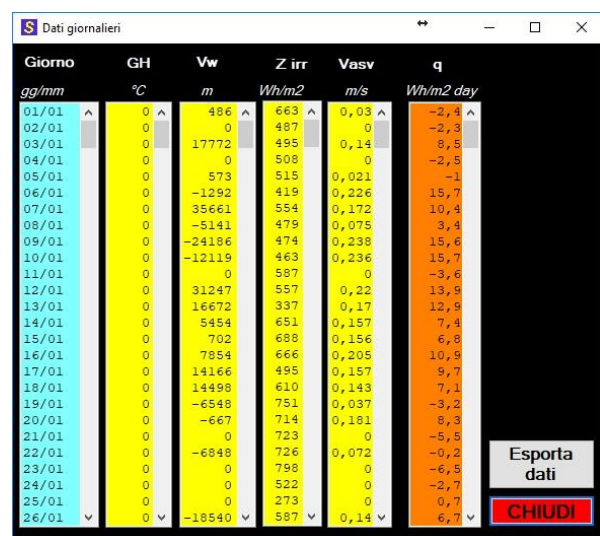
Il secondo file è generabile cliccando sul tasto Dati giornalieri; tale file conterrà le medesime informazioni a scala giornaliera visualizzate nella nuova finestra aperta, ovvero:

- GH , i gradi ora giornalieri riferiti al setpoint scelto [$^{\circ}C$];
- V_w , il wind run secondo l'orientamento del tetto [m];
- Z_{irr} , l'irraggiamento per la sola quota ortogonale al tetto [$Wh\ m^{-2}$];
- V_{ASV} , la velocità media dell'aria nella camera di ventilazione [$m\ s^{-1}$];
- q , l'energia termica specifica entrante dalla copertura [$Wh\ m^{-2}$].

Per entrambe le precedenti tabelle, selezionando un valore nella colonna della data, tutte le altre colonne si imposteranno sui valori corrispondenti a tale data.



Data e ora	G0	T dry bulb	Wi	Wi new	Wd
gg/mm/aaaa hh:mm	W/m2	$^{\circ}C$	m/s	m/s	deg
01/01/2005 00:00	0	1	0	0	218
01/01/2005 01:00	0	0,4	0	0	203
01/01/2005 02:00	0	-0,6	0,8	0,732	59
01/01/2005 03:00	0	-1,8	0,8	0,732	50
01/01/2005 04:00	0	-2	0,8	0,732	276
01/01/2005 05:00	0	-1,8	1,6	1,463	46
01/01/2005 06:00	0	-1,2	1,6	1,463	252
01/01/2005 07:00	0	-0,6	1,6	1,463	239
01/01/2005 08:00	36	0,2	1,6	1,463	339
01/01/2005 09:00	100	1,2	0,8	0,732	155
01/01/2005 10:00	156	2,5	0,8	0,732	274
01/01/2005 11:00	193	4	0	0	78
01/01/2005 12:00	200	5,8	0	0	84
01/01/2005 13:00	176	6,7	0	0	335
01/01/2005 14:00	129	7,2	0	0	96
01/01/2005 15:00	71	7,4	0	0	66
01/01/2005 16:00	13	7,1	0	0	313
01/01/2005 17:00	0	6,5	0	0	91
01/01/2005 18:00	0	5,4	0	0	46
01/01/2005 19:00	0	5,1	0	0	134
01/01/2005 20:00	0	5	0	0	30
01/01/2005 21:00	0	5	0	0	113
01/01/2005 22:00	0	4,9	0	0	352
01/01/2005 23:00	0	4,7	0	0	202
02/01/2005 00:00	0	4,6	0	0	105
02/01/2005 01:00	0	4,5	0	0	241
02/01/2005 02:00	0	4,4	0	0	213



Giorno	GH	Vw	Z irr	Vasv	q
gg/mm	$^{\circ}C$	m	Wh/m2	m/s	Wh/m2 day
01/01	0	486	663	0,03	-2,4
02/01	0	487	0	0	-2,3
03/01	0	17772	495	0,14	8,5
04/01	0	0	508	0	-2,5
05/01	0	573	515	0,021	-1
06/01	0	-1292	419	0,226	15,7
07/01	0	35661	554	0,172	10,4
08/01	0	-5141	479	0,075	3,4
09/01	0	-24186	474	0,238	15,6
10/01	0	-12119	463	0,236	15,7
11/01	0	0	587	0	-3,6
12/01	0	31247	557	0,22	13,9
13/01	0	16672	337	0,17	12,9
14/01	0	5454	651	0,157	7,4
15/01	0	702	688	0,156	6,8
16/01	0	7854	666	0,205	10,9
17/01	0	14166	495	0,157	9,7
18/01	0	14498	610	0,143	7,1
19/01	0	-6548	751	0,037	-3,2
20/01	0	-667	714	0,181	8,3
21/01	0	0	723	0	-5,5
22/01	0	-6848	726	0,072	-0,2
23/01	0	0	798	0	-6,5
24/01	0	0	522	0	-2,7
25/01	0	0	273	0	0,7
26/01	0	-18540	587	0,14	6,7

5. Metodologia

SENSAPIRO stima il fabbisogno energetico per la climatizzazione degli ambienti sottotetto per il periodo definito e per il setpoint di raffrescamento fissato, in conseguenza all'apporto termico entrante dalla copertura, come ubicata e caratterizzata dall'utente. Le coperture possono essere di tipo ventilato a falda con manto continuo (coperture metalliche) o discontinuo (tegole del tipo portoghese e marsigliese standard o HeroTile), oppure di tipo piano.

Il metodo di stima implementato in SENSAPIRO combina l'analisi statistica condotta sui dati monitorati nell'ambito del progetto HEROTILE alla norma UNI EN ISO 13786:2018.

La disponibilità di un database contenente diverse centinaia di milioni di dati di temperatura, anemometria, flusso termico e irraggiamento per le coperture ventilate monitorate durante il progetto HEROTILE ha infatti consentito di individuare correlazioni statistiche semplificate tra le condizioni meteorologiche più comunemente disponibili (irraggiamento, temperatura, ventosità) e il flusso termico entrante dalla copertura nell'ambiente sottostante al variare di alcuni caratteri del manto di copertura dei tetti ventilati.



Poiché a parità di umidità dell'aria, la variazione dell'energia termica entrante (q) tra diverse coperture rappresenta anche il differente fabbisogno per raffrescamento dell'ambiente sottostante, SENSAPIRO consente di fatto la stima sommaria del risparmio energetico per confronto diretto tra differenti tipologie di manto impermeabile di tetto.

In estrema sintesi, SENSAPIRO calcola l'energia termica giornaliera entrante dalla copertura, secondo il seguente polinomio:

$$q = a_0 + a_1 Z_{irr} + a_2 GH + a_3 V_{ASV} + a_4 V_w \text{ dove:}$$

- a_0 , termine noto del polinomio [$\text{Wh m}^{-2} \text{ day}^{-1}$];
- $a_1 Z_{irr}$, aliquota relativa all'irraggiamento solare ortogonale alla copertura [$\text{Wh m}^{-2} \text{ day}^{-1}$];
- $a_2 GH$, aliquota relativa ai gradi giorni per fissato setpoint [$\text{Wh m}^{-2} \text{ day}^{-1}$];
- $a_3 V_{ASV}$, termine relativo alla ventilazione nel sotto-manto [$\text{Wh m}^{-2} \text{ day}^{-1}$];
- $a_4 V_w$, termine legato all'esposizione sopra o sottovento della copertura [$\text{Wh m}^{-2} \text{ day}^{-1}$].

I coefficienti statistici a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 cambiano al variare del tipo di manto di copertura, dell'inclinazione e orientamento del tetto, mentre le altre grandezze fisiche conseguono all'integrazione o alla media giornaliera dei corrispettivi caratteri meteorologici della località scelta.

La ventilazione sottomanto (V_{ASV}) è calcolata sulla base della seguente funzione:

$$V_{ASV} = c(W_d) \cdot W_{i-new}$$

dove:

- W_{i-new} , componente della velocità del vento ambientale, ortogonale alla direzione del tetto [m s^{-1}];
- W_d , direzione del vento [deg];
- $c(W_d)$, coefficiente statistico dipendente dalla direzione del vento (angolo giro suddiviso in 16 settori), nonché dal tipo di tetto (n.6 tipologie), di gronda (n.3 tipologie) e di inclinazione (20, 30 e 40 deg). Per inclinazioni intermedie, il coefficiente è interpolato.

Le precedenti stime sono condotte a scala giornaliera, a partire dai valori orari riportati nel file meteorologico caratterizzante l'ubicazione della copertura.

Nella semplificazione di assenza di memoria termica dell'elemento edilizio tra un giorno e il successivo, la norma UNI EN ISO 13786:2018 è stata implementata per estendere i risultati al variare della struttura sottostante il manto di copertura, scalando il precedente flusso giornaliero mediante il fattore di attenuazione.

Le suddette semplificazioni, seppur concettualmente rilevanti, consentono la valutazione speditiva dell'incidenza della permeabilità all'aria di tetti ventilati con manto di copertura discontinuo, conseguente al complesso scambio di massa tra ventilazione esterna e sottomanto. Pertanto il programma non deve essere considerato sostitutivo dei rigorosi software attualmente disponibili, come per esempio EnergyPlus della US DOE, ma solamente integrativo proprio per il tipo di valutazione, giacché il ricordato scambio di massa non risulta a tutt'oggi ancora risolto.



6. Bibliografia

- AMORNLEETRAKUL O., PUANGSOMBUT W., HIRUNLABH J., *Field investigation of the small house with the ventilated roof tiles*, Advanced Materials Research, 931-932, 1233-1237, 2014.
- BIANCO V., DIANA A., MANCA O., NARDINI S., *Thermal behaviour evaluation of ventilated roof under variable solar radiation*, Int. J. of Heat and Technology, 34, 346-350, 2016.
- BORTOLONI M., BOTTARELLI M., PIVA S., *Summer thermal performance of ventilated roofs with tiled coverings*, Journal of Physics: Conference Series, 2017.
- BOTTARELLI M., BORTOLONI M., DINO G., *Experimental analysis of an innovative tile covering for ventilated pitched roofs*, Int J Low Carbon Technol, 13 (1), 6-14, 2018.
- BOTTARELLI M., BORTOLONI M., ZANNONI G., ALLEN R., CHERRY N., *CFD analysis of roof tile coverings*, Energy, 137, 391-398, 2017.
- BOTTARELLI M., BORTOLONI M., *On the heat transfer through roof tile coverings*, Int J Heat Technol, 35 (1), 16-21, 2017.
- BOTTARELLI M., ZANNONI G., BORTOLONI M., ALLEN R., CHERRY N., *CFD analysis and experimental comparison of novel roof tile shapes*, Propuls Power Res, 6 (2), 134-139, 2017.
- BS 5534:2014 *Slating and tiling for pitched roofs and vertical cladding – Code of practice*, BSI Standards Publication
- CIAMPI M., LECCESE F., TUONI F., *Energy analysis of ventilated and microventilated roofs*, Solar Energy, vol.79, 183-192, 2005.
- DE WITH G., CHERRY N., HAIG J., *Thermal Benefits of Tiled Roofs with Above-sheathing Ventilation*, Int. J. of Building Physics, 33, 171-194, 2009.
- DIMOUDI A., ANDROUTSOPOULOS A., LYKOURDIS S., *Summer performance of a ventilated roof component*, Energy and Buildings, 38, 610-617, 2006.
- D’ORAZIO M., DI PERNA C., PRINCIPI P., STAZI A., *Effects of roof tile permeability on the thermal performance of ventilated roofs: Analysis of annual performance*, Energy and Buildings, 40, 911-916, 2008.
- GAGLIANO A., PATANIA F., NOCERA F., FERLITO A., GALESÌ A., *Thermal performance of ventilated roofs during summer period*, Energy and Buildings, 49, 611-618, 2012.
- LEE S., PARK S.H., YEO M.S., KIM K.W., *An experimental study on airflow in the cavity of a ventilated roof*, Building and Environment, 44, 1431-1439, 2009.
- MADHUMATHI A., RADHAKRISHNAN S., SHANTHI PRIYA R., *Sustainable roofs for warm humid climates – A case study in residential buildings in Madurai, tamilnadu, India*, World App. Sc. J., 32, 1167-1180, 2014.
- MILLER W., KEYHANI M., STOVALL T., YOUNGQUIST A., *Natural Convection Heat Transfer in Roofs with Above-Sheathing Ventilation, Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings*, ASHRAE THERM X, Clearwater Beach, FL: ASHRAE, 2007.
- PYSolar libraries, <http://lists.pysolar.org>
- RAMOS J., ALMEIDA L., PITARMA R., *Experimental study on a naturally ventilated ceramic tile roof as potentially beneficial for the thermal performance of housing*, Materials and Technologies for Energy Efficiency, Brown Walker Press, Boca Raton, FL, USA, 2015.
- REDA I., ANDREAS A., *Solar position algorithm for solar radiation applications*, Solar Energy, 76 (5), 577-589, 2004.
- REDA I., ANDREAS A., *MIDC SPA Calculator to compute the solar position from universal time and location using NREL’s Solar Position Algorithm (SPA)*, <https://midcdmz.nrel.gov/solpos/spa.html>.
- SANDBERG M., MOSHFEGH, B., *Ventilated-solar roof airflow and heat transfer investigation*, Renewable Energy, 15, 287-292, 1998.
- UNI EN ISO 13786:2018 *Prestazione termica dei componenti per edilizia – Caratteristiche termiche dinamiche – Metodi di Calcolo / Thermal Performance of building components – Dynamic thermal characteristics – Calculation methods*.



lifeHEROTILE

LIFE14CCA/IT/000939

www.lifeherotile.eu

PARTNERS



Università
degli Studi
di Ferrara

