



Ricerca di Sistema elettrico

Il software SEAS per le diagnosi energetiche: interventi di assistenza e formazione e sviluppo di un modello semplificato per gli edifici ad uso residenziale

D. Testi, E. Schito, E. Menchetti, P. Conti, D. Della Vista,
G. Pellegrini, E. Tiberi, W. Grassi

P. Signoretti, G. Fasano



IL SOFTWARE SEAS PER LE DIAGNOSI ENERGETICHE: INTERVENTI DI ASSISTENZA E FORMAZIONE E SVILUPPO DI UN MODELLO SEMPLIFICATO PER GLI EDIFICI AD USO RESIDENZIALE

D. Testi, E. Schito, E. Menchetti, P. Conti, D. Della Vista, G. Pellegrini, E. Tiberi, W. Grassi, Università di Pisa, DESTEC

G. Fasano, P. Signoretti, ENEA

Settembre 2015

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2014

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: Edifici pubblici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio ad uso ufficio e scuole, Applicabilità di tecnologie innovative e modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica

Responsabile del Progetto: Arch. Gaetano Fasano, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *"Il software SEAS per le diagnosi energetiche: interventi di assistenza e formazione e sviluppo di un modello semplificato per gli edifici ad uso residenziale"*

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Paolo Signoretti

Responsabile scientifico Università di Pisa: Prof. Ing. Daniele Testi

Indice

| | |
|--|----|
| SOMMARIO..... | 4 |
| 1 INTRODUZIONE..... | 5 |
| 2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI..... | 6 |
| 2.1 PREDISPOSIZIONE DI DOCUMENTAZIONE DI ASSISTENZA AGLI UTENTI DI SEAS (F.A.Q.)..... | 6 |
| 2.2 REGISTRAZIONE AUDIOVISIVA DI UN CORSO DI FORMAZIONE DI BASE SU SEAS (E-LEARNING)..... | 17 |
| 2.3 ELABORAZIONE DI UN MODELLO SEMPLIFICATO DI SEAS PER IL RESIDENZIALE (MODELLO SEAS LIGHT)..... | 19 |
| 2.3.1 <i>Introduzione</i> | 19 |
| 2.3.2 <i>Modellazione dell'involucro</i> | 22 |
| 2.3.3 <i>Analisi dei bilanci della zona termica</i> | 23 |
| 2.3.4 <i>Modellazione dello scambio termico per trasmissione attraverso le pareti opache</i> | 25 |
| 2.3.5 <i>Algoritmo di calcolo del modello</i> | 27 |
| 2.3.6 <i>Significato fisico dei parametri correttivi</i> | 28 |
| 2.3.7 <i>Modellazione dell'impianto</i> | 28 |
| 2.3.8 <i>Calcolo del rendimento di generazione nel caso di caldaia</i> | 30 |
| 2.3.9 <i>Calcolo del rendimento di generazione nel caso di pompa di calore</i> | 31 |
| 2.3.10 <i>Calcolo del rendimento di distribuzione</i> | 31 |
| 2.3.11 <i>Calcolo del rendimento di emissione</i> | 31 |
| 2.3.12 <i>Calcolo del rendimento dell'eventuale sistema di accumulo</i> | 32 |
| 2.3.13 <i>Parametri correttivi per l'impianto</i> | 32 |
| 2.3.14 <i>Validazione tramite la normativa UNI EN 15265</i> | 32 |
| 2.3.15 <i>Studio di edifici tipici della realtà italiana</i> | 33 |
| 2.3.16 <i>Appendice sulla normativa UNI EN ISO 13786</i> | 39 |
| 2.4 ULTERIORI AZIONI DI DIFFUSIONE..... | 43 |
| 2.4.1 <i>Seminari informativi e formativi su SEAS</i> | 43 |
| 2.4.2 <i>Pubblicazioni scientifiche</i> | 43 |
| 3 CONCLUSIONI..... | 44 |
| 4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI..... | 46 |
| 5 BREVE CURRICULUM SCIENTIFICO DEI MEMBRI DEL GRUPPO DI LAVORO..... | 47 |

Sommario

In precedenti accordi di collaborazione tra ENEA e il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC) dell'Università di Pisa, è stata elaborata una metodologia per la diagnosi energetica degli edifici ed è stato creato un software di simulazione energetica dotato di interfaccia grafica, dedicato agli edifici ad uso residenziale, uffici, scuole, degenze ospedaliere e alberghi. SEAS (Software Energetico per Audit Semplificati), disponibile gratuitamente da novembre 2014 nella versione 3.0, è in grado di calcolare i fabbisogni energetici relativi ai servizi di riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione, illuminazione ed altre utenze elettriche, nonché di stimare i risparmi energetici ed economici ottenibili attraverso opportuni interventi di riqualificazione. Il software ha suscitato un notevole interesse, essendo stato scaricato da circa trentamila professionisti.

Su queste basi, durante questa annualità abbiamo svolto interventi di formazione e assistenza per gli utenti del software, oltre a proseguire lo sviluppo del modello di diagnosi energetica degli edifici, per renderlo uno strumento ancora più flessibile e in grado di rispondere nel migliore dei modi alle esigenze del territorio e del mercato.

In particolare, sono state svolte le seguenti macro-attività:

- predisposizione di documentazione di assistenza agli utenti di SEAS (dalle oltre mille domande pervenute via e-mail, ne abbiamo selezionate 48 tra le più significative; domande e relative risposte sono pronte per essere pubblicate sul sito istituzionale del software, in un'apposita sezione di F.A.Q.);
- registrazione audiovisiva di un corso di formazione di base su SEAS (in aggiunta ai manuali e ai casi studio già disponibili, abbiamo preparato un corso in modalità e-learning, nella forma di 21 "pillole" di circa 5-10 minuti ciascuna; esso è pronto per essere caricato sul sito istituzionale e visionato liberamente in streaming);
- elaborazione di un modello semplificato di SEAS dedicato esclusivamente agli edifici ad uso residenziale (per semplificare la procedura di diagnosi energetica nel caso di edifici residenziali, abbiamo sviluppato un modello termico dinamico a parametri concentrati, denominato SEAS Light, che, nonostante un numero ridotto di input, è in grado di fornire stime attendibili dei fabbisogni termici del sistema edificio – impianto, oltre ad essere facilmente estendibile alla simulazione delle richieste di energia per la climatizzazione estiva).

In aggiunta a queste attività previste dall'attuale accordo di collaborazione, abbiamo individuato alcuni bug informatici che saranno assenti nella release 3.1 di SEAS, abbiamo iniziato a svolgere seminari e corsi di formazione sul territorio riguardanti l'applicazione pratica del software (di particolare rilievo è stato l'evento che ha avuto luogo a Pesaro a luglio 2015, organizzato dalla Provincia di Pesaro e Urbino) e abbiamo pubblicato articoli scientifici (anche su rivista internazionale) che analizzano l'accuratezza e i limiti del metodo implementato.

Tra i prossimi passi, a nostro avviso dovrebbe essere compiuta un'ulteriore promozione alla diffusione e al corretto utilizzo del software SEAS per effettuare le diagnosi energetiche sugli edifici del territorio nazionale, in particolare attraverso specifici corsi di formazione per i professionisti e gli uffici tecnici delle Pubbliche Amministrazioni. Queste attività sulla diagnosi energetica sono strategiche, infatti esse sono del tutto in linea con la direttiva europea sull'efficienza energetica 2012/27/UE e il decreto legislativo di attuazione 102/2014, contribuiscono a sviluppare e diffondere le migliori pratiche di efficienza energetica, utili a breve anche per la progettazione di edifici ad energia quasi zero (nearly Zero Energy Buildings, nZEBs), e rientrano tra i passi necessari per il raggiungimento degli obiettivi adottati dalla Commissione Europea nel Quadro per il Clima e l'Energia 2030.

1 Introduzione

Nel presente rapporto si descrivono le attività svolte nell'ambito dell'Accordo di Collaborazione tra ENEA e Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC), per l'attività dal titolo "Il software SEAS per le diagnosi energetiche: interventi di assistenza e formazione e sviluppo di un modello semplificato per gli edifici ad uso residenziale", in seno all'Accordo di Programma MSE – ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, Piano Annuale di Realizzazione 2014, Progetto Area C "Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica", Titolo Progetto "Risparmio di energia elettrica nel settore civile, industria e servizi – Sviluppo di metodologie e strumenti di misura ed analisi dei consumi energetici degli edifici pubblici".

Il presente Accordo di Collaborazione rappresenta un ulteriore avanzamento dei lavori e sviluppo del software SEAS, acronimo di Software Energetico per Audit Semplificati (o Simplified Energy Auditing Software). SEAS, programma con interfaccia grafica per effettuare diagnosi energetiche su edifici esistenti ad uso residenziale, uffici, scuole, degenze ospedaliere e alberghi, è stato sviluppato nel corso di precedenti Accordi di Collaborazione tra ENEA e Università di Pisa ed è uno strumento messo gratuitamente a disposizione dei professionisti italiani. In linea con l'attuale contesto normativo e legislativo, SEAS può essere utilizzato per il calcolo del fabbisogno energetico di un sistema edificio – impianto per i servizi di riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione, illuminazione ed altre utenze elettriche e per l'individuazione delle criticità sulle quali proporre interventi di riqualificazione per ottenere risparmi energetici ed economici. A tal proposito, si ricorda che il Decreto Legislativo n. 102 del 4 luglio 2014 prevede:

- la pubblicazione di normativa tecnica sull'argomento della diagnosi energetica;
- la stesura di un programma triennale di informazione e formazione per promuovere l'uso efficiente dell'energia;
- l'obbligo di riqualificazione, per gli edifici delle Pubbliche Amministrazioni Centrali, di una quota annuale pari al 3% della superficie utile;
- l'obbligo di esecuzione della diagnosi energetica ed implementazione di interventi per le grandi imprese e la stesura di programmi di promozione e sviluppo dell'efficienza energetica per le piccole e medie imprese.

SEAS sfrutta una metodologia originale per la diagnosi energetica degli edifici, proposta nel corso di precedenti Accordi di Collaborazione ed utilizzata poi come "motore" di calcolo del software successivamente sviluppato. Il software presenta anche una sezione di analisi economica per la verifica dei risparmi economici conseguibili con interventi di riqualificazione energetica. Inoltre, per la verifica del funzionamento del software, nelle precedenti annualità sono state eseguite tre diagnosi su edifici reali (edificio residenziale, edificio scolastico, edificio ad uso uffici); questi casi studio sono ora forniti insieme al software e rappresentano degli esempi utili per gli utilizzatori.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Le attività previste in base all'Allegato Tecnico per l'annualità ottobre 2014 – settembre 2015 sono suddivise in tre macro-sezioni:

- 1) predisposizione di documentazione di assistenza agli utenti di SEAS (F.A.Q.);
- 2) registrazione audiovisiva di un corso di formazione di base su SEAS (E-Learning);
- 3) elaborazione di un modello semplificato di SEAS per il residenziale (Modello SEAS Light).

Queste tre attività sono descritte singolarmente nel seguito.

2.1 Predisposizione di documentazione di assistenza agli utenti di SEAS (F.A.Q.)

A novembre 2014, SEAS, versione 3.0, è stato reso disponibile ai professionisti, che hanno potuto effettuare il download dal sito istituzionale (http://www.enea.it/it/Ricerca_sviluppo/ricerca-sistema-elettrico/efficienza-per-gli-immobili-della-pa/software-seas/richiesta-software-seas3) tramite una preventiva registrazione.

La predisposizione di un'opportuna documentazione di assistenza per gli utenti – in aggiunta ai manuali e ai casi studio già disponibili – è stata resa necessaria considerando l'elevato numero di registrazioni (ad oggi circa trentamila) ed anche il numero significativo di richieste di assistenza da parte dei professionisti (oltre mille), che hanno evidenziato problematiche o richiesto delucidazioni su diversi aspetti legati al software ed al suo corretto utilizzo.

In particolare, sono state individuate le seguenti tematiche sulle quali si sono maggiormente concentrate le richieste di assistenza:

- aspetti di carattere generale;
- download;
- installazione;
- compatibilità;
- funzionalità;
- gestione del database;
- gestione delle schede;
- lancio delle routine esterne;
- esportazione dei risultati;
- destinazioni d'uso;
- servizi;
- zonizzazione;
- configurazioni impiantistiche;
- parametri di analisi economica.

Si riportano di seguito le F.A.Q. (Frequently Asked Questions), ossia le risposte alle più importanti domande che gli utenti hanno inviato ad ENEA attraverso l'indirizzo e-mail istituzionale, o direttamente al gruppo di lavoro degli sviluppatori del DESTEC, Università di Pisa. Il totale delle FAQ è 48, suddivise come da tabella seguente. La lista viene consegnata completa e formattata per consentire il semplice upload dello stesso sul sito istituzionale di ENEA (si indica inoltre, come legenda, che per "D" si intende la domanda e per "R" la risposta).

| Titolo sezione | Numero di FAQ |
|--------------------------------|---------------|
| Aspetti di carattere generale | 1 |
| Download | 1 |
| Installazione | 3 |
| Compatibilità | 5 |
| Funzionalità | 15 |
| Gestione del database | 2 |
| Gestione delle schede | 2 |
| Lancio delle routine esterne | 1 |
| Esportazione dei risultati | 2 |
| Destinazioni d'uso | 2 |
| Servizi | 2 |
| Zonizzazione | 2 |
| Configurazioni impiantistiche | 6 |
| Parametri di analisi economica | 4 |
| Totale | 48 |

SEZIONE “ASPETTI DI CARATTERE GENERALE”

D – Esiste un help-desk telefonico o via e-mail per risolvere in tempi brevi eventuali difficoltà che dovessero presentarsi agli utenti? Credo che un software di tale importanza e complessità dovrebbe prevedere un’assistenza, quanto meno di base. I casi di studio dimostrano che è stato testato, ma il test vero è quello che si ha con un pubblico che lo utilizza per la prima volta, senza la consapevolezza di chi lo ha ideato e programmato. Mi auguro vivamente quindi che si vogliano dedicare risorse allo scopo, anche al fine di non vanificare il lavoro importante svolto fin qua.

R – Attualmente un help-desk, con unità di personale dedicate, non è disponibile. Oltre ai casi studio e ai manuali d’uso, i nuovi elementi utili di assistenza agli utenti sono il corso audiovisivo di formazione di base su SEAS, da visionare in streaming, e questa stessa sezione di FAQ. Tra le prossime attività, potrebbero esserci proprio ulteriori interventi di assistenza e formazione sul territorio dedicate allo strumento operativo SEAS e, più in generale, alla corretta metodologia di diagnosi energetica negli edifici.

SEZIONE “DOWNLOAD”

D – Ho scaricato il programma tramite il link indicato nell’e-mail di conferma di registrazione, ma quando provo ad estrarlo dall’archivio “SEAS3_Suite.zip”, il file risulta corrotto. Come posso risolvere il problema?

R – Soprattutto nelle prime settimane dopo la pubblicazione del software, i server di ENEA sono stati sovraccaricati dalle richieste di download (in totale sono stati registrati circa 40.000 collegamenti sul sito istituzionale di SEAS e oltre 30.000 download) e alcuni utenti potrebbero aver scaricato solo parzialmente il file. Si invita dunque a ripetere la procedura di download, disponendo di una buona connessione ad internet, dato che l’archivio compresso contenente tutti gli installer e i manuali d’uso ha una dimensione di 568 MB.

SEZIONE “INSTALLAZIONE”

D – Non sono riuscito ad installare correttamente il database MySQL. Posso comunque utilizzare SEAS?

R – La creazione del database è facoltativa e la sua gestione potrebbe essere utile principalmente per utenti esperti dal punto di vista informatico. Nel caso in cui vi siano complicazioni per l’installazione, si può procedere con l’utilizzo di SEAS, tralasciando i comandi “Salva configurazione”, “Salva configurazione con nome” e “Gestisci configurazioni” ed utilizzando soltanto i comandi “Importa configurazione” ed “Esporta configurazione”, rispettivamente per caricare e salvare i file di lavoro.

D – Sono disponibili dei casi studio per guidare l'utente?

R – Durante l'installazione del programma, sono automaticamente inseriti 3 casi studio, per le destinazioni d'uso residenziale ("Casa Nebbiano"), uffici ("Palazzo Venera") e aule didattiche ("Palazzo Curini"). I relativi file (privi di estensione) sono contenuti nella cartella "..\SEAS\Test_Cases" e sono commentati nel manuale, incluse le proposte di interventi di riqualificazione energetica. Queste configurazioni possono essere importate nel software e visualizzate in sola lettura, come guida alla compilazione di SEAS, mentre non è suggerita la loro modifica, in quanto i file sono stati esportati da una precedente versione del programma e potrebbero generare errori.

D – Perché non è stato creato un unico file eseguibile di installazione?

R – Nella cartella di download "SEAS3_Suite" è presente l'eseguibile "SEAS_Installer.exe", che è il file principale di installazione del software. Nella stessa cartella sono altresì presenti gli ulteriori file eseguibili, "mysql-installer-community-5.6.13.0.msi", "MCR_R2012b_win32_installer.exe" e "jre-6u25-windows-i586.exe". Questi ultimi permettono l'installazione dei software MySQL Server 5.6 (necessario per la gestione del database, la cui creazione, peraltro, è facoltativa), MATLAB Compiler Runtime 8.0 (necessario per l'esecuzione delle routine esterne) e Java Platform SE 6 (necessario per l'esecuzione dell'interfaccia grafica di SEAS). Considerando che alcuni utenti potrebbero avere già installato, indipendentemente dall'uso di SEAS, uno o più di questi programmi, gli installer sono stati tenuti separati, senza appesantire l'eseguibile principale.

SEZIONE "COMPATIBILITÀ"

D – Con quali sistemi operativi è compatibile SEAS?

R – SEAS è compatibile con Windows, a 32 o 64 bit, ed è stato testato fino alla versione Windows 8.1.

D – Come bisogna agire, se, all'avvio di SEAS, si riceve l'errore "No JVM could be found on your system"?

R – Tra i requisiti di sistema, è richiesta l'installazione dei software Adobe Reader (per visualizzare in lettura i manuali d'uso) e Java Platform SE 6, il cui installer "jre-6u25-windows-i586.exe" è disponibile nella cartella di download "SEAS3_Suite". Se quest'ultimo programma non è installato sul computer, all'avvio di SEAS si riceverà l'errore menzionato.

D – Come bisogna agire, se, all'avvio di SEAS, si riceve l'errore "The JVM could not be started"?

R – Tra i requisiti di sistema, è richiesta una memoria RAM di almeno 2 GB. L'errore indica che la memoria RAM momentaneamente disponibile non è sufficiente per avviare SEAS. Una possibile soluzione del problema è la chiusura delle applicazioni più onerose in termini di utilizzo della RAM, prima del riavvio di SEAS.

D – È possibile importare dati da altri software di calcolo commerciali?

R – No, attualmente non sono disponibili interfacce con software commerciali.

D – All'avvio delle routine esterne (ad esempio, quella dedicata agli impianti fotovoltaici oppure quella di analisi economica degli interventi), ricevo l'errore "Could not find version 8.0 of the MCR". Come devo agire?

R – Nella cartella di download "SEAS3_Suite" è disponibile uno specifico file, denominato "MCR_Troubleshooting.pdf", contenente la procedura guidata di risoluzione di questo problema.

SEZIONE “FUNZIONALITÀ”

D – SEAS effettua anche gli Attestati di Prestazione Energetica?

R – No, il software SEAS effettua, ed implementa in termini di procedura di calcolo, soltanto la diagnosi energetica di una zona termica o di un edificio con più zone. Per effettuare la diagnosi vengono utilizzate sia le procedure di calcolo nella valutazione adattata all’utenza della normativa utilizzata per effettuare gli APE, sia altre procedure da normativa con eventualmente altri database di dati da cui attingere. I dati di input richiesti sono diversi e molto maggiori rispetto a quelli per effettuare un APE. Così i risultati e le finalità sono profondamente diversi.

D – Su quale metodologia per la diagnosi energetica si basa SEAS?

R – SEAS prende le basi dalla metodologia A3 “tailored” descritta nelle normative tecniche UNI/TS 11300, ma se ne discosta in tutti i punti in cui è necessaria un’analisi più approfondita per una corretta caratterizzazione del sistema edificio – impianto. La metodologia è di tipo quasi-stazionario su base mensile, ma sono presenti anche dei profili su base settimanale (feriale-festivo) oppure biorari del giorno medio mensile per una descrizione approfondita delle modalità di utilizzo della zona da parte dell’utenza.

D – Ho letto che con SEAS è possibile realizzare il tuning dei dati di input più incerti, ma come si effettua?

R – Il tuning (o calibrazione) è la procedura che deve essere effettuata dall’auditor modificando i dati incerti della diagnosi energetica per ottenere accordo tra i risultati ottenuti dalla simulazione e quelli da fatturazione energetica. L’auditor dovrebbe quindi modificare i dati che ha segnalato come incerti, eventualmente verificando la non influenza di queste modifiche sul fabbisogno di energia della zona e quindi eliminando la spunta di incertezza del dato. Si consiglia inoltre di procedere prima col tuning dei dati di input riguardanti il servizio di energia elettrica e poi con quelli riguardanti il servizio di riscaldamento: infatti, la modifica dei dati di input per il calcolo del fabbisogno di riscaldamento comporta dei cambiamenti significativi anche sui fabbisogni di energia elettrica (per gli ausiliari collegati al servizio di riscaldamento). Invece la modifica dei dati riguardanti il solo servizio di energia elettrica comporta dei cambiamenti poco rilevanti sul calcolo del fabbisogno di energia per riscaldamento.

D – In alcuni casi, modificando un dato di input, il nome della zona non diventa rosso e dunque non indica la necessità di un ricalcolo. Anche spostandosi nella sezione “Risultati involucro”, la modifica non viene recepita e i risultati di calcolo non cambiano. Come posso ottenere l’aggiornamento dei risultati?

R – Il comportamento descritto denota l’assenza di un elemento di controllo (detto “listener” in gergo informatico), che si dovrebbe attivare alla modifica del parametro di input. Per generare il corretto effetto sui risultati finali, si suggerisce dunque di variare un altro parametro su cui è presente il listener (ad esempio, la temperatura di set-point principale di zona, la quale influenza quasi tutti i calcoli di fabbisogno termico), riportare subito il suo valore allo stato originario e procedere col ricalcolo.

D – Qual è il separatore decimale da utilizzare in SEAS?

R – All’interno dell’interfaccia grafica principale di SEAS, il separatore decimale da utilizzare è la virgola, mentre nelle routine esterne (“Aria Primaria”, “Solare Termico”, “Fotovoltaico” ed “Analisi Economica”) è il punto. Copiando i risultati delle routine esterne nella clipboard di Windows, il separatore decimale dei dati è automaticamente trasformato da punto in virgola, così da rendere i dati compatibili, quando incollati in SEAS.

D – Perché il profilo d’uso delle chiusure oscuranti è stato impostato su fasce biorarie?

R – La scelta delle fasce biorarie è dettata dalla ricerca di accuratezza nei risultati, i quali dipendono significativamente da questo fattore. Infatti, modificando il profilo d’uso delle chiusure oscuranti, cambiano gli apporti solari, le dispersioni per irraggiamento verso la volta celeste e (solo per alcuni tipi di oscuranti, come le chiusure avvolgibili) la trasmittanza complessiva del componente finestrato.

D – Perché nella sezione “Risultati involucro” non compaiono apporti solari da finestre, pur avendone inserite nella scheda “Superfici vetrate”?

R – Per ciascun componente vetrato, devono essere inseriti tutti i dati di input necessari a svolgere i calcoli (tipologia di tende, angoli caratteristici di ostruzione e di aggetti, etc.). Ad esempio, pur in assenza di elementi schermanti, deve essere digitato 0 come valore degli angoli caratteristici che si trovano in fondo alla scheda, altrimenti non vengono popolate le relative tabelle dei fattori di ostruzione.

D – Nel calcolo delle perdite per ventilazione, si può scegliere tra procedura realistica e procedura secondo UNI 10339. Dato che la diagnosi mira ad ottenere una stima realistica del fabbisogno, perché è stata inserita anche questa seconda procedura?

R – La procedura “realistica” di calcolo delle perdite per ventilazione e infiltrazioni viene effettuata a partire dai dati di apertura finestre e permeabilità all’aria degli infissi inseriti dall’auditor. È quindi una procedura analitica. Poiché i dati di input richiesti sono specifici e spesso incerti, e poiché invece i dati di ventilazione da UNI 10339 costituiscono un riferimento normativo con cui effettuare la progettazione, è stata data all’auditor la possibilità di scegliere tra queste due opzioni, anche per permettere un confronto tra i risultati delle due procedure ed un eventuale tuning.

D – Perché se scelgo “No” all’opzione “Effettuare la procedura di calcolo del ricambio d’aria per infiltrazione e ventilazione secondo UNI 10339?”, dunque opto per la cosiddetta procedura realistica, non è richiesto alcun dato?

R – Il calcolo “realistico” delle perdite di ventilazione e infiltrazione non necessita di ulteriori input, poiché si basa sui profili di apertura delle finestre e sulla loro area apribile e classe di permeabilità, inseriti precedentemente.

D – Cosa si intende con “Carichi interni non gratuiti” nella scheda “Risultati involucro”?

R – Si intende la somma di tre componenti: il fabbisogno elettrico per illuminazione, quello per altri carichi elettrici (da omonima scheda) e infine quello termico non gratuito. I carichi interni gratuiti sono invece gli apporti solari e quelli dovuti alla presenza degli utenti nella zona.

D – Cos’è e come viene calcolato il fattore di utilizzo della chiusura oscurante?

R – Il fattore di utilizzo è un valore mensile che indica la frazione adimensionale di utilizzo della chiusura oscurante. È una media dell’utilizzo della chiusura oscurante, pesata in funzione della differenza di temperatura tra esterno ed interno che si ha nell’intervallo biorario del giorno medio mensile considerato. L’espressione con cui si è calcolato tale fattore è la seguente:

$$f_{shut,m} = \frac{\sum_{i=1}^{12} U_{so_{ch,i}} (T_{int,i} - T_{est,i})}{\sum_{i=1}^{12} (T_{int,i} - T_{est,i})}$$

Dove $U_{so_{ch,i}}$ è l’utilizzo della chiusura oscurante, dato da tutti i valori mensili inseriti nella “Schedule chiusure oscuranti”. Per determinare la temperatura esterna nell’intervallo biorario si utilizzano le distribuzioni giornaliere di temperatura, presenti come risultati intermedi nella scheda “Contesto geografico”. Se questo fattore si avvicina ad 1 significa che la chiusura oscurante viene usata molto e specialmente nei periodi in cui la differenza di temperatura esterna ed interna è maggiore.

D – Cosa sono e come vengono calcolati i valori medi nella schedule “Chiusure oscuranti”?

R – Questi valori medi mensili sono dati dalla media sulle ore di luce (differenziate in quattro periodi “stagionali”, come indicato nel manuale) dell’utilizzo della chiusura oscurante. Tale informazione viene utilizzata per il calcolo degli apporti solari: infatti se le chiusure oscuranti sono chiuse nelle ore di luce è analogo ad avere un fattore di riduzione degli apporti solari per schermature mobili unitario e quindi significa che non vi saranno apporti solari in ingresso nella zona.

D – Cos'è e come si calcola il fattore di recupero in ambiente interno del carico termico?

R – Il fattore di recupero in ambiente del carico termico indica la quota di energia termica associata al carico che contribuisce come apporto positivo nel bilancio energetico di zona. La sua valutazione è demandata all'auditor, che può o stimare questo valore, secondo le proprie valutazioni, o far riferimento a schede tecniche disponibili in rete (nel caso di caminetti, stufe, etc.). A titolo puramente esemplificativo, per un caminetto aperto, senza alcun recupero, il valore del fattore di recupero può essere stimato intorno al 20-30%.

D – Perché il fabbisogno energetico totale non è pari alla somma algebrica dei singoli componenti?

R – Il bilancio energetico mensile non è la mera somma algebrica dei contributi ma tiene conto anche del fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti. Questo fattore è un parametro dinamico e segue le leggi della UNI EN ISO 13790, che sono fortemente dipendenti dai fattori dinamici (costante di tempo dell'edificio, e quindi capacità termica dell'edificio (consultare par. 11.2 della sopra citata normativa).

Inoltre, sempre secondo la UNI EN ISO 13790, in caso di regime di intermittenza o attenuazione, si possono verificare casi in cui viene applicato direttamente al fabbisogno finale Q_h un fattore di riduzione per funzionamento intermittente o attenuato, e quindi di nuovo non può tornare la somma algebrica (consulta il paragrafo 13.2 della sopra citata normativa).

D – Sto simulando un edificio caratterizzato da una struttura leggera (capacità termica areica dei componenti di 20-65 kJ/m²/K). Nel prospetto 22 della normativa tecnica UNI/TS 11300-1 non esistono valori così bassi. Simulando entrambi i casi (quello con capacità areica di mia valutazione e quello con capacità da prospetto 22) noto delle variazioni di fabbisogno finale molto rilevanti. Come devo comportarmi?

R – Poiché la capacità termica areica influenza molto, specialmente in edifici leggeri, il fabbisogno di energia primaria totale, occorre attenersi in questi casi ai valori reali di capacità areica, senza attingere ai dati da tabelle.

SEZIONE "GESTIONE DEL DATABASE"

D – Il database MySQL dovrebbe essere creato lanciando il file batch "create_database.bat", come spiegato nel file "!Leggimi.txt", contenuto nella cartella di download "SEAS3_Suite". Perché la password necessaria viene richiesta una sola volta (e non due, come indicato) e la finestra del prompt dei comandi si chiude automaticamente? Il processo di creazione del database si è interrotto?

R – Quando si verifica questo problema, anziché lanciare il file .bat da click, è necessario farlo direttamente da prompt dei comandi (per aprire il prompt, lanciare da "Esegui" di Windows il comando "cmd"), spostandosi nella directory di download "SEAS3_Suite", in cui il file è contenuto. Attraverso questa procedura, la finestra non si chiuderà, consentendo il secondo inserimento della password, in alcuni casi dopo un periodo piuttosto lungo di attesa. In questo modo, il processo non viene interrotto e si riesce a creare correttamente il database.

D – Come bisogna agire se il comando "Gestisci configurazioni" restituisce "Impossibile caricare le configurazioni esistenti" e i comandi "Salva configurazione" e "Salva configurazione con nome" danno luogo a maschere in cui è possibile annullare il comando, ma non salvare il file?

R – I comandi menzionati riguardano la gestione del database MySQL, che permette un'alternativa al salvataggio su file, comunque ottenibile attraverso il comando "Esporta configurazione". Questi errori si verificano se non si riesce a comunicare o a scrivere sul database, la cui creazione evidentemente non è andata a buon fine. Dato che la gestione del database potrebbe essere utile principalmente per utenti esperti dal punto di vista informatico, il consiglio è di tralasciare queste opzioni ed operare sui file nel modo tradizionale, esclusivamente attraverso i comandi "Esporta configurazione", per salvare un file (con un'estensione a piacere) in una cartella del computer, ed "Importa configurazione", per ricaricarlo dalla cartella nel programma.

SEZIONE “GESTIONE DELLE SCHEDE”

D – Perché i valori che inserisco nella colonna “Lunghi periodi di spegnimento degli impianti termici” influiscono anche sull’energia elettrica?

R – I valori associati al periodo di spegnimento degli impianti termici influiscono sull’energia elettrica assorbita dagli ausiliari all’impianto termico stesso.

D – Ho a disposizione i dati medi orari di temperatura dell’aria esterna da centralina climatica. È possibile effettuare una diagnosi utilizzando questi dati specifici?

R – È possibile l’inserimento della temperatura media mensile, nell’apposita colonna nella scheda “Contesto geografico”. Questi valori verranno utilizzati tali e quali in tutti i calcoli di scambio termico. Non è possibile invece inserire i valori di “Escursione termica giornaliera”, né i dati medi orari della temperatura esterna: questi vengono infatti calcolati a partire dalla temperatura media mensile (nel caso esistente, quella personalizzata), corretta con i valori di escursione termica giornaliera e i fattori correttivi (indicati con la lettera “p”), secondo UNI TS 11300/4.

Per quanto riguarda gli altri dati meteorologici a disposizione dell’utente, è possibile l’inserimento della velocità del vento media annua nel capoluogo di riferimento e dei valori di irraggiamento globale su piano orizzontale, ma non le singole componenti di irraggiamento diretto e diffuso, che sono risultati intermedi, non modificabili.

SEZIONE “LANCIO DELLE ROUTINE ESTERNE”

D – Quando premo nella scheda “Ventilazione e apporti interni”, nella scheda “Solare termico” o nella scheda “Fotovoltaico” sul link della routine esterna oppure quando avvio l’applicativo “Analisi Economica”, non viene lanciata nessuna routine esterna. Perché?

R – Se non viene lanciata alcuna routine, si consiglia innanzitutto di riprovare attendendo un tempo maggiore: solitamente, al primo avvio, può essere necessario un po’ di tempo, anche in funzione delle caratteristiche del computer utilizzato. Altrimenti, verificare di avere installato correttamente il software MATLAB Compiler Runtime 8.0 (tramite l’installer “MCR_R2012b_win32_installer.exe”).

Se il problema persiste e, in ogni caso, se ricevo l’errore “Undefined function or variable ‘matlabrc’”, è necessario cancellare l’intera cartella “C:\Users\[utente]\AppData\Local\Temp\[utente]\mcrCache8.0”, prima di rilanciare una delle routine esterne.

SEZIONE “ESPORTAZIONE DEI RISULTATI”

D – SEAS crea un report finale della diagnosi in automatico?

R – SEAS non permette la creazione automatica della reportistica della diagnosi. Il report finale deve essere infatti creato dall’auditor scegliendo i dati più significativi, in termini di richieste di energia primaria per i vari servizi, e identificando le soluzioni più adatte per il risparmio energetico. È possibile comunque utilizzare il copia-incolla dei risultati intermedi e dei risultati finali per la creazione di tabelle o grafici da inserire nella relazione. La reportistica inoltre è affidata all’auditor, perché la sua complessità o approfondimento varia in funzione delle richieste del committente e dello scopo della stessa diagnosi.

D – Quali file possono essere stampati utilizzando la funzione “Edit – Visualizza LOG” e quali dati vi sono contenuti?

R – È possibile utilizzare la funzione “Visualizza LOG” per stampare un file di testo che contenga informazioni di output o di debug. La scelta del tipo di file di testo da stampare si effettua utilizzando il menu “Livello LOG”. Scegliendo il tipo “Info”, viene creato il file output.log, che contiene tabelle di risultati di dettaglio non visualizzate da interfaccia grafica: ad esempio, è riportato il fattore mensile di utilizzazione degli apporti gratuiti, la frazione di tempo mensile in cui l’impianto di riscaldamento è acceso ed il fattore di riduzione del fabbisogno termico per intermittenza o attenuazione della temperatura di set-point. Scegliendo invece il tipo “Debug”, viene creato un file che contiene la cronologia delle operazioni effettuate dall’utente, utile in caso di errori o di assistenza (per visualizzare l’effettiva cronologia, è necessario rilanciare il calcolo andando sulla scheda “Risultati involucro”). In entrambi i casi, il file di testo viene salvato nella cartella principale di installazione di SEAS.

SEZIONE “DESTINAZIONI D’USO”

D – Perché il dato di input relativo alla destinazione d’uso viene chiesto sia nella scheda “Anagrafica” che nella scheda “Profilo di utilizzo” all’interno della sezione “Definizione zona termica”?

R – Il dato chiesto nella scheda “anagrafica” è relativo all’intero edificio, mentre quello richiesto nell’altra scheda è relativo soltanto alla zona in esame (infatti si trova all’interno di ogni zona termica e viene ripetuto per ogni zona inserita). Tale distinzione è utile in particolare quando si voglia effettuare la diagnosi di un intero edificio con zone a diversa destinazione d’uso. In tal caso dovrà essere inserito nella scheda anagrafica la destinazione d’uso “mista” e si specificherà poi in ogni zona la relativa destinazione. Nel caso si specifichi una precisa destinazione d’uso, questa, per ogni zona termica, rimane immutabile.

D – Perché nell’imputazione delle destinazioni d’uso manca la possibilità di inserire la destinazione commerciale? Sarebbe importante aggiungerla, in quanto il condominio con negozi a piano terra e residenze ai piani superiori è una tipologia architettonica molto diffusa sul territorio nazionale.

R – La destinazione d’uso commerciale in effetti non è tra quelle previste nella release 3.0 di SEAS, ossia residenziale, uffici, scuole, degenze ospedaliere e alberghi. Data la rilevanza, i negozi potrebbero essere inseriti nelle successive versioni del software, non essendovi incompatibilità dal punto di vista modellistico con le attuali funzionalità.

SEZIONE “SERVIZI”

D – Perché i valori che inserisco nella colonna “Lunghi periodi di spegnimento degli impianti termici” influiscono anche sull’energia elettrica?

R – I valori associati al periodo di spegnimento degli impianti termici influiscono sull’energia elettrica assorbita dagli ausiliari all’impianto termico stesso.

D – È obbligatorio inserire i valori dei millesimi anche quando sono mille, perché ho un’unica zona termica servita da generatori singoli ed esclusivamente dedicati?

R – No, se il campo dei millesimi viene lasciato vuoto, automaticamente i calcoli sono effettuati con mille millesimi.

SEZIONE “ZONIZZAZIONE”

D – Cosa si intende con “zona termica”? Quanto occorre spingersi nella suddivisione dell’edificio in zone diverse?

R – La zona termica è definita come un ambiente in cui si ha un’unica destinazione d’uso, le temperature interne di regolazione dei locali differiscono di non oltre 4K, si abbia assenza di raffrescamento o temperature di set-point di raffrescamento non oltre 4 K, si abbia un unico sistema di climatizzazione, ci sia un unico impianto di ventilazione per almeno l’80% dell’area climatizzata nonché tassi di ventilazione che differiscano di un fattore non superiore a 4, l’umidità relativa interna di regolazione differisca da locale a locale di massimo il 20%. Tuttavia è compito dell’auditor, in base alle finalità della diagnosi, creare un adeguato numero di zone simulate opportuno.

D – Cosa si intende per “sottozona” e perché vanno inserite nella routine esterna “Aria primaria”?

R – In presenza di un impianto di ventilazione meccanica o di aria primaria, è consigliabile suddividere la zona termica precedentemente definita in ulteriori sottozone, che sono ambienti che sono tutti simili tra loro per alcune caratteristiche (per esempio: temperatura di set-point, portata di infiltrazione e ventilazione per apertura finestre, etc.), ma che invece differiscono per utilizzo da parte degli utenti (persone presenti, profilo di occupazione e tipo di attività) e modalità di controllo della portata.

SEZIONE “CONFIGURAZIONI IMPIANTISTICHE”

D – Nella scheda “Profilo accensione riscaldamento” cosa si intende con “Ore settimanali di riscaldamento a set-point principale”? Il periodo in cui si raggiunge effettivamente la temperatura di set-point inserita o l’orario di accensione del generatore?

R – Le ore settimanali di riscaldamento a set-point principali sono quelle in cui il sistema di generazione è in funzione, ed è quindi predisposto all’accensione. Non si tiene conto qui degli accendi-spegni.

D – Nella scheda “Profilo presenze”, nel “profilo di utilizzo mensile” si deve considerare tutte le assenze, anche il sabato e i festivi che si è già inserito appena sopra?

R – Sì, nella tabella “profilo di utilizzo mensile” occorre inserire il numero di giorni, per ogni mese, in cui non è presente l’utenza e non si utilizzano gli impianti (giorni di assenza), sia feriali che festivi che domeniche. Non si deve tener conto di quanto inserito prima. I due dati sono disgiunti.

D – Nella schermata iniziale della sezione “Impianto”, si possono inserire i carichi elettrici esterni alla zona [kWh/anno]. A cosa si riferiscono?

R – Si riferiscono ai carichi elettrici che, pur essendo a carico della zona, ne sono esterni e quindi non recuperabili termicamente. Nel caso di millesimi elettrici diversi da 1000 (tipicamente, audit di un appartamento all’interno di un condominio con contatore elettrico centralizzato), il valore da inserire deve essere quello riferito all’edificio totale. A titolo esemplificativo, nel caso di simulazione di un singolo appartamento all’interno di un condominio, bisognerà inserire il consumo elettrico annuale dell’ascensore condominiale o dell’illuminazione esterna totale condominiale. Tale valore viene suddiviso in quote mensili identiche all’interno della tabella “Consumi energetici totali da audit della singola zona”, utilizzando i millesimi elettrici.

D – Se sono presenti più tipologie di terminali di emissione con differenti rendimenti di emissione ad essi associati, quale valore devo scegliere?

R – In questo caso si può utilizzare la modalità di inserimento manuale dei valori proprio per dare libera scelta all’auditor, dato che non è presente nel menu a tendina il caso specifico. A titolo esemplificativo, si può scegliere un valore che sia la media pesata dei valori di rendimento in funzione della potenza dei terminali.

D – Nella sezione “Distribuzione RISC”, scheda “Ausiliari”, tra i dati da inserire si trovano quelli relativi alle pompe di distribuzione e in particolare la potenza elettrica nominale. Questo dato serve a calcolare sia il rendimento di distribuzione che il consumo elettrico? Non va inserito nessun ausiliario nella scheda “Altri carichi elettrici”?

R – Il dato della potenza elettrica nominale delle pompe di distribuzione serve a calcolare esclusivamente il consumo elettrico degli ausiliari e il loro eventuale recupero termico. Non va quindi conteggiato nella scheda “Altri carichi elettrici”, come scritto sopra quella scheda si riferisce ai carichi elettrici non di impianto (infatti è nella sezione dell’involucro).

D – A cosa sono dovuti gli assorbimenti elettrici nel periodo estivo se non ho funzionamento dell’impianto di riscaldamento?

R – Gli assorbimenti elettrici mensili, riportati nella tabella “Consumi energetici per impianti elettrici relativi alla singola zona”, si riferiscono all’energia elettrica dovuta ad illuminazione e ad altri carichi elettrici, così come dagli input inseriti nella sezione “Involucro”.

Gli assorbimenti elettrici mensili, riportati nella tabella “Consumi energetici totali da audit relativi alla singola zona”, sono dovuti sia ai consumi energetici per impianti elettrici relativi alla singola zona (come sopra), sia agli ausiliari dell’impianto di riscaldamento, agli ausiliari dell’impianto di ACS (considerato attivo tutti i mesi dell’anno, ad eccezione dei periodi di assenza indicati dall’auditor) e di aria primaria, nonché sono dovuti ad eventuali carichi elettrici esterni alla zona (i.e. ascensori condominiali), opportunamente pesati per i millesimi elettrici. Le richieste di energia elettrica per illuminazione e produzione di ACS sono influenzate dalla presenza di persone (colonna “Numero medio di giorni di assenza della zona”), mentre la richiesta di energia elettrica per l’impianto di riscaldamento è influenzata dai giorni di spegnimento dello stesso. I carichi elettrici esterni alla zona sono considerati costanti per tutti i mesi dell’anno ed indipendenti dalle presenze.

SEZIONE “PARAMETRI DI ANALISI ECONOMICA”

D – Posso utilizzare il tasto “Carica dati” per caricare automaticamente i dati della mia diagnosi?

R – Tutti i dati di ingresso della routine “Analisi Economica”, inclusi quelli relativi ai consumi pre- e post-intervento dei vettori energetici, la prima volta devono essere inseriti a mano. Tramite il tasto “Salva dati”, possono invece essere salvati su un file esterno di estensione “.sea” e sono dunque successivamente ricaricabili.

Tra i file già presenti all’installazione di SEAS, vi sono quelli relativi agli interventi di efficientamento energetico simulati per i 3 casi studio disponibili. Questi file si trovano nella cartella “..\SEAS\Analisi_Economica\Test_Cases” e possono essere caricati, appunto, col tasto “Carica dati”.

D – Posso visualizzare i dati di flusso di cassa anno per anno dell’investimento simulato?

R – No, i dati visualizzabili sono riferiti soltanto agli indici aggregati, senza scendere nel dettaglio. In tale caso l’auditor dovrà procedere autonomamente. Si ricorda che, in funzione degli anni di vita utile dell’investimento, e quindi del periodo analizzato, la tabella dei flussi di cassa può risultare anche molto estesa.

D – Come posso fare se non conosco molti dei dati richiesti per effettuare l'analisi economica dell'intervento di riqualificazione che ho proposto?

R – L'analisi economica di un investimento prevede la conoscenza di molti dati, per cui se non ne abbiamo idea è probabilmente necessario, al fine della correttezza delle valutazioni, avvalersi di una consulenza in materia. Tuttavia si ritiene che debba essere nota la vita utile e il costo dell'investimento e della relativa manutenzione, nonché il regime di finanziamento che il cliente intende adottare (finanziamento tramite terzi o economie proprie). I dati eventuali di incentivo sono sicuramente reperibili in quanto appunto necessari alla committenza e talvolta determinanti per la remunerazione dell'investimento. I dati più ostici riguardano il tasso di interesse e quelli relativi alla valutazione economica dello stato esistente. Si specifica che questi ultimi dati (riportati nel riquadro "Dati sistema esistente") sono, ad eccezione del costo di manutenzione, obbligatori solo se si intende comparare due interventi distinti rispetto alla situazione esistente e sono invece superflui nel caso si valuti un singolo intervento rispetto alla situazione esistente. e principali tassi (di inflazione e di non vi sono Propedeuticamente all'analisi economica on tutti i dati di input sono necessari per il calcolo

D – Che differenza c'è tra TIR e TIR*?

R – Il tasso interno di rendimento (TIR), o internal rate of return (IRR), indica il tasso di interesse che rende il VAN nullo, ovvero indica il tasso oltre il quale l'intervento è remunerativo. Per TIR inferiori al tasso di interesse, il VAN risulta negativo, il costo dell'intervento è maggiore del rendimento ad esso connesso e quindi non va effettuato. Tali valutazioni sono riferite ad un intervento di riqualificazione energetica rispetto alla situazione esistente. Il TIR* invece è un acronimo per indicare il tasso interno di rendimento pesato sugli investimenti non effettuati. Esso serve per confrontare il TIR di due singoli interventi su una stessa situazione esistente. Per ottenere tale valore occorre effettuare l'analisi economica dei due singoli interventi di riqualificazione, inserendo tutti i dati nel riquadro "Dati sistema esistente", e inserendo il valore di vita utile maggiore tra i due. In questo modo si ottengono i due singoli valori di TIR e i valori di TIR* che sono confrontabili e che quindi determinano il migliore tra i due (il massimo).

2.2 Registrazione audiovisiva di un corso di formazione di base su SEAS (E-Learning)

Per consentire una diffusione gratuita e continuativa del software SEAS, si è realizzato un corso audiovisivo, suddiviso in più mini-lezioni (di seguito dette “pillole”), riguardanti ognuna uno specifico contenuto tecnico del software, per favorirne la comprensione delle funzionalità e l’utilizzo.

Le registrazioni audio-visive, in formato digitale .wmv, sono tutorial generalmente suddivisi in due parti:

- nella prima parte, si danno informazioni generali sull’argomento della pillola, sempre rivolte a fornire un aiuto nell’utilizzo di SEAS;
- nella seconda parte, viene fornito un esempio di inserimento di dati ed analisi dei risultati intermedi riguardanti l’argomento della pillola.

Sono state realizzate 21 pillole, così come evidenziato nella seguente tabella.

| N. | Titolo ed argomento della video-lezione | Relatore | Durata [mm:ss] |
|----|--|--------------------------|----------------|
| 1 | <u>Introduzione a SEAS</u> Download, installazione, inizio di una diagnosi energetica, panoramica sulle schede, analisi della barra del menu | Prof. Ing. Daniele Testi | 06:00 |
| 2 | <u>Le schede “Anagrafica” e “Contesto geografico”</u> Descrizione degli input e dei risultati intermedi forniti nelle schede | Ing. Elena Menchetti | 06:28 |
| 3 | <u>Definizione della zona termica</u> Individuazione dei confini della zona termica, scelta corretta dei millesimi per riportarsi al sistema centralizzato per i vari servizi | Ing. Elena Menchetti | 12:29 |
| 4 | <u>La gestione della zona termica da parte dell’utenza</u> Profili di presenza, gestione dell’apertura degli infissi e delle chiusure oscuranti, profilo di accensione del sistema di riscaldamento – Descrizione degli input e dei risultati intermedi forniti dalle schede | Ing. Elena Menchetti | 09:05 |
| 5 | <u>Le perdite per trasmissione</u> Superfici opache, superfici vetrate, ponti termici – Descrizione degli input e dei risultati intermedi forniti dalle schede | Ing. Elena Menchetti | 15:58 |
| 6 | <u>Le perdite per ventilazione ed infiltrazioni</u> Permeabilità degli infissi, calcolo delle perdite per ventilazione o da norma UNI 10339 o da profilo di apertura degli infissi – Descrizione degli input e dei risultati intermedi forniti dalla scheda | Ing. Elena Menchetti | 07:05 |
| 7 | <u>Le routine esterne di SEAS: aria primaria</u> Lancio della routine esterna, analisi degli input e degli output | Ing. Paolo Conti | 07:03 |
| 8 | <u>Fabbisogni di acqua calda sanitaria e carichi interni non gratuiti</u> Calcolo delle richieste di energia per la produzione di acqua calda sanitaria e carichi interni dovuti ad usi cottura o ad altri dispositivi non elettrici per riscaldamento – Descrizione degli input e dei risultati intermedi forniti dalle schede | Ing. Eva Schito | 06:11 |

| | | | |
|----|--|-----------------------------|-------|
| 9 | <u>Illuminazione ed altri carichi elettrici</u> Richieste di energia elettrica nella zona dovute ad illuminazione ed utilizzo di apparecchiature elettriche di uso domestico o ufficio – Descrizione degli input e dei risultati intermedi forniti dalle schede | Ing. Eva Schito | 06:15 |
| 10 | <u>La scheda “Risultati involucro”</u> Analisi dei vari contributi di dispersioni ed apporti | Ing. Eva Schito | 04:33 |
| 11 | <u>Il sottosistema di emissione e il sottosistema di regolazione</u> Analisi delle schede “Emissione” e “Regolazione” – Descrizione degli input e dei risultati intermedi forniti dalle schede | Ing. Paolo Conti | 03:24 |
| 12 | <u>Il sottosistema di distribuzione</u> Analisi delle schede “Distribuzione ACS” e “Distribuzione RISC” Descrizione degli input e dei risultati intermedi forniti dalle schede | Ing. Paolo Conti | 06:11 |
| 13 | <u>La scheda “Accumuli”</u> Descrizione degli input e dei risultati intermedi forniti dalla scheda | Ing. Paolo Conti | 02:19 |
| 14 | <u>Le routine esterne di SEAS: solare termico</u> Lancio della routine esterna, analisi degli input e degli output | Dott. Davide Della Vista | 03:56 |
| 15 | <u>Il sottosistema di generazione</u> Analisi delle schede “Generazione ACS”, “Generazione RISC” e “Generazione Aria Primaria” – Descrizione degli input e dei risultati intermedi forniti dalle schede | Ing. Paolo Conti | 07:03 |
| 16 | <u>Le routine esterne di SEAS: Fotovoltaico</u> Lancio della routine esterna, analisi degli input e degli output | Dott. Davide Della Vista | 04:03 |
| 17 | <u>La scheda “Risultati audit”</u> Analisi delle tabelle con i risultati della diagnosi, suddivise per vettore energetico e per servizio – Differenze tra i risultati riguardanti la singola zona termica e l’intero sistema centralizzato | Ing. Eva Schito | 04:53 |
| 18 | <u>La sezione di “Fatturazioni energetiche”</u> Inserimento delle fatturazioni energetiche dei vettori energetici utilizzati nella zona per i vari servizi in esame | Ing. Elena Menchetti | 11:45 |
| 19 | <u>La procedura di tuning dei dati incerti</u> Il confronto tra risultati dell’audit e fatturazioni energetiche, scelta dei dati su cui effettuare il tuning – Individuazione degli input che influenzano i fabbisogni di più vettori energetici ed input che non incidono sui risultati finali | Ing. Eva Schito | 08:10 |
| 20 | <u>Simulazione di interventi di retrofit</u> Procedura per la simulazione di interventi di retrofit sulla zona oggetto di audit e verifica dei risparmi energetici conseguibili | Ing. Eva Schito | 09:26 |
| 21 | <u>Le routine esterne di SEAS: Analisi Economica</u> Lancio della routine esterna, analisi degli input e degli output | Dott. Davide Della Vista | 08:22 |

2.3 Elaborazione di un modello semplificato di SEAS per il residenziale (Modello SEAS Light)

2.3.1 Introduzione

Nelle analisi energetiche in ambito edilizio è di fondamentale importanza per il professionista poter utilizzare software di calcolo che, attraverso pochi e semplici input, riescano a simulare correttamente i fabbisogni energetici, in linea con le corrispondenti fatturazioni, e consentano di individuare i migliori interventi di efficientamento. In quest'ottica si colloca lo sviluppo del modello SEAS Light.

SEAS Light è un modello dinamico semplificato a parametri concentrati che permette il calcolo del fabbisogno termico di riscaldamento per edifici residenziali, che potrebbe sostituire la parte del motore di calcolo di SEAS relativa al servizio di riscaldamento, lasciando inalterate le altre funzionalità originali (produzione di ACS, servizi elettrici, analisi economica, etc.).

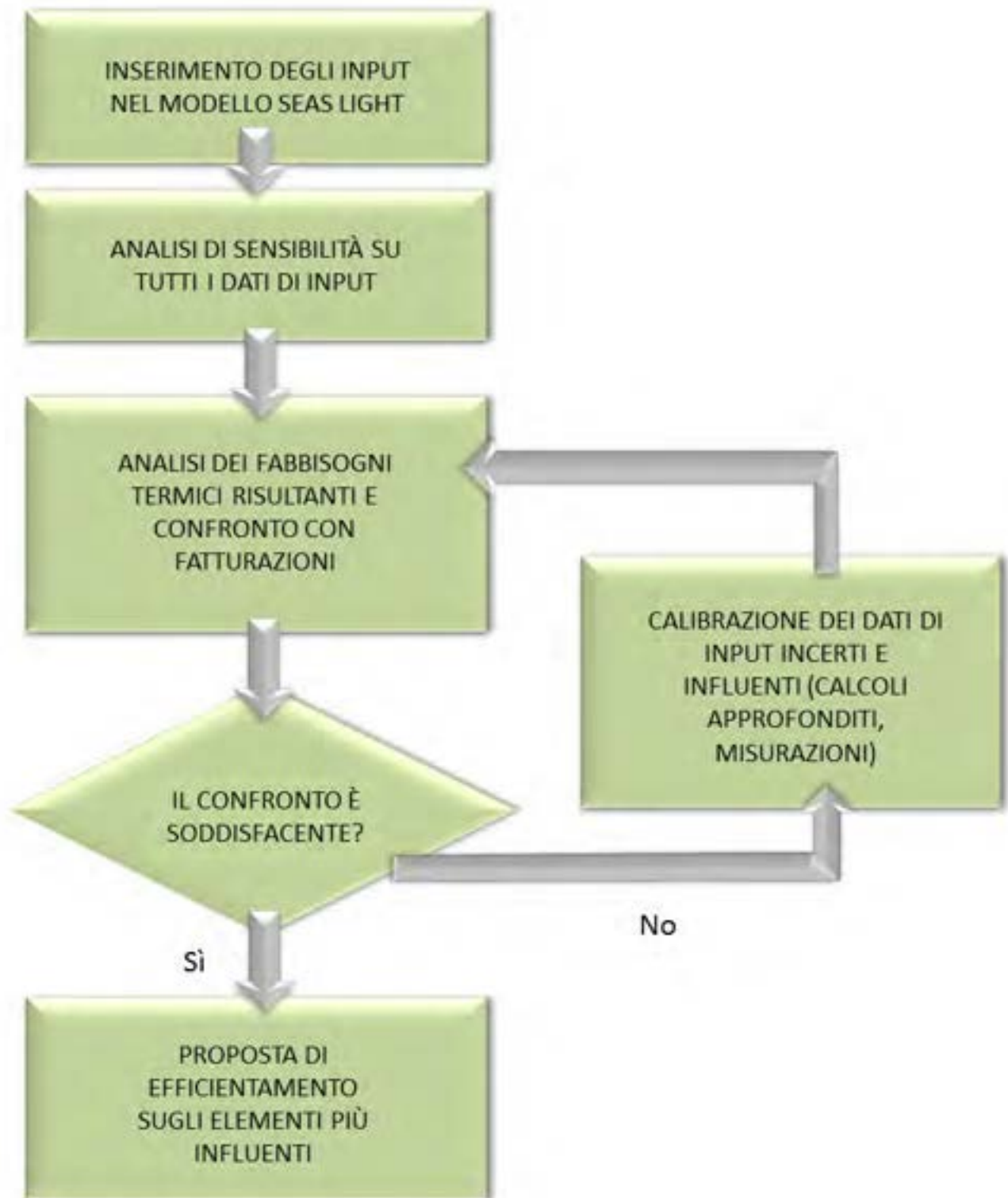
Le potenzialità del modello sono pensate per le tipiche esigenze degli auditor; in particolare è possibile effettuare analisi dettagliate e ottenere grafici sui profili di consumo, non solo a livello mensile/annuale, ma anche per periodi di tempo inferiori (fino ai profili giornalieri). Allo stesso tempo si possono effettuare comparazioni su tecnologie e soluzioni impiantistiche differenti, per valutare l'intervento più efficiente a livello di sistema e non solo di singolo componente. Tutte queste qualità sono in linea con i criteri minimi per gli audit energetici, come riportato dall'All. 2 al D.Lgs. 102/2014. Per di più, la natura dinamica del modello garantisce ampi margini di sviluppo, per esempio allargando il calcolo anche ai fabbisogni di raffrescamento.

SEAS Light introduce anche una nuova metodologia di utilizzo, che può permettere l'ottenimento di risultati accurati (come vedremo in seguito, con errori intorno al 10%) con l'inserimento di un numero ridotto di variabili in ingresso. Questo però è possibile solo con una conoscenza chiara del significato termoenergetico dei parametri di input da parte degli auditor. La metodologia proposta per il corretto utilizzo di SEAS Light è rappresentata nel diagramma di flusso mostrato di seguito.

Nell'effettuare una diagnosi energetica, l'utilizzatore del modello deve definire i vari parametri in ingresso, segnalando quelli più incerti. A questo punto si effettua un'analisi di sensibilità a tutte le variabili, così da verificare quali influenzano maggiormente il fabbisogno energetico risultante. In seguito si confrontano i risultati calcolati da SEAS Light e i valori disponibili dallo storico dei consumi reali fatturati. Se il confronto non è soddisfacente, l'auditor può andare a modificare le variabili incerte che, con l'analisi di sensibilità, ha verificato essere anche influenti. Conclusa questa procedura iterativa di calibrazione dei valori di ingresso, SEAS Light potrà essere utilizzato per successive analisi di efficientamento dell'edificio analizzato, intervenendo sugli elementi più influenti.

Risultati accurati possono essere ottenuti con l'inserimento di pochi dati in ingresso, i quali sono parametri aggregati rispetto ai classici input dei software termotecnici comunemente utilizzati, quindi SEAS Light richiede un'elevata competenza in ambito energetico da parte degli utilizzatori e padronanza dei suddetti parametri. Tra l'altro, alcuni di questi parametri sono definiti da normative tecniche del settore e da leggi nazionali in tema di risparmio energetico, quindi sono valori calcolati dai software di progettazione (ad esempio lo sfasamento di una parete opaca).

Molte variabili di input possono essere inserite sia con un valore costante, sia definendo uno scheduling anche molto dettagliato, fino ad un intervallo orario. Ciò si adatta bene alla fase di calibrazione proposta. Ad esempio, per un primo tentativo di calcolo, nel caso di stima del coefficiente di trasmissione dell'energia solare attraverso gli elementi vetrati, con presenza di chiusura oscurante, l'utente può utilizzare un valore costante di g_{gl} (definito nella UNI/TS 11300-1) e definire un profilo medio di utilizzo delle chiusure oscuranti. Se l'analisi di sensibilità mostra che il fabbisogno termico non è sensibile a tale parametro, l'auditor può non preoccuparsi di calcolare tale valore con maggiore precisione. In caso contrario è necessario un più dettagliato scheduling dell'utilizzo delle chiusure oscuranti.



Dati di input

Il modello di involucro necessita i seguenti dati di input (che saranno descritti nel seguito):

| | Unità di misura | Simbolo |
|--|--------------------------|-------------------------------|
| Dati climatici | | |
| Temperatura esterna oraria* | [K] | $T_{ext}(t)$ |
| Irraggiamento solare su superficie orizzontale orario* | [Wh] | $I(t)$ |
| Dati sull'involucro | | |
| Geometria dell'involucro ed esposizione | [m] | - |
| Capacità termica statica pareti | [kJ/(K m ²)] | C_{stat} |
| Trasmittanza statica pareti | [W/(K m ²)] | U_{stat} |
| Capacità termica periodica pareti | [kJ/(K m ²)] | C_m |
| Trasmittanza termica periodica pareti | [W/(K m ²)] | U_{din} |
| Sfasamento pareti | [h] | ϕ |
| Trasmittanza statica finestre | [W/(K m ²)] | U_{fin} |
| Coefficiente di trasmissione dell'energia solare delle finestre | - | g_{gl} |
| Fattori di shading, ombreggiatura e telaio delle finestre | - | $F_{sh,ob}$ $F_{sh,gl}$ F_f |
| Coefficiente correttivo dello scambio termico verso ambienti diversamente climatizzati | - | b |
| Dati di programmazione e scheduling | | |
| Temperatura di set-point della zona termica | [K] | $T_{set\ point}(t)$ |
| Profilo orario degli apporti interni | [Wh] | $\dot{Q}_{app}(t)$ |
| Profilo orario dei ricambi | [m ³] | $\dot{V}_{ric}(t)$ |

*TMY (Typical Meteorological Year)

Il modello di impianto necessita i seguenti dati di input:

| | Unità di misura | Simbolo |
|--|-------------------------|--------------------------------|
| Caratteristiche del terminale | | |
| Esponente di scambio termico | - | n |
| Potenza nominale | [kW] | \dot{Q}_{des} |
| Salto termico con l'ambiente nominale | [K] | ΔT_{des} |
| Rendimento di emissione | [%] | η_{emiss} |
| Caratteristiche della regolazione | | |
| Intervallo di banda morta | [K] | $\Delta T_{banda\ set\ point}$ |
| Temperatura di mandata (in base alla tipologia di regolazione fissa o con legge climatica *) | [K] | $T_{mand}(t)$ |
| Caratteristiche del sistema di distribuzione | | |
| Conducibilità strati tubi | [W/(K m ²)] | λ |
| Spessore tubi | [m] | s |
| Lunghezza tubi | [m] | L |
| Temperatura ambiente esterno ai tubi | [K] | $T_{amb\ tubi}$ |
| Caratteristiche del sistema di accumulo | | |
| Trasmittanza serbatoi | [W/(K m ²)] | $U_{accumulo}$ |
| Area scambio serbatoi | [m] | $A_{accumulo}$ |
| Temperatura ambiente esterno ai serbatoi | [K] | $T_{amb\ acc}$ |

| Caratteristiche del sistema di generazione-caldaia | | |
|---|------|-----------------------------------|
| Potenza termica nominale caldaia | [kW] | $\dot{Q}_{termica\ nom}$ |
| Rendimento nominale caldaia | [%] | $\eta_{cald\ nom}$ |
| Potenza termica al minimo di modulazione | [kW] | $\dot{Q}_{termica\ min}$ |
| Rendimento caldaia alla potenza sopra citata | [%] | $\eta_{cald}(FC, T_{mand})^{**}$ |
| Fattore di perdita a carico nullo | [%] | f |
| Temperatura media acqua in caldaia di riferimento (o di test) | [K] | θ_{test} |
| Caratteristiche del sistema di generazione-pompa di calore | | |
| Potenza termica nominale pompa di calore | [kW] | $\dot{Q}_{termica\ nom}$ |
| Coefficient of performance nominale | - | COP_{nom} |
| Coefficient of performance | - | $COP(FC, T_{mand}, T_{ext})^{**}$ |

*con regolazione PID si fissa la potenza termica al terminale, dunque T_{mand} diventa una variabile intermedia calcolata da SEAS Light

**con FC si indica il fattore di carico

Il presente modello si pone l'obiettivo di simulare il fabbisogno energetico per il riscaldamento di un involucro a partire da un numero ridotto di dati in input. Per fare questo si sfruttano alcuni parametri dell'edificio, tipicamente impiegati nei calcoli e nelle normative in tema di efficienza e certificazione energetica degli edifici.

Il modello è capace di riprodurre i fabbisogni termici di involucro e simulare al tempo stesso l'impianto termico asservito, attraverso un calcolo dinamico, in modo da permettere il calcolo dell'energia primaria annuale e rendere disponibili profili di consumo per intervalli di tempo inferiori.

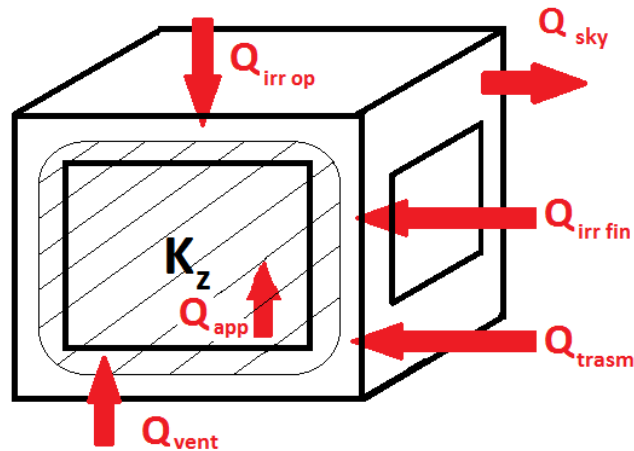
Avere a disposizione un modello dinamico permette la potenziale espansione al calcolo dei fabbisogni di raffrescamento, oggetto di studi futuri.

2.3.2 Modellazione dell'involucro

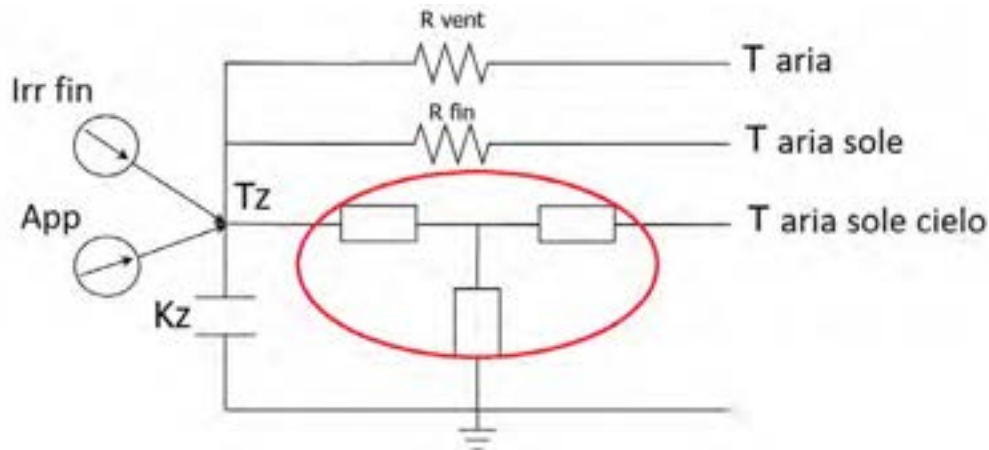
L'idea è la definizione di un modello dinamico semplificato, in cui ogni zona termica abbia una propria temperatura e capacità di zona (modello ad un nodo). Effettivamente questa temperatura e questa capacità non devono essere confuse con quelle dell'aria interna, dal momento che anche le pareti influenzano significativamente il comportamento termico della zona. Si parla quindi di sistema a parametri concentrati con una capacità termica efficace K_z . Il time-step scelto è l'ora, in base ai seguenti motivi:

- Disponibilità di dati climatici orari (TMY)
- Si considera lo stesso time-step della UNI EN 15265
- È difficile ottenere profili di utilizzo con maggiore dettaglio
- In questo modo si possono trascurare transitori veloci di alcuni componenti dell'impianto
- In generale risulta un buon compromesso tra costi (input) e benefici (bontà del modello)

Lo schema concettuale è riportato di seguito.



La zona termica può essere schematizzata anche secondo un'analogia elettrica nel seguente modo



La parte del circuito cerchiata in rosso rappresenta il comportamento delle strutture disperdenti. Nel modello semplificato queste sono schematizzate con una semplice equazione di bilancio corretta con l'utilizzo di parametri specifici, con l'obiettivo di recuperare gli effetti dinamici.

2.3.3 Analisi dei bilanci della zona termica

In ogni intervallo di tempo in cui l'impianto è acceso, l'energia termica da fornire all'involucro è suddivisa in due contributi:

1. Q_{carica} è la quota necessaria a portare la temperatura di zona al set-point definito ($T_{set\ point}$). Tale contributo si calcola in tutti i time-step in cui l'impianto si accende dopo un periodo caratterizzato dall'evoluzione libera della struttura.
2. Q_{disp} corrisponde alle varie dispersioni a cui l'impianto deve sopperire affinché la zona si mantenga alla temperatura di set-point.

Si esplicitano le equazioni per il calcolo dei due contributi in ogni time-step t:

$$Q_{carica}(t) = C_m \beta_H (T_{set\ point} - T_z(t-1))$$

$$C_m \frac{\Delta T_z}{\Delta t} = \sum_{disp} \dot{Q} = \dot{Q}_{vent} - \dot{Q}_{app} - \dot{Q}_{irr_{fin}} + \dot{Q}_{trasm} + \dot{Q}_{sky} - \dot{Q}_{irr_{op}}$$

$$Q_{disp}(t) = \varepsilon_H \sum_{disp} \dot{Q} \Delta t = C_m \varepsilon_H \Delta T_z$$

Dove i singoli termini sono:

$K_z = C_m \beta_H$ con C_m si intende la capacità termica periodica calcolata secondo la UNI EN ISO 13786 (si devono considerare anche eventuali divisori interni nella capacità). β_H e ε_H sono due opportuni parametri correttivi che saranno spiegati successivamente.

$\dot{Q}_{vent} = \dot{m}_{ric} c_p (T_z - T_{ext})$ quota di ventilazione

$\dot{Q}_{app} = f(t)$ apporti interni dipendenti dallo scheduling definito come input del modello

$\dot{Q}_{irr_fin} = g_{gl} I$ irraggiamento entrante dalle finestre, con g_{gl} coefficiente di trasmissione del vetro alle radiazioni solari. I parametri $F_{sh,ob}$ e $F_{sh,gl}$, relativi rispettivamente all'ombreggiamento per elementi esterni e per schermature, sono introdotti nel modello con lo stesso significato della normativa UNI/TS 11300-1.

$\dot{Q}_{trasm_op} = \dot{Q}_{trasm_statico} + \dot{Q}_{trasm_dinamico}$ quota di trasmissione attraverso le pareti opache; le equazioni specifiche saranno presentate nel capitolo successivo.

I ponti termici possono essere considerati come dispersioni aggiuntive considerando le trasmittanze lineiche.

Allo stesso modo anche i locali diversamente climatizzati sono considerati come da normativa UNI TS 11300-1 attraverso il parametro correttivo b.

$\dot{Q}_{trasm_fin} = U_{fin} A_{fin} (T_z - T_{aria-cielo})$ quota di dispersione attraverso le finestre per convezione e per irraggiamento verso il cielo. Nel bilancio si utilizza la temperatura aria-cielo.

\dot{Q}_{sky_op} e \dot{Q}_{irr_op} rispettivamente, quota di dispersione delle pareti opache verso il cielo per irraggiamento e quota di irraggiamento solare che incide sulle pareti opache. Tali contributi sono già considerati nella quota di trasmissione attraverso le pareti opache (\dot{Q}_{trasm_op}) dal momento che nei bilanci si utilizza la temperatura sole-aria-cielo.

Temperatura sole aria cielo

Per definire la formula della temperatura sole-aria-cielo per pareti orizzontali e verticali, si considerano i flussi di calore della superficie esterna (a temperatura T_s) con l'ambiente circostante:

$$\dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{sky} + \dot{Q}_{irr_ext} - \dot{Q}_{irr_dir} = \dot{Q}_{equivalente}$$

dove:

\dot{Q}_{conv} è la potenza termica scambiata per convezione con l'esterno

\dot{Q}_{sky} è la potenza termica scambiata per irraggiamento verso il cielo

\dot{Q}_{irr_ext} è la potenza termica scambiata per irraggiamento con l'ambiente circostante

\dot{Q}_{irr_dir} è la potenza termica dovuta alla radiazione solare incidente

$\dot{Q}_{equivalente}$ è la potenza termica equivalente, cioè si considera la superficie s schermata e che scambia con un ambiente avente temperatura e coefficiente di scambio equivalenti

Per pareti verticali si considera l'irraggiamento solare assorbito ($a I$), l'irraggiamento verso il cielo con fattore di vista 0,5 e l'irraggiamento verso l'ambiente circostante (ad esempio il terreno in prima approssimazione considerato alla stessa temperatura dell'aria) con fattore di vista 0,5.

$$h_{conv}(T_s - T_{ext}) + 0,5 h_r(T_s - T_{sky}) + 0,5 h_r(T_s - T_{ext}) - a I = \bar{h}(T_s - T_{sole\ aria\ cielo})$$

dove:

$\bar{h} = h_{conv} + h_r$ coefficiente di scambio equivalente. Con h_{conv} si intende il coefficiente convettivo esterno, con h_r si intende il coefficiente radiativo (ripreso dalla norma UNI EN 15265)

T_{sky} è la temperatura del cielo

$T_{sole\ aria\ cielo}$ temperatura equivalente

$$T_{sac} = T_{ext} + \frac{0,5 h_r(T_{sky} - T_{ext})}{h_{conv} + h_r} + \frac{a}{h_{conv} + h_r} I$$

Per pareti orizzontali si considera l'irraggiamento verso il cielo con fattore di vista unitario.

$$T_{sac} = T_{ext} + \frac{h_r(T_{sky} - T_{ext})}{h_{conv} + h_r} + \frac{a}{h_{conv} + h_r} I$$

Per le finestre il coefficiente di assorbimento è generalmente molto basso (es. $a=0,08$), pertanto si può parlare di "temperatura aria-cielo".

$$T_{ac\ finestra} = T_{ext} + \frac{0,5 h_r}{h_{conv} + h_r} (T_{sky} - T_{ext})$$

2.3.4 Modellazione dello scambio termico per trasmissione attraverso le pareti opache

Le pareti opache sono mezzi di scambio termico capacitivi, dunque si devono considerare gli effetti dinamici causati dalle fluttuazioni di tutte le forzanti esterne (che si riassumono nella fluttuazione della temperatura sole-aria-cielo). L'ambizione del modello è di definire tali effetti tramite una sola equazione.

Per fare ciò si introducono due contributi per la quota di calore dispersa \dot{Q}_{trasm_op} : il contributo statico ($\dot{Q}_{trasm\ statico}$) e quello dinamico ($\dot{Q}_{trasm\ dinamico}$), intesi entrambi come prodotto di un'opportuna trasmittanza per una differenza di temperatura.

$$\dot{Q}_{trasm_op} = \sum_{p=pareti} (U_{stat} A_p \Delta T_{stat} + U_{din} A_p \Delta T_{din})$$

$$\dot{Q}_{trasm_op} = \dot{Q}_{stat} + \dot{Q}_{din}$$

1. Per il termine statico si considera la trasmittanza statica della parete e la differenza tra la temperatura interna della zona e la temperatura esterna, entrambe mediate sulle 24 ore precedenti.

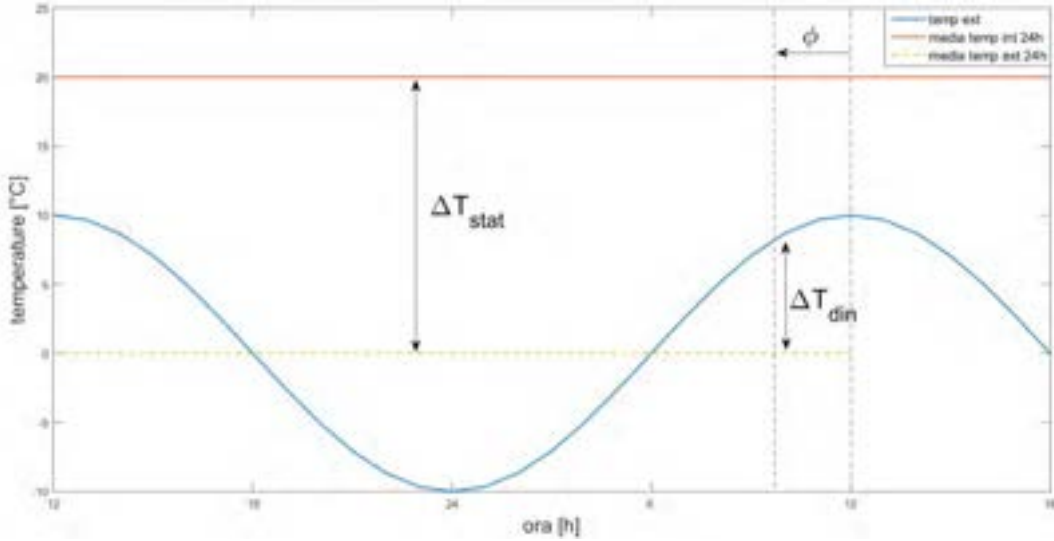
$$U_{stat} A_p (\bar{T}_z(t) - \bar{T}_{ext}(t)) \quad \text{con} \quad \bar{T}(t) = \frac{\sum_{t-24}^t T(t)}{24}$$

2. Per il termine dinamico si fa riferimento alle grandezze introdotte dalla UNI EN ISO13786. In tale normativa si definisce la soluzione esatta di Fourier (attraverso le matrici di trasferimento) al problema di una parete multistrato con condizioni al contorno di temperature sinusoidali e isofrequenziali a media nulla (in appendice si riporta la procedura analitica in dettaglio). Tra le varie grandezze proposte dalla normativa si è utilizzata la trasmittanza termica dinamica, numero complesso di modulo U_{din} e sfasamento ϕ , definito come il rapporto tra il flusso termico calcolato sulla superficie interna e l'oscillazione della temperatura esterna (a media nulla), considerando la temperatura interna costante (pari a zero gradi centigradi). Dal momento che l'effetto delle medie delle temperature è stato considerato con il termine statico, si utilizzano proprio le due grandezze sopra citate per definire il termine dinamico:

$$U_{din} A_p (\bar{T}_{ext}(t) - T_{ext}(t - \phi))$$

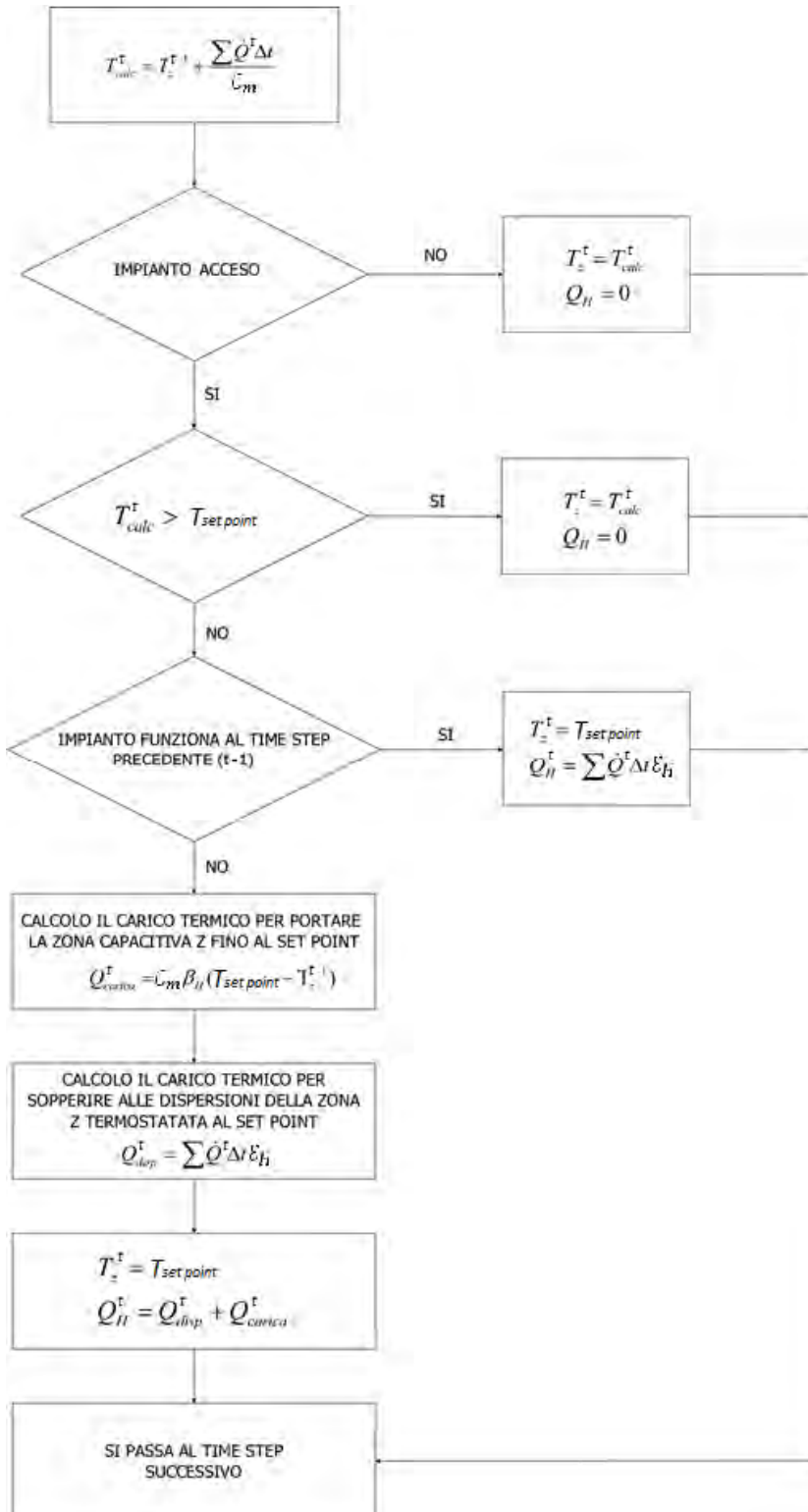
La parete comporta che le forzanti esterne si risentano all'interno dopo un certo ritardo, per questo nel termine dinamico si considera al tempo t la temperatura esterna sfasata proprio di ϕ .

L'utilizzo della UNI EN ISO 13786 permette di semplificare molto la gestione degli input al modello, dal momento che i valori sopra citati sono disponibili in tutti i software di calcolo per progettazione termotecnica e certificazione energetica in ambito edilizio.



2.3.5 Algoritmo di calcolo del modello

Nella pagina seguente si riporta lo schema concettuale dell'algoritmo:



1. Si calcola la temperatura al time-step t a partire dalla temperatura al time-step t-1 considerando il bilancio di energia della zona in evoluzione libera.

2. Si verifica se l'impianto nel time-step t è acceso o meno: se la programmazione dell'impianto impone che sia spento, la temperatura calcolata in 1 diventa la temperatura del time-step t, altrimenti si passa al punto 3.

3. Si verifica se la temperatura calcolata in 1 supera il set-point. Se lo supera tale temperatura diventa la temperatura del time-step t, altrimenti si passa al punto 4.

4. Si verifica se l'impianto era acceso al time-step t-1. Se sì, non occorre caricare la zona (che ha capacità K_z), quindi si impone la temperatura di zona pari a $T_{setpoint}$ e si calcolano le dispersioni della zona, che costituiscono il fabbisogno di involucro; se l'impianto è spento al time-step t-1, al calcolo delle dispersioni si aggiunge la carica della capacità della zona. In entrambi i casi la temperatura della zona diventa $T_{setpoint}$.

5. Si passa al time-step successivo.

2.3.6 Significato fisico dei parametri correttivi

Nelle equazioni di bilancio definite compaiono due coefficienti correttivi.

β_H

Il coefficiente correttivo della capacità C_m , ottenuta dalla UNI EN ISO 13786, si rende necessario perché:

- La capacità ottenuta da normativa è riferita a un problema fisico diverso da quello reale (vedere in appendice il calcolo di normativa); in particolare le forzanti prese come condizioni al contorno della parete sono andamenti di temperatura sinusoidali, mentre nella realtà le forzanti sono di forma diversa da quella sinusoidale e possono essere anche flussi di calore (apporti interni, irraggiamento solare, etc.).
- Si tratta la zona Z come se fosse un corpo omogeneo alla medesima temperatura, ma in realtà il nodo considerato coinvolge aria e parte dell'involucro, i quali non sono ovviamente alla medesima temperatura. Ciò influenza il processo di carica, dal momento che il modello considera tutta la zona a $T_{\text{set point}}$ a carica terminata, mentre nella realtà le pareti sono ad una temperatura differente, dunque si necessita di un coefficiente correttivo.

ε_H

Il coefficiente corregge le dispersioni di involucro:

- Quando l'impianto è acceso le dispersioni si calcolano mantenendo la zona a $T_{\text{set point}}$. Nella realtà il nodo coinvolge le parti interne delle pareti che sono ad una temperatura diversa da $T_{\text{set point}}$. Pertanto si necessita di un coefficiente che corregga le dispersioni.

2.3.7 Modellazione dell'impianto

Il modello dell'involucro definisce il fabbisogno orario dell'edificio; il passo successivo è la definizione del comportamento dell'impianto asservito all'involucro. L'impianto è composto da vari sottosistemi: terminali, distribuzione, accumulo, generazione.

La temperatura della zona termica, definita nel file di involucro, non può essere utilizzata per definire i tempi di funzionamento dell'impianto, in quanto non è rappresentativa della temperatura dell'aria su cui agiscono i sistemi di controllo. Dunque si effettua un controllo non sulla temperatura ma sull'energia. Conoscendo l'energia oraria necessaria all'involucro, si valuta in che modo l'impianto riesce a soddisfare tale richiesta.

Si considera solo la tipologia di impianto alimentato ad acqua, ritenuto la soluzione impiantistica più utilizzata nel residenziale.

Il funzionamento dell'impianto è dipendente dal tipo di terminali e generatore utilizzati, se quest'ultimo è modulante o meno e dal tipo di regolazione della temperatura di mandata.

Il modello di impianto segue la seguente logica:

1. Il modello di involucro comunica il fabbisogno dell'edificio al time-step t ed eventualmente a tale energia si somma il surplus del time-step $t-1$ (surplus definito in seguito).
2. Si deve inserire il tipo di regolazione della temperatura di mandata all'impianto: a mandata fissa, climatica o PID. Si passa alla risoluzione dei bilanci sul terminale. Lo scambio termico nei terminali viene considerato con l'equazione $\dot{Q}_{term} = K(\Delta T)^n$, con K, n variabili in base alla tipologia di terminale e generalmente indicati nei cataloghi delle ditte costruttrici.

$$\begin{cases} \dot{Q}_{term} = \dot{m} c (T_{mand} - T_{rit}) \\ \dot{Q}_{term} = \dot{Q}_{des} \left(\frac{\Delta T}{\Delta T_{des}} \right)^n \end{cases}$$

dove:

$$\Delta T = \frac{T_{mand} + T_{rit}}{2} - T_z \text{ con } T_z = T_{set \text{ point}}$$

T_{mand} temperatura d'ingresso al terminale

T_{rit} temperatura d'uscita dal terminale

\dot{Q}_{des} potenza termica del terminale nelle condizioni di design

ΔT_{des} salto termico con l'interno del terminale in condizioni di design

Nel caso di mandata fissa o climatica, è nota T_{mand} e sono incognite T_{rit} e \dot{Q}_{term} , mentre nel caso PID è nota \dot{Q}_{term} e restano incognite T_{mand} e T_{rit}

Si verifica se il fabbisogno di involucro (comprensivo di eventuale surplus $Q_{inv}(t) + Q_{surplus}(t-1)$) può essere coperto dal terminale nel time-step ($\Delta t_{max} = 1 \text{ h}$). Lavorando a potenza costante \dot{Q}_{term} , a seconda dell'energia richiesta, il terminale può lavorare per un $\Delta t_{term} < \Delta t_{max}$ oppure è necessario che esso lavori per tutto il time-step Δt_{max} , senza coprire tutto il fabbisogno richiesto. Quindi si possono incontrare due situazioni:

$$a. \frac{Q_{inv}(t) + Q_{surplus}(t-1)}{\dot{Q}_{term}(t)} = \Delta t_{term} > \Delta t_{max}$$

Il terminale deve lavorare per tutto il time-step, inoltre si ha un surplus di energia da dover coprire nel time-step successivo.

$$Q_{surplus}(t) = Q_{inv}(t) - Q_{term}(t)$$

Ora si possono verificare due condizioni:

- I. Generatore non modulante: il generatore eroga sempre una potenza fissa, quindi le tempistiche di funzionamento del generatore possono non coincidere con quelle del terminale. Per conoscere le prestazioni del generatore occorre riferirsi ad un fattore di carico così definito:

$$\alpha = \frac{Q_{term}}{\dot{Q}_{gen} \Delta t_{max}} = \frac{\dot{Q}_{term} \Delta t_{max}}{\dot{Q}_{gen} \Delta t_{max}}$$

- II. Generatore modulante: il generatore adatta la sua potenza a quella del terminale. Se la potenza richiesta dal terminale rientra nel range di modulazione del generatore, il generatore funziona a $\alpha = 1$ ($\dot{Q}_{term} = \dot{Q}_{gen}$). Altrimenti il generatore funziona alla potenza minima e il fattore di carico torna ad essere quello del punto I.

$$b. \frac{Q_{inv}(t) + Q_{surplus}(t-1)}{\dot{Q}_{term}(t)} = \Delta t_{term} < \Delta t_{max}$$

Al terminale basta un tempo inferiore rispetto al time-step per coprire il fabbisogno.

$$Q_{inv}(t) + Q_{surplus}(t-1) = Q_{term}(t) = \dot{Q}_{term}(t) \Delta t_{term}$$

- I. Generatore non modulante: il generatore funziona alla potenza nominale.

$$\alpha = \frac{Q_{term}}{\dot{Q}_{gen} \Delta t_{max}} = \frac{\dot{Q}_{term} \Delta t_{term}}{\dot{Q}_{gen} \Delta t_{max}}$$

- II. Generatore modulante: il generatore adatta la sua potenza a quella del terminale. Se la potenza del terminale rientra nell'intervallo di modulazione:

$$\alpha = \frac{Q_{term}}{\dot{Q}_{gen} \Delta t_{max}} = \frac{\Delta t_{term}}{\Delta t_{max}}$$

Altrimenti \dot{Q}_{gen} corrisponde alla potenza minima del generatore e il fattore di carico diventa:

$$\alpha = \frac{Q_{term}}{\dot{Q}_{gen} \Delta t_{max}} = \frac{\dot{Q}_{term} \Delta t_{term}}{\dot{Q}_{gen} \Delta t_{max}}$$

2.3.8 Calcolo del rendimento di generazione nel caso di caldaia

Si considera l'adozione di una caldaia come sistema di generazione; l'idea è di effettuare un'interpolazione sui dati dei costruttori. In questi ultimi è riportato, oltre ai rendimenti classici, un "fattore di perdita a carico nullo", cioè un fattore adimensionale che tiene conto di un consumo minimo della caldaia anche quando non viene ceduta potenza termica al circuito idronico.

$$f = \frac{\dot{Q}_{perdite}}{\dot{Q}_{termica\ nom}}$$

Nel caso in cui la caldaia effettua periodi di off si dovrà tenere conto di tali perdite. Dunque si definisce un rendimento di caldaia pari a:

$$\eta_{gen} = \frac{\dot{Q}_{utile\ gen} \Delta t_{gen}}{\dot{Q}_{termica} \Delta t_{gen} + \dot{Q}_{perdite} (\Delta t_{max} - \Delta t_{gen})} = \frac{\eta_{cald}(FC)}{1 + \frac{f}{FC} \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right)}$$

dove:

$$\eta_{cald} = \frac{\dot{Q}_{utile\ gen}}{\dot{Q}_{termica}}$$

$FC = \frac{\dot{Q}_{termica}}{\dot{Q}_{termica\ nom}}$ è il fattore di carico definito sulla frazione di potenza in ingresso alla caldaia (caldaie non modulanti $FC = 1$)

$\dot{Q}_{utile\ gen}$ è la potenza termica ceduta all'impianto dalla caldaia in determinate condizioni di funzionamento

$\dot{Q}_{termica}$ è la potenza termica in ingresso alla caldaia nelle medesime condizioni di funzionamento sopra citate

È importante la determinazione del rendimento del generatore η_{cald} , il quale dipende dalla frazione di potenza nominale ceduta all'impianto e dalle condizioni di temperatura dell'acqua nella caldaia. Di norma i costruttori, secondo la Direttiva 92/42/CEE, devono fornire i rendimenti del generatore a potenza nominale e ad una potenza intermedia, dai quali estrapolare i restanti rendimenti per interpolazione lineare.

Il generatore è caratterizzato da:

- Rendimento al 100% della potenza utile, relativo alla temperatura di test.
- Rendimento ad una potenza intermedia utile, relativo alla temperatura di test.
- Perdite a carico nullo (si conoscono con f)

Il primo passo è di correggere i rendimenti dati dal costruttore in base alle temperature medie operative con i fattori di correzione di normativa (UNI 11300-2):

$$\eta_{cald Pn corr} = \eta_{cald Pn} + f_{corr}(\theta_{test} - \theta_{eff})$$

In seguito si calcola η_{cald} interpolando i valori $\eta_{cald Pn corr}$ e $\eta_{cald Pint corr}$, in base alla frazione effettiva di potenza utile.

Si possono anche correggere le perdite a carico nullo secondo la formula di normativa UNI/TS 11300-2. Nel caso in cui non fossero note le perdite a carico nullo si considera la formula di normativa:

$$\dot{Q}_{carico nullo} = \dot{Q}_{utile nom} \frac{E}{100} \left(\frac{\dot{Q}_{utile nom}}{1000} \right)^F$$

Con E e F esponenti noti dalla UNI/TS 11300-2.

2.3.9 Calcolo del rendimento di generazione nel caso di pompa di calore

Anche nel caso di pompa di calore si considerano i dati di catalogo del costruttore e si interpola su questi a seconda delle temperature medie delle sorgenti termiche e in funzione del fattore di carico precedentemente determinato

2.3.10 Calcolo del rendimento di distribuzione

Il modello di impianto prevede anche la modellazione del sistema di distribuzione; questo viene considerato attraverso un calcolo analitico delle dispersioni su base oraria, con analogia a quanto proposto dalla normativa UNI/TS 11300-2 ma su base oraria. Il metodo si può riassumere nei seguenti punti:

1. Si conosce l'energia termica necessaria ai terminali per ogni time-step
2. Si determinano le trasmittanze lineiche inserendo nel modello diametro, spessore, conducibilità dell'isolante e tipologia di installazione
3. Si inseriscono i tratti di tubazione interessati al calcolo
4. Si determina la temperatura media del tratto di tubazione secondo la frazione di potenza del terminale rispetto a quella di progetto
5. Si inserisce la temperatura media dell'ambiente dove sono inserite le tubazioni
6. Si calcolano le perdite di distribuzione orarie
7. Si calcolano le perdite per gli ausiliari e l'energia recuperata
8. Si può dunque determinare l'energia in ingresso al sistema di distribuzione, che coincide con quella in uscita dal sistema di generazione o eventualmente di accumulo

2.3.11 Calcolo del rendimento di emissione

Per il calcolo del rendimento di emissione si fa riferimento ai prospetti della norma UNI/TS 11300-2.

2.3.12 Calcolo del rendimento dell'eventuale sistema di accumulo

Come nel caso del rendimento di distribuzione, anche il sistema di accumulo prevede una modellazione tramite calcolo analitico delle dispersioni. Il calcolo viene effettuato su base oraria considerando la temperatura media dell'accumulo e la temperatura del locale esterno, nonché la tipologia di isolamento e le dimensioni del serbatoio di accumulo per il calcolo delle dispersioni.

2.3.13 Parametri correttivi per l'impianto

Come per l'involucro, è possibile correggere i fabbisogni energetici dell'impianto attraverso parametri correttivi che tengano conto dei seguenti effetti:

1. Presenza di una banda morta
2. Errore nel calcolo del tempo necessario per la carica ed errore nel considerare il nodo a $T_{\text{set point}}$ per tutto il tempo di carica

2.3.14 Validazione tramite la normativa UNI EN 15265

Il modello di involucro è stato testato con la normativa UNI EN 15265, la quale definisce i criteri di validazione di modelli dinamici. Sono stati scelti degli opportuni valori costanti dei parametri correttivi β_H e ε_H per tutta la stagione di riscaldamento. Il modello è stato esteso anche al funzionamento estivo, con una metodologia del tutto analoga a quella già presentata nei capitoli precedenti, definendo altri due parametri correttivi β_C e ε_C costanti per tutta la stagione di raffrescamento. Confrontando i fabbisogni di involucro calcolati con quelli esatti presentati nella normativa, gli errori rispettano in tutti i casi i requisiti di validazione minimi definiti dalla UNI EN 15265, rientrando nella classe B.

| <i>Test case</i> | <i>Deviazione percentuale in riscaldamento</i> | <i>Deviazione percentuale in raffrescamento</i> |
|------------------|--|---|
| 1 | 6.7% | -0.2% |
| 2 | 5.7% | -0.7% |
| 3 | 3.4% | 1.0% |
| 4 | 7.3% | -4.1% |
| 5 | -1.9% | 1.9% |
| 6 | -2.3% | -0.1% |
| 7 | -9.5% | 1.8% |
| 8 | 3.6% | 4.7% |
| 9 | 8.9% | -5.5% |
| 10 | 4.3% | -3.2% |
| 11 | 1.8% | -0.1% |
| 12 | 5.1% | -0.8% |

2.3.15 Studio di edifici tipici della realtà italiana

L'obiettivo del lavoro è la definizione di un modello che possa simulare i consumi termici degli edifici della realtà italiana. Dunque è opportuno testare il modello su situazioni tipiche del parco edilizio nazionale. A tal proposito si propongono dei casi studio diversi da quello presente nella normativa UNI EN 15265, ritenuti più idonei agli obiettivi citati.

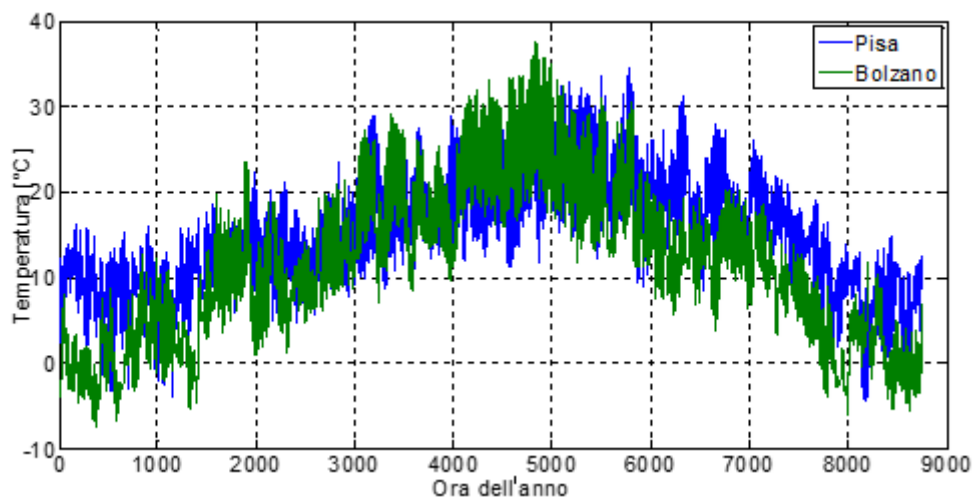
Si sono definite 9 tipologie di strutture disperdenti, scelte dall'abaco UNI/TR 11552-2014, secondo uno studio preliminare sul parco edilizio nazionale:

| # | Parete verticale disperdente | | | Tetto | | Finestra | |
|---|--|-------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|----------|---------------|
| | TIPOLOGIA EDILIZIA | U [W/m ² /K] | C [kJ/m ² /K] | U [W/m ² /K] | C [kJ/m ² /K] | | |
| 1 | Mattoni e sassi | 1,51 | 664 | Abaco CIN 04 inclinato | 1,84 | 554 | Singolo vetro |
| 2 | Muratura cassa vuota | 1,1 | 224 | Abaco COP 03 | 0,56 | 475 | Singolo vetro |
| 3 | Prefabbricato isolante con | 0,46 | 54 | Prefabbricato con isolante | 0,46 | 29 | Doppio vetro |
| 4 | Pareti calcestruzzo in | 1,89 | 294 | Calcestruzzo | 2,54 | 332 | Doppio vetro |
| 5 | Parete prefabbricata in calcestruzzo isolato | 0,87 | 205 | Abaco COP 05 | 1,44 | 297 | Doppio vetro |
| 6 | Muratura con forati e cappotto | 0,25 | 259 | Abaco CIN 03 inclinato | 0,60 | 556 | Doppio vetro |

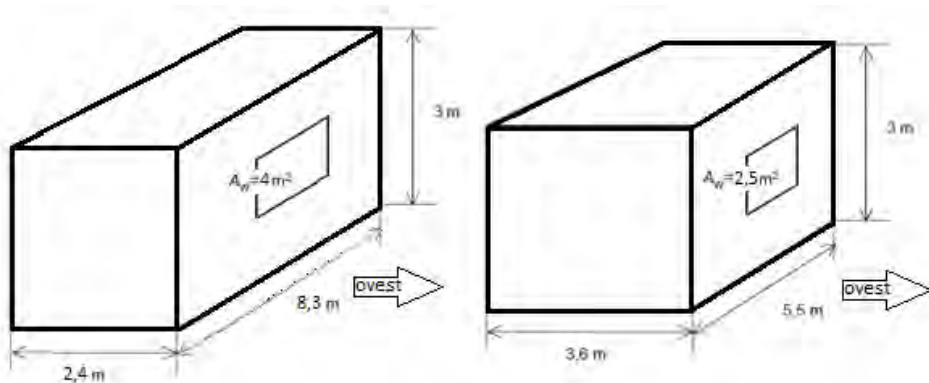
Per la struttura 1,2 e 6 si considera anche il caso in cui non ci sia il tetto disperdente, ma un solaio di interpiano, in modo da ottenere 9 configurazioni di strutture disperdenti.

Per ognuna di queste strutture si sono variate le seguenti caratteristiche:

- Si utilizzano i profili di temperatura e di irraggiamento di Pisa (zona D, GG=1694) e Bolzano (zona E, GG=2791), ripresi dai database del CTI (Comitato Termotecnico Italiano). Tali due climi sono stati scelti in modo da avere comunque un fabbisogno invernale significativo.



- Si analizzano due locali di differente geometria, entrambi caratterizzati da una struttura rettangolare, una sola parete disperdente esposta ad ovest con una finestra nel centro. Le dimensioni dei due locali sono rappresentate nella figura seguente, dove la geometria 1 è posizionata a sinistra e la geometria 2 a destra.

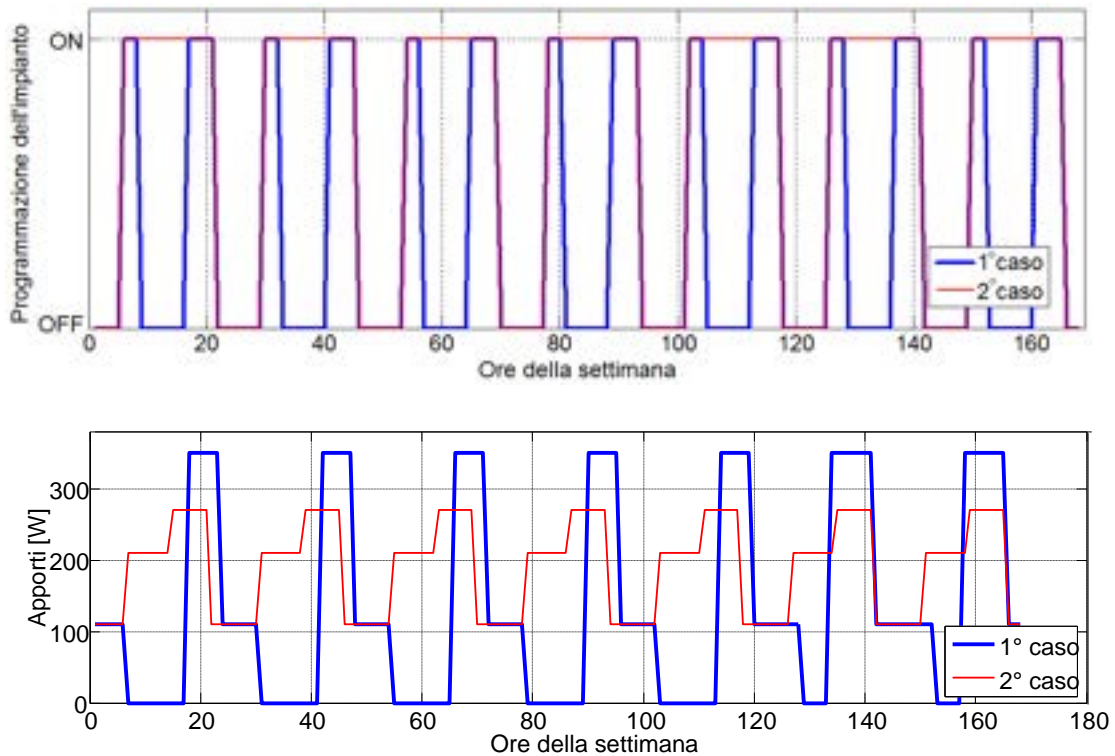


Nella seguente tabella si indicano per le due geometrie il valore del rapporto tra la superficie disperdente e il volume complessivo S/V e il rapporto tra la superficie finestrata e la superficie calpestabile S_{fin}/S_{calp} .

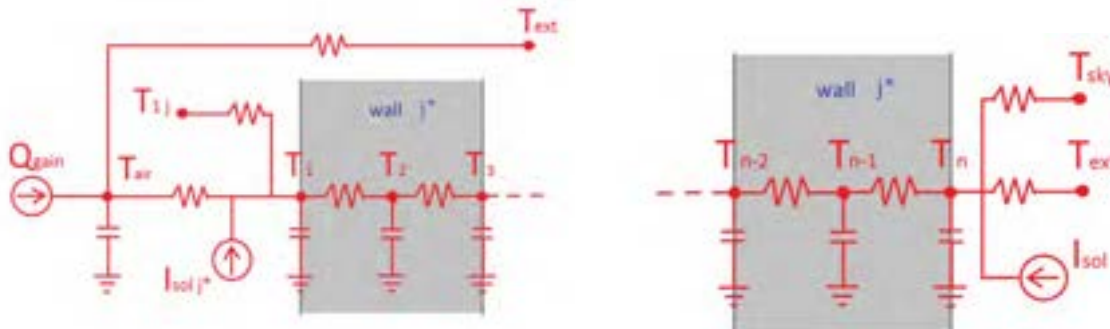
| | S/V | S_{fin}/S_{calp} |
|-------------------------------|----------------------|--------------------|
| Geometria 1 | 0.76 m ⁻¹ | 0.16 |
| Geometria 2 | 0.6 m ⁻¹ | 0.13 |
| Geometria 1 con solaio | 0.42 m ⁻¹ | 0.16 |
| Geometria 2 con solaio | 0.28 m ⁻¹ | 0.13 |

- Si variano gli scheduling degli apporti interni, della gestione dell'impianto e dei profili delle chiusure oscuranti (coefficiente di trasmissione di energia solare degli elementi vetrati g_{gl+sh} e dell'assorbimento degli elementi vetrati a_{sh}). Si considera che in tutte le ore in cui la programmazione preveda l'accensione dell'impianto, non ci sono elementi oscuranti alle finestre; al contrario, nelle ore in cui la gestione impone l'impianto spento, si considerano le finestre oscurate. I casi analizzati sono due:
 - nel primo caso si pensa alle esigenze di lavoratori, con un'occupazione dei locali principalmente nelle ore mattutine e serali;
 - nel secondo caso si considera un'occupazione continua dei locali durante tutto il giorno e la sera (ad esempio, pensionato o casalinga).

Si rappresentano gli scheduling degli apporti interni e della programmazione dell'impianto nella figura seguente durante una settimana.



In totale si sono definiti 72 casi studio (9 strutture x 2 climi x 2 geometrie x 2 scheduling di programmazione dell'impianto e di utilizzo dei locali). Per definire i valori di energia di riferimento, su cui testare il SEAS Light, si calcola il fabbisogno termico annuale, per ogni caso, tramite un modello dinamico dettagliato composto da resistenze e capacità. Si rappresentano nella figura seguente gli schemi in analogia elettrica che rappresentano gli scambi termici all'interno della parete, con l'aria interna e con l'ambiente esterno.



Per tale modello si sono seguite le indicazioni della UNI EN ISO 13791, ad esempio per la definizione del giusto numero di nodi da considerare in ogni strato di tutte le pareti. Anche questo modello è stato validato seguendo la UNI EN 15265. Per ogni caso si calcolano anche due variabili: la costante di tempo termica τ e il rapporto apporti/dispersioni γ_H che, in analogia alle definizioni date dalla UNI/TS 11300-1, si definiscono come segue:

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^{N_{parete}} (\rho c V)_i}{\sum_{i=1}^{N_{parete\ disperdente}} H_i + \sum_{j=1}^{N_{finestra}} H_{fin\ j} + H_{ve}} \quad [h]$$

$$\gamma_H = \frac{\overline{Q_{sol\ fin}} + \overline{Q_{int}}}{(\sum_{i=1}^{N_{parete\ disperdente}} H_{tr\ i} + \sum_{i=1}^{N_{finestra}} H_{tr\ i} + H_{ve})(T_{set\ point} - \overline{T_{sac}})}$$

dove:

$\rho c V$ è la capacità termica di ogni parete

H_i è il coefficiente globale di scambio termico della parete disperdente i-esima (si considera anche il tetto qualora questo comunica con l'esterno)

$H_{fin j}$ è il coefficiente globale di scambio termico della finestra j-esima

H_{ve} è il coefficiente globale di scambio termico per la ventilazione

$Q_{sol fin}$ è il vettore degli apporti solari entranti nelle finestre

Q_{int} è il vettore degli apporti interni

Tutte le medie sono calcolate su un intervallo di integrazione pari al periodo di riscaldamento per le città in esame definito in normativa (per Pisa, zona D, il periodo di riscaldamento è fissato dal 1 novembre al 15 aprile mentre per Bolzano, zona E, dal 15 ottobre al 15 aprile).

Si possono riassumere i risultati ottenuti nella tabella seguente.

| # | Struttura | Tetto | τ [h] | Apporti | Città | Geometria | γ_H | Fabbisogno[kWh] |
|----|-----------|---------|------------|---------|---------|-----------|------------|-----------------|
| 1 | 1 | Esterno | 93 | 2 caso | Pisa | 1 | 0.43 | 1201 |
| 2 | 1 | Solaio | 130 | 2 caso | Pisa | 1 | 0.69 | 577 |
| 3 | 2 | Esterno | 96 | 2 caso | Pisa | 1 | 0.67 | 667 |
| 4 | 2 | Solaio | 102 | 2 caso | Pisa | 1 | 0.81 | 464 |
| 5 | 3 | Esterno | 71 | 2 caso | Pisa | 1 | 1.2 | 153 |
| 6 | 4 | Esterno | 52 | 2 caso | Pisa | 1 | 0.39 | 1245 |
| 7 | 5 | Esterno | 77 | 2 caso | Pisa | 1 | 0.65 | 592 |
| 8 | 6 | Esterno | 192 | 2 caso | Pisa | 1 | 1.2 | 103 |
| 9 | 6 | Solaio | 241 | 2 caso | Pisa | 1 | 1.9 | 7 |
| 10 | 1 | Esterno | 93 | 1 caso | Pisa | 1 | 0.22 | 1245 |
| 11 | 1 | Solaio | 130 | 1 caso | Pisa | 1 | 0.35 | 592 |
| 12 | 2 | Esterno | 96 | 1 caso | Pisa | 1 | 0.33 | 1245 |
| 13 | 2 | Solaio | 102 | 1 caso | Pisa | 1 | 0.41 | 592 |
| 14 | 3 | Esterno | 71 | 1 caso | Pisa | 1 | 0.58 | 1245 |
| 15 | 4 | Esterno | 52 | 1 caso | Pisa | 1 | 0.19 | 592 |
| 16 | 5 | Esterno | 77 | 1 caso | Pisa | 1 | 0.33 | 1245 |
| 17 | 6 | Esterno | 193 | 1 caso | Pisa | 1 | 0.61 | 592 |
| 18 | 6 | Solaio | 242 | 1 caso | Pisa | 1 | 0.93 | 165 |
| 19 | 1 | Esterno | 93 | 2 caso | Bolzano | 1 | 0.29 | 2551 |
| 20 | 1 | Solaio | 130 | 2 caso | Bolzano | 1 | 0.46 | 1448 |
| 21 | 2 | Esterno | 96 | 2 caso | Bolzano | 1 | 0.44 | 1604 |
| 22 | 2 | Solaio | 102 | 2 caso | Bolzano | 1 | 0.54 | 1222 |
| 23 | 3 | Esterno | 71 | 2 caso | Bolzano | 1 | 0.77 | 587 |
| 24 | 4 | Esterno | 52 | 2 caso | Bolzano | 1 | 0.26 | 2603 |
| 25 | 5 | Esterno | 77 | 2 caso | Bolzano | 1 | 0.43 | 1429 |
| 26 | 6 | Esterno | 192 | 2 caso | Bolzano | 1 | 0.80 | 519 |
| 27 | 6 | Solaio | 241 | 2 caso | Bolzano | 1 | 1.2 | 175 |
| 28 | 1 | Esterno | 93 | 1 caso | Bolzano | 1 | 0.13 | 2023 |
| 29 | 1 | Solaio | 130 | 1 caso | Bolzano | 1 | 0.21 | 1493 |
| 30 | 2 | Esterno | 96 | 1 caso | Bolzano | 1 | 0.20 | 1569 |
| 31 | 2 | Solaio | 102 | 1 caso | Bolzano | 1 | 0.24 | 1346 |
| 32 | 3 | Esterno | 71 | 1 caso | Bolzano | 1 | 0.35 | 855 |
| 33 | 4 | Esterno | 52 | 1 caso | Bolzano | 1 | 0.12 | 1996 |
| 34 | 5 | Esterno | 77 | 1 caso | Bolzano | 1 | 0.19 | 1409 |
| 35 | 6 | Esterno | 193 | 1 caso | Bolzano | 1 | 0.36 | 813 |
| 36 | 6 | Solaio | 242 | 1 caso | Bolzano | 1 | 0.55 | 495 |
| 37 | 1 | Esterno | 99 | 2 caso | Pisa | 2 | 0.43 | 880 |
| 38 | 1 | Solaio | 158 | 2 caso | Pisa | 2 | 0.80 | 274 |
| 39 | 2 | Esterno | 120 | 2 caso | Pisa | 2 | 0.71 | 391 |
| 40 | 2 | Solaio | 136 | 2 caso | Pisa | 2 | 0.93 | 205 |
| 41 | 3 | Esterno | 85 | 2 caso | Pisa | 2 | 1.2 | 77 |
| 42 | 4 | Esterno | 56 | 2 caso | Pisa | 2 | 0.37 | 983 |

| | | | | | | | | |
|----|---|---------|-----|--------|---------|---|------|-------------|
| 43 | 5 | Esterno | 84 | 2 caso | Pisa | 2 | 0.61 | 447 |
| 44 | 6 | Esterno | 216 | 2 caso | Pisa | 2 | 1.2 | 58 |
| 45 | 6 | Solaio | 300 | 2 caso | Pisa | 2 | 2 | 3 |
| 46 | 1 | Esterno | 99 | 1 caso | Pisa | 2 | 0.23 | 780 |
| 47 | 1 | Solaio | 158 | 1 caso | Pisa | 2 | 0.43 | 422 |
| 48 | 2 | Esterno | 120 | 1 caso | Pisa | 2 | 0.39 | 509 |
| 49 | 2 | Solaio | 136 | 1 caso | Pisa | 2 | 0.50 | 360 |
| 50 | 3 | Esterno | 86 | 1 caso | Pisa | 2 | 0.63 | 225 |
| 51 | 4 | Esterno | 56 | 1 caso | Pisa | 2 | 0.20 | 828 |
| 52 | 5 | Esterno | 84 | 1 caso | Pisa | 2 | 0.33 | 518 |
| 53 | 6 | Esterno | 216 | 1 caso | Pisa | 2 | 0.63 | 224 |
| 54 | 6 | Solaio | 300 | 1 caso | Pisa | 2 | 1.1 | 62 |
| 55 | 1 | Esterno | 99 | 2 caso | Bolzano | 2 | 0.28 | 1917 |
| 56 | 1 | Solaio | 158 | 2 caso | Bolzano | 2 | 0.53 | 820 |
| 57 | 2 | Esterno | 120 | 2 caso | Bolzano | 2 | 0.47 | 1038 |
| 58 | 2 | Solaio | 136 | 2 caso | Bolzano | 2 | 0.62 | 677 |
| 59 | 3 | Esterno | 85 | 2 caso | Bolzano | 2 | 0.77 | 389 |
| 60 | 4 | Esterno | 56 | 2 caso | Bolzano | 2 | 0.24 | 2082 |
| 61 | 5 | Esterno | 84 | 2 caso | Bolzano | 2 | 0.41 | 1118 |
| 62 | 6 | Esterno | 216 | 2 caso | Bolzano | 2 | 0.77 | 371 |
| 63 | 6 | Solaio | 300 | 2 caso | Bolzano | 2 | 1.3 | 58 |
| 64 | 1 | Esterno | 99 | 1 caso | Bolzano | 2 | 0.14 | 1577 |
| 65 | 1 | Solaio | 158 | 1 caso | Bolzano | 2 | 0.27 | 960 |
| 66 | 2 | Esterno | 120 | 1 caso | Bolzano | 2 | 0.24 | 1100 |
| 67 | 2 | Solaio | 136 | 1 caso | Bolzano | 2 | 0.31 | 848 |
| 68 | 3 | Esterno | 86 | 1 caso | Bolzano | 2 | 0.39 | 592 |
| 69 | 4 | Esterno | 56 | 1 caso | Bolzano | 2 | 0.12 | 1622 |
| 70 | 5 | Esterno | 84 | 1 caso | Bolzano | 2 | 0.21 | 1107 |
| 71 | 6 | Esterno | 216 | 1 caso | Bolzano | 2 | 0.39 | 584 |
| 72 | 6 | Solaio | 300 | 1 caso | Bolzano | 2 | 0.67 | 276 |

Si nota che in alcuni casi il fabbisogno termico stagionale è trascurabile, pertanto tali casi non verranno considerati significativi.

Con questa matrice di casi studio si vuole analizzare il comportamento di SEAS Light per il calcolo dei fabbisogni di involucro, definendo possibili strategie per la determinazione dei parametri correttivi β_H e ε_H . Questa attività è ancora in fase di avanzamento, i risultati hanno dato delle risposte incoraggianti ma non possono essere considerati definitivi. Un primo approccio metodologico che si sta affrontando è la definizione di correlazioni tra i parametri correttivi e alcune grandezze fisiche significative. Ad esempio si è osservato che il parametro ε_H risulta sensibile al tipo di struttura e al valore degli apporti termici gratuiti rispetto all'energia dispersa. Al contrario, per ora si è osservata una minore dipendenza del parametro β_H rispetto a varie variabili in gioco. Come primo tentativo si è ipotizzata una correlazione lineare tra ε_H e i valori di τ e γ_H (precedentemente definiti), mentre β_H si mantiene costante. Dei 72 casi si sono considerati significativi solo quelli con un fabbisogno termico annuale maggiore di 12.6 kWh/m² (59 casi in tutto). L'errore relativo tra il fabbisogno annuale di riscaldamento calcolato con SEAS Light e quello del modello dettagliato ha un valore medio sui casi esaminati intorno al 10%. Si sta anche valutando l'utilizzo di coefficienti β_H e ε_H variabili con il tempo; definendo una correlazione da parametri variabili nel tempo (ad esempio γ_H giornaliero).

Un altro approccio che si sta valutando è la definizione di coppie di valori ottimizzati di β_H e ε_H per ognuno dei 72 casi definiti (che comportano errori relativi ovviamente molto bassi, mediamente inferiori al 2%). In questo modo si può definire una mappa di coppie (β_H, ε_H) per i casi significativi del parco edilizio italiano. Per la simulazione di qualunque altra struttura si possono prendere i parametri del caso mappato più simile, oppure si possono prendere i valori β_H e ε_H di più casi tabellati vicini a quello di interesse e attuare opportune interpolazioni. Tali metodologie sono ancora in fase di studio e perfezionamento, da ottimizzare in funzione degli obiettivi operativi da affidare al modello SEAS Light.

Per la validazione completa di SEAS Light e la definizione dei parametri correttivi della parte d'impianto, si stabiliscono delle configurazioni impiantistiche tipiche del parco edilizio italiano. L'idea è di analizzare impianti idronici caratterizzati da:

- Tipo di Terminale: radiatori, ventilconvettori e pannelli radianti
- Regolazione della temperatura di mandata: fissa, climatica, regolazione PID
- Tipo di generatore: caldaia tradizionale, caldaia a condensazione, pompa di calore

2.3.16 Appendice sulla normativa UNI EN ISO 13786

Nel modello sono stati utilizzati alcuni parametri definiti nella norma UNI EN ISO 13786. Di seguito verranno forniti approfondimenti analitici su tali parametri e sul metodo adottato per ricavarli.

Calcolo della matrice di trasformazione

Equazione di Fourier monodimensionale:

$$\frac{\partial \mathbf{T}}{\partial t} - \alpha \frac{\partial^2 \mathbf{T}}{\partial x^2} = \mathbf{0} \quad \alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p}$$

Le grandezze in ingresso sono periodiche. Ogni funzione periodica può essere sviluppata in serie di Fourier:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \sin\left(\frac{2n\pi}{P} t\right) + b_n \cos\left(\frac{2n\pi}{P} t\right) \right]$$

Che in seguito può essere approssimata con una serie finita di Fourier:

$$F(t) \cong \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{N/2} \left[A_n \cos\left(\frac{2n\pi}{P} t\right) + B_n \sin\left(\frac{2n\pi}{P} t\right) \right]; \quad A_0 = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N \left[F\left(\frac{kP}{N}\right) \right];$$

$$A_n = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N \left[F\left(\frac{kP}{N}\right) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right] \quad B_n = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N \left[F\left(\frac{kP}{N}\right) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \right]$$

Con P si intende il periodo preso in considerazione.

Il problema per sovrapposizione degli effetti può essere ricondotto al problema di regime sinusoidale.

Si impone un segnale di ingresso sinusoidale, ma per facilitare i calcoli si passa alla rappresentazione fasoriale (o metodo simbolico). Il segnale di ingresso è la parte immaginaria del seguente segnale:

$$\theta_0 = \overline{\theta_0} [\cos(\omega t) + j \sin(\omega t)] = \overline{\theta_0} e^{j\omega t}$$

La soluzione sarà sfasata e attenuata:

$$\theta = A(x) [\cos(\omega t - bx) + j \sin(\omega t - bx)] = A(x) e^{j(\omega t - bx)}$$

Derivando si ottiene:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = A(x) \omega [-\sin(\omega t - bx) + j \cos(\omega t - bx)] = A(x) \omega [j \sin(\omega t - bx) + j \cos(\omega t - bx)]$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \omega j [\cos(\omega t - bx) + j \sin(\omega t - bx)] = \omega j A(x) e^{j(\omega t - bx)} = \omega j \theta$$

L'equazione di Fourier diventa:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} - \frac{\omega j}{\alpha} \theta = 0 \rightarrow \theta = M e^{\sqrt{\frac{j\omega}{\alpha}} x} + N e^{-\sqrt{\frac{j\omega}{\alpha}} x} \rightarrow Q = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} = -\lambda \sqrt{\frac{j\omega}{\alpha}} \left[M e^{\sqrt{\frac{j\omega}{\alpha}} x} - N e^{-\sqrt{\frac{j\omega}{\alpha}} x} \right]$$

Ponendomi a $x = 0$ e $x = L$:

$$\begin{cases} x = 0 & \theta = \overline{\theta_0} e^{j\omega t} & Q = \overline{Q_0} e^{j\omega t} \\ x = L & \theta = \overline{\theta_L} e^{j\omega t} & Q = \overline{Q_L} e^{j\omega t} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} M + N = \overline{\theta_0} \\ -\lambda \sqrt{\frac{j\omega}{\alpha}} (M - N) = \overline{Q_0} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} M = \frac{\overline{\theta_0} - \frac{\overline{Q_0}}{\lambda \sqrt{\frac{j\omega}{\alpha}}}}{2} \\ N = \frac{\overline{\theta_0} + \frac{\overline{Q_0}}{\lambda \sqrt{\frac{j\omega}{\alpha}}}}{2} \end{cases}$$

Definendo $\beta = \sqrt{\frac{j\omega}{\alpha}}$; $\delta = \sqrt{\frac{2\lambda}{\omega \rho c}} = \sqrt{\frac{2\alpha}{\omega}}$; $\sqrt{j} = e^{j\frac{\pi}{4}} = 1 + j$; $\xi = \frac{L}{\delta}$ e quindi $L\beta = \xi(1 + j)$ si ottiene:

$$\theta_L = \overline{\theta_0} \frac{e^{\xi + j\xi} + e^{-\xi - j\xi}}{2} - \overline{Q_0} \frac{e^{\xi + j\xi} - e^{-\xi - j\xi}}{2 \frac{\lambda}{\delta} (1 + j)}$$

$$Q_L = -\lambda\beta[M e^{\xi+j\xi} - N e^{-\xi-j\xi}] = -\left[\theta_0 \lambda\beta \frac{e^{\xi+j\xi} - e^{-\xi-j\xi}}{2} - Q_0 \frac{e^{\xi+j\xi} + e^{-\xi-j\xi}}{2}\right]$$

Scrivendo la matrice:

$$\begin{pmatrix} \theta_L \\ q_L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_0 \\ q_0 \end{pmatrix}$$

$$a = \cosh(\xi + j\xi) \quad ; \quad b = -\frac{\sinh(\xi + j\xi)}{\frac{\lambda}{\delta}(1+j)} \quad ; \quad c = -\frac{\lambda}{\delta}(1+j) \sinh(\xi + j\xi) \quad ; \quad d = \cosh(\xi + j\xi)$$

Si esplicitano i vari termini utilizzando le seguenti relazioni, oltre che le classiche formule trigonometriche:

$$\cosh(j a) = \frac{e^{ja} + e^{-ja}}{2} = \frac{\cos a + j \sin a + \cos a - j \sin a}{2} = \cos a$$

$$\sin(j a) = \frac{e^{ja} - e^{-ja}}{2} = \frac{\cos a + j \sin a - \cos a + j \sin a}{2} = j \sin a$$

$$a = \cosh(\xi + j\xi) = \cosh \xi \cosh j\xi + \sinh \xi \sinh j\xi = \cosh \xi \cos \xi + j \sinh \xi \sin \xi$$

$$b = -\frac{\sinh(\xi + j\xi)}{\frac{\lambda}{\delta}(1+j)} = -\frac{1-j}{2\frac{\lambda}{\delta}} (\sinh \xi \cosh j\xi + \cosh \xi \sinh j\xi) = -\frac{1-j}{2\frac{\lambda}{\delta}} (\sinh \xi \cos \xi + j \cosh \xi \sin \xi)$$

$$= -\frac{\sinh \xi \cos \xi + \cosh \xi \sin \xi + j(-\sinh \xi \cos \xi + \cosh \xi \sin \xi)}{2\frac{\lambda}{\delta}}$$

$$c = -\frac{\lambda}{\delta}(1+j) \sinh(\xi + j\xi) = c = -\frac{\lambda}{\delta}(1+j)(\sinh \xi \cosh j\xi + \cosh \xi \sinh j\xi)$$

$$= -\frac{\lambda}{\delta}(1+j)(\sinh \xi \cos \xi + j \cosh \xi \sin \xi)$$

$$= -\frac{\lambda}{\delta} [\sinh \xi \cos \xi - \cosh \xi \sin \xi + j (\sinh \xi \cos \xi + \cosh \xi \sin \xi)]$$

$$d = \cosh(\xi + j\xi) = \cosh \xi \cos \xi + j \sinh \xi \sin \xi$$

Si ottiene la seguente matrice di trasferimento:

$$\begin{pmatrix} \theta_2 \\ q_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_1 \\ q_1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi) \cos(\xi) + j \sinh(\xi) \sin(\xi)$$

$$Z_{12} = -\frac{\delta}{2\lambda} \{ \sinh \xi \cos \xi + \cosh \xi \sin \xi + j[\cosh \xi \sin \xi - \sinh \xi \cos \xi] \}$$

$$Z_{21} = -\frac{\lambda}{\delta} \{ \sinh \xi \cos \xi - \cosh \xi \sin \xi + j[\sinh \xi \cos \xi + \cosh \xi \sin \xi] \}$$

Nel caso in cui sia presente uno strato d'aria le equazioni si semplificano nella seguente forma:

$$\begin{cases} \theta_1 - \theta_2 = \frac{q}{h} = qR_a \\ q_1 = q_2 \end{cases}$$

Dunque la matrice di trasferimento diventa semplicemente (R_a è uno scalare):

$$\begin{pmatrix} \theta_2 \\ q_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -R_a \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_1 \\ q_1 \end{pmatrix}$$

Se si hanno n strati della parete (con 1 strato più interno e n strato più esterno), R_i e R_e le resistenze termiche dell'aria rispettivamente nel lato interno ed esterno, si ottiene la matrice di trasferimento complessiva moltiplicando le matrici di ogni strato:

$$\begin{pmatrix} \theta_i \\ q_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -R_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix} Z_1 Z_2 \dots Z_{n-1} Z_n \begin{pmatrix} 1 & -R_e \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_e \\ q_e \end{pmatrix}$$

Per il programma SEAS light si utilizzano solamente due fattori derivanti da questa analisi analitica: la trasmittanza termica periodica e la capacità termica areica.

Dalla matrice delle trasmittanze si può passare alla matrici delle ammettenze, con unità di misura $W/(m^2K)$, semplicemente separando il vettore del flusso termico e quello delle temperature.

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} \theta_2 \\ q_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_1 \\ q_1 \end{pmatrix} \\ \theta_2 = Z_{11}\theta_1 + Z_{12}q_1 \rightarrow q_1 = \frac{1}{Z_{12}}\theta_2 - \frac{Z_{11}}{Z_{12}}\theta_1 \\ q_2 = Z_{21}\theta_1 + Z_{22}q_1 \rightarrow q_2 = Z_{21}\theta_1 + Z_{22}\left[\frac{1}{Z_{12}}\theta_2 - \frac{Z_{11}}{Z_{12}}\theta_1\right] \rightarrow q_2 = \left[Z_{21} - \frac{Z_{22}Z_{11}}{Z_{12}}\right]\theta_1 + \frac{Z_{22}}{Z_{12}}\theta_2 \\ \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{Z_{11}}{Z_{12}} & \frac{1}{Z_{12}} \\ Z_{21} - \frac{Z_{22}Z_{11}}{Z_{12}} & \frac{Z_{22}}{Z_{12}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{pmatrix} \end{cases}$$

In accordo con la normativa si definisce la matrice delle Y come:

$$\begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{11} & -y_{12} \\ -y_{21} & y_{21} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{pmatrix} \quad ; \quad y_{mm} = \frac{q_m}{\theta_m} \quad ; \quad y_{mn} = -\frac{q_m}{\theta_n} \quad ; \quad q_m = y_{mm}\theta_m - y_{mn}\theta_n$$

Data questa trattazione teorica, si può passare alla definizione dei tre valori che saranno effettivamente utilizzati nel modello.

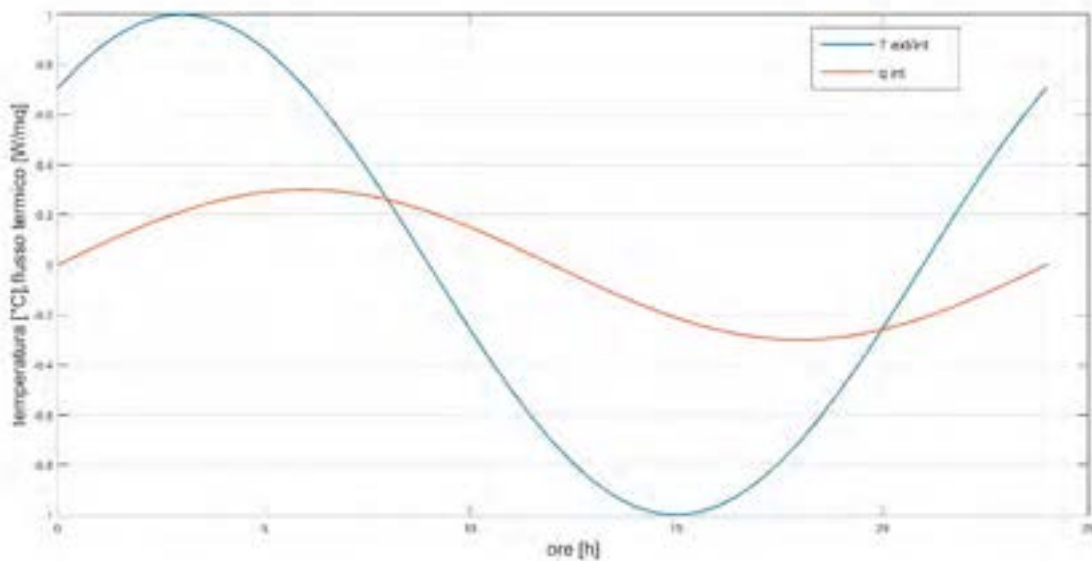
Trasmittanza termica periodica

Si definisce trasmittanza termica periodica la grandezza complessa del flusso termico attraverso una superficie adiacente alla zona i, diviso per l'ampiezza complessa della temperatura della zona e quando la temperatura nella zona i è mantenuta costante.

$$U_{din} = \left| \frac{q_m}{\theta_n} \right| = |y_{12}| = \frac{1}{Z_{12}}$$

Capacità termica areica

Si definisce capacità termica areica la quota di energia entrante in 1/4 di periodo (le temperature in 1/4 di periodo variano di 1K, quindi la capacità corrisponde proprio all'energia).



Considerando il flusso alla parete m la capacità è calcolabile come:

$$C_m = \int_0^{\frac{\pi}{2\omega}} q_m(t) dt = \int_0^{\frac{\pi}{2\omega}} q_0 \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) dt = -\frac{q_0}{\omega} |\cos(\omega t)|_0^{\frac{\pi}{2\omega}} = \frac{q_0}{\omega}$$

$$q_0 = |y_{mm} - y_{mn}|$$

$$C_m = \frac{1}{\omega} |y_{mm} - y_{mn}|$$

Angolo di sfasamento

Si definisce lo sfasamento come il tempo che intercorre tra il picco di temperatura sulla faccia n e il flusso sulla faccia m.

$$\phi = \arg\left(\frac{q_m}{\theta_n}\right)$$

Esso è indice del tempo che intercorre tra una variazione della temperatura sulla faccia n e l'effetto della stessa sul flusso termico nella faccia m.

2.4 Ulteriori azioni di diffusione

In parallelo alle attività previste dall'Allegato Tecnico dell'Accordo di Collaborazione DESTEC – ENEA, nel periodo settembre 2014 – agosto 2015 sono state effettuate ulteriori azioni di diffusione e divulgazione volte a far conoscere le caratteristiche di SEAS e a promuoverne l'utilizzo tra i professionisti del settore. Le azioni di divulgazione sono state di due tipi: svolgimento di seminari informativi e formativi sul software o pubblicazione di articoli scientifici riguardanti la metodologia di diagnosi energetica.

2.4.1 Seminari informativi e formativi su SEAS

Il 23 settembre 2014, presso la sede ENEA di Roma, si è svolta la presentazione ufficiale del software SEAS, col patrocinio del Ministero dello Sviluppo Economico (descrizione e programma dell'evento: <http://www.enea.it/it/comunicare-la-ricerca/events/seas/PROGRAMMASEAS23SETTEMBRE.pdf>). Durante la presentazione sono state mostrate le modalità con cui SEAS può essere utilizzato per effettuare le diagnosi energetiche; in seguito è stato aperto un dibattito al quale hanno partecipato sia i professionisti presenti in sala sia quelli che hanno seguito la diretta streaming tramite il sito istituzionale di ENEA.

L'1 luglio 2015 si è svolto, sempre presso la sede ENEA di Roma, l'evento "Interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico" (descrizione e programma: http://www.enea.it/it/comunicare-la-ricerca/events/rds_ffelettrica_1lug15/Programma_RdS_EffEnergetica_1lug15.pdf). La giornata, anch'essa in diretta streaming, è stata realizzata con l'obiettivo di promuovere l'efficienza energetica negli edifici esistenti e di mettere in evidenza gli strumenti e i modelli che sono stati messi a disposizione con questo scopo nell'ambito dell'Accordo di Programma MiSE – ENEA nel triennio 2012-2014. SEAS è appunto uno di questi strumenti ed è stato infatti argomento di una presentazione nel corso dell'evento.

Infine, il 14 luglio 2015 si è svolto a Pesaro un seminario formativo dal titolo "Presentazione di SEAS 3.0: il primo software italiano gratuito per la diagnosi energetica negli edifici ad uso residenziale e terziario" (programma: http://www.provincialavoro.it/viewdoc.asp?CO_ID=9766). La giornata rappresenta sicuramente un ottimo esempio di fruttuosa collaborazione tra le Pubbliche Amministrazioni (nello specifico, la provincia di Pesaro e Urbino) e il gruppo di lavoro del DESTEC, Università di Pisa. Nella prima parte della giornata si sono svolti interventi di carattere generale sulla diagnosi energetica negli edifici e sugli strumenti a disposizione, con focus speciale su SEAS. Nella seconda sessione, invece, sono stati realizzati due corsi in parallelo sull'applicazione pratica del software: durante i corsi, rivolti rispettivamente ad un gruppo di utenti principianti e ad un gruppo di utenti di livello intermedio-avanzato, abbiamo descritto le funzionalità di SEAS e fornito esempi pratici del suo utilizzo, oltre a rispondere ai molti quesiti dei partecipanti che già avevano utilizzato il software per diagnosi energetiche sul territorio.

2.4.2 Pubblicazioni scientifiche

La validazione della metodologia utilizzata come "motore" di SEAS è stata oggetto di una memoria scientifica presentata in occasione del 6th International Building Physics Conference, svoltasi a Torino dal 14 al 17 giugno 2015, e accettata per la pubblicazione dalla rivista internazionale open access Energy Procedia (editore: Elsevier). Il titolo dell'articolo è "Validation of SEAS, a quasi-steady-state tool for building energy audits". La pubblicazione sviluppa e integra un precedente lavoro, dal titolo "An open access tool for building energy audits harmonizing European standards", presentato in occasione del 1st IBPSA Italy Conference (Bolzano, 30 gennaio – 1 febbraio 2013) e pubblicato da BU,Press.

3 Conclusioni

Il lavoro svolto in questa annualità, in continuità temporale e metodologica e con le stesse finalità rispetto agli anni passati, ha previsto attività di assistenza e formazione per la diffusione del software SEAS tra gli utenti, con particolare riguardo agli Enti Pubblici e alle Pubbliche Amministrazioni. In vista di una diffusione ancor più capillare (sono già stati registrati oltre 30.000 download) e al fine di semplificare il processo di diagnosi, pur mantenendone la validità, è stato inoltre studiato ed elaborato un modello semplificato del software SEAS, dedicato esclusivamente ad edifici residenziali. Il lavoro è quindi proceduto su due aspetti fondamentali nel processo di promozione dell'efficienza energetica nel settore edilizio tramite la diagnosi energetica degli edifici:

- 1) la divulgazione del software di calcolo SEAS già realizzato negli anni passati, con particolare attenzione alla proposta di interventi di riqualificazione e miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici pubblici, così come indicato nel D. Lgs. n. 102/2014, art. 5;
- 2) la definizione di un modello termico dinamico a parametri concentrati (denominato "SEAS Light") che riduca all'indispensabile i numerosi dati di input necessari per una diagnosi energetica e sia potenzialmente estendibile alla simulazione del comportamento estivo dell'edificio.

Relativamente al primo aspetto, sono state raccolte le oltre mille domande degli utenti di SEAS, giunte dopo la messa a disposizione del software, e sono state selezionate e suddivise per creare una sezione di *Frequently Asked Questions* (F.A.Q.). Si è notato che molte delle richieste di chiarimento riguardano gli aspetti informatici relativi all'installazione e al corretto funzionamento dello strumento. Altre segnalazioni sono state utili al fine di individuare alcuni errori informatici che saranno assenti nella release 3.1 di SEAS e che caratterizzano inevitabilmente la prima fase dell'utilizzo di un software da parte di utenti diversi dagli sviluppatori (*beta testing*). In aggiunta è stato realizzato, da parte dei creatori del software SEAS, un corso di formazione audiovisivo in puntate separate e brevi, al fine di guidare passo per passo l'utente all'uso del software per la realizzazione di una diagnosi energetica. Tale corso in modalità *e-learning* è utile in aggiunta ai manuali, per una più semplice spiegazione dello strumento, tramite *video-tutorial*. Infine è stato realizzato un breve corso di formazione per l'applicazione pratica del software e la spiegazione delle sue potenzialità, organizzato dalla provincia di Pesaro e Urbino a luglio 2015, con particolare riferimento agli edifici di proprietà pubblica e a quelli scolastici.

Relativamente al secondo aspetto, invece, il modello studiato (SEAS Light) è dinamico semplificato, a parametri concentrati, e permette il calcolo del fabbisogno termico di riscaldamento esclusivamente per edifici residenziali. Esso potrebbe sostituire la parte del motore di calcolo di SEAS relativa al servizio di riscaldamento, lasciando inalterate le altre funzionalità originali (produzione di ACS, servizi elettrici, analisi economica, etc.), e permetterebbe quindi l'ottenimento di risultati accurati, nonostante l'inserimento di un numero ridotto di variabili in ingresso. Tale risultato prevede che l'auditor abbia una parte attiva e consapevole nel calcolo, definendo le variabili più incerte tra quelle inserite, variabili che, con l'analisi di sensibilità, ha verificato essere anche influenti. Tale procedura iterativa di calibrazione dei valori di ingresso a SEAS Light è necessaria affinché il modello termico dell'edificio possa essere utilizzato per successive analisi di efficientamento, intervenendo sugli elementi più influenti. Per tener conto degli effetti dinamici sul bilancio energetico dell'involucro e sul modello di impianto asservito all'involucro stesso, sono stati definiti dei parametri correttivi. Il modello di involucro è stato testato con la normativa UNI EN 15265, che definisce i criteri di validazione di modelli dinamici, ed è risultato affidabile sia in regime di riscaldamento sia in regime di raffrescamento (validazione del modello in Classe B). Poiché l'obiettivo del lavoro è la simulazione dei consumi termici degli edifici residenziali della realtà italiana, il modello SEAS Light è stato testato anche su situazioni tipiche del parco edilizio nazionale. Allo scopo, sono state individuate nove tipologie di strutture disperdenti, scelte dall'abaco UNI/TR 11552, secondo uno studio preliminare sul parco edilizio nazionale, che, abbinata a differenti profili di utilizzo, dati climatici e geometrie, hanno creato una matrice di test di 72 casi studio. Sulla base di questi, sono state definite delle possibili strategie per la determinazione dei parametri correttivi contenuti nel modello. Questi ultimi possono essere considerati

come variabili in funzione di alcune grandezze significative dell'edificio oppure come valori fissi, validi per determinate classi di edificio.

Gli sviluppi futuri del software SEAS prevedono quindi una sua più capillare diffusione e divulgazione tramite corsi di formazione continua, in particolare rivolti agli utenti del settore terziario, al fine di coinvolgere e rendere più familiare la procedura di diagnosi, approfondendone il significato e comprendendone le potenzialità.

La procedura semplificata (SEAS Light) prevede invece una fase ulteriore di perfezionamento e la successiva implementazione in un'interfaccia utente semplice ed intuitiva (*user-friendly*). I parametri correttivi saranno calibrati in funzione degli specifici obiettivi operativi da affidare al modello di calcolo.

Si evidenzia infine quanto sia strategica tutta l'attività in corso, relativa alla diagnosi energetica degli edifici:

- risponde, con uno strumento gratuito e una metodologia flessibile, alle esigenze del territorio e del mercato;
- è del tutto in linea con la direttiva europea sull'efficienza energetica 2012/27/UE e il decreto legislativo di attuazione 102/2014;
- contribuisce a sviluppare e diffondere le migliori pratiche di efficienza energetica, utili a breve anche per la progettazione di edifici ad energia quasi zero (nearly Zero Energy Buildings, nZEBs);
- rientra tra i passi necessari per il raggiungimento degli obiettivi adottati dalla Commissione Europea nel Quadro per il Clima e l'Energia 2030.

4 Riferimenti bibliografici

- Decreto Legislativo 4 Luglio 2014, n. 102, attuazione della direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica.
- UNI/TS 11300-1, Prestazioni energetiche degli edifici: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano (2014).
- UNI/TS 11300-2, Prestazioni energetiche degli edifici: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano (2014).
- UNI/TS 11300-4, Prestazioni energetiche degli edifici: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano (2012).
- Database CTI sui dati climatici nelle località italiane.
- UNI EN 15265, Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling – General criteria and validation procedures, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano (2006).
- UNI EN ISO 13786, Prestazione termica dei componenti per edilizia – Caratteristiche termiche dinamiche, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano (2008).
- UNI/TR 11552, Abaco delle strutture costituenti l'involucro opaco degli edifici-Parametri termofisici, Ente Nazionale Italiano di Unificazione, Milano (2014).
- H.S.Carlsaw, J.C.Jaeger ,Conduction of heat in solids, OUP Oxford,1986.
- J.Clarke, "Energy simulation in building design", Butterworth Heinemann, Oxford, 2001.
- John A. Duffie, William A. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes, 4th Edition", John Wiley & Sons, 2013.

5 Breve curriculum scientifico dei membri del gruppo di lavoro

Daniele Testi, nato a Pietrasanta (LU) nel 1977, dal 2014 è Professore Associato di Fisica Tecnica presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni (DESTEC) dell'Università di Pisa. Laureato con lode in Ingegneria Aerospaziale (2002), Dottore di Ricerca in Energetica Elettrica e Termica (2006), Assegnista di Ricerca (2006-2009), Borsista di Ricerca (2010-2011) e Ricercatore Universitario a tempo indeterminato (2011-2014) presso l'Università di Pisa. Ha svolto supporto alla didattica per i corsi di Termodinamica Applicata, Fisica Tecnica e Termoenergetica dell'Edificio. È stato codocente dei corsi di Teoria dei Sistemi, Laurea in Ingegneria Energetica, e di Risparmio Energetico in Edilizia, Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica. Attualmente è titolare dei corsi di Energia e Sistemi Energetici, Laurea in Ingegneria Gestionale, e Complementi di Termofluidodinamica, Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica. Principali campi di studio: termofluidodinamica monofase e bifase, tecniche d'incremento dello scambio termico convettivo, tecniche di misura nella fisica tecnica, scambiatori e dissipatori di calore, microgravità, termofisica degli ambienti abitati, impianti di climatizzazione, efficienza energetica in edilizia, simulazione, integrazione e ottimizzazione di sistemi energetici, pianificazione energetica. Per la sua Tesi di Dottorato di Ricerca, ha ottenuto il premio europeo "EUROTHERM Young Scientist Award", conferito con cadenza quadriennale. Autore di oltre 60 pubblicazioni su riviste internazionali o in atti di congressi. Docente in numerosi corsi di formazione, master e seminari sulla gestione dell'energia, la diagnosi e la certificazione energetica degli edifici e gli impianti termotecnici. Titolare di consulenze o collaboratore per vari contratti di ricerca nell'ambito della diagnosi, dell'efficienza, della normativa, della pianificazione e della conversione energetica. Socio dell'Unione Italiana Termofluidodinamica (UIT), dell'Unione Geotermica Italiana (UGI) e dell'Associazione della Fisica Tecnica Italiana (FTI). Dal 2014 è responsabile scientifico dello sviluppo del software nazionale SEAS per la diagnosi energetica negli edifici.

Eva Schito, nata a Pisa nel 1990, ha conseguito con lode la Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica presso l'Università di Pisa (luglio 2013), discutendo la tesi dal titolo "Modellizzazione dinamica di un sistema pompa di calore – edificio". Ha ottenuto l'Attestato di Merito previsto per gli studenti del Percorso di Eccellenza. Attualmente è Dottoranda di Ricerca in Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni presso l'Università di Pisa. I suoi principali campi di interesse sono: modellizzazione cycle-based delle pompe di calore e progettazione ottimizzata, simulazione dinamica e riqualificazione energetica degli edifici, anche di valore storico, ed ambienti museali. Nel 2008 è risultata vincitrice del Primo Posto nella Categoria Singoli Studenti del Concorso Nazionale "IV Edizione delle Olimpiadi della Scienza – Premio Green Scuola – Energie alternative e ambiente: la produzione sostenibile di energia", indetto dal Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca e dal Consorzio Interuniversitario "La Chimica per l'Ambiente" (INCA). Esperto Junior CasaClima e Socia FTI e dell'Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria Riscaldamento e Refrigerazione (AiCARR). Ha collaborato come Borsista col DESTEC, Università di Pisa, nell'ambito di contratti di ricerca e consulenza nel campo della diagnosi e simulazione energetica degli edifici e dei sistemi energetici.

Elena Menchetti, nata a Poggibonsi (SI) nel 1983, ha conseguito con lode la Laurea Specialistica in Ingegneria Energetica presso l'Università di Pisa (marzo 2008). Ha lavorato per cinque anni presso il Servizio Energy Manager dell'Università di Pisa come tecnico nell'ambito dell'analisi e riqualificazione del parco edilizio universitario, della gestione e ripartizione delle spese energetiche, dell'integrazione di impianti rinnovabili, delle certificazioni e diagnosi energetiche degli edifici. Attualmente è in servizio presso il Settore Prevenzione Incendi e Ottimizzazione del Patrimonio Edilizio dell'Ufficio Tecnico dell'Università di Pisa. Dal gennaio 2014 è Energy Manager dell'Università di Pisa. Collabora dal 2008 col DESTEC, Università di Pisa, nell'ambito di contratti di ricerca e consulenza nel campo della diagnosi e simulazione energetica degli edifici e dei sistemi energetici.

Paolo Conti, nato a Jesi (AN) nel 1987, ha conseguito il titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria “Leonardo da Vinci” Energetica Elettrica e Termica presso l’Università di Pisa, discutendo la tesi “Sustainable design of ground-source heat pump systems: optimization of operative life performances”. Attualmente è Assegnista di Ricerca presso il DESTEC, Università di Pisa. La sua attività riguarda la progettazione e la gestione ottimizzata degli impianti geotermici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici. I suoi settori principali d’interesse professionale sono: gli impianti di climatizzazione ad acqua e ad aria, lo sviluppo di modelli al computer per la simulazione e la valutazione delle prestazioni energetiche dei sistemi edificio – impianto, lo studio e sviluppo di metodologie per la diagnosi energetica negli edifici, l’individuazione di buone pratiche di progettazione e gestione dei sistemi edificio-impianto. Socio AiCARR, FTI e dell’American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Membro del Consiglio UGI e nominato Segretario esecutivo per il triennio 2015-2017. Membro dell’International Geothermal Association (IGA) Resources & Reserves Committee e del gruppo di lavoro IGA-UNECE (International Geothermal Association, United Nations Economic Commission for Europe) per la stesura delle specifiche riguardanti l’applicazione del protocollo UNFC-2009 alle applicazioni geotermiche (pompe di calore incluse). Dal 2011 supporta il Gestore Servizi Energetici (GSE) nella rilevazione dati e nel monitoraggio dello sviluppo in Italia delle applicazioni geotermiche per usi termici. I risultati di questo lavoro sono stati adottati dal Ministero dello Sviluppo Economico e compaiono nei dati Eurostat.

Davide Delle Vista, nato a Cascina (PI) nel 1977, laureato con lode in Ingegneria Aerospaziale all’Università di Pisa (2004). Tecnico di laboratorio ed elaborazione dati dal 2004 presso il DESTEC, Università di Pisa, con esperienza nella realizzazione di programmi di acquisizione dati, nella messa a punto di apparecchiature sperimentali, nell’esecuzione di misure termofluidodinamiche e di monitoraggio energetico degli ambienti abitati e nella simulazione dinamica dei sistemi edificio – impianto. Ha collaborato alla stesura del Piano Energetico della Provincia di Pisa (2009).

Giulio Pellegrini, nato a Foligno (PG) nel 1990, ha conseguito con lode la Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica presso l’Università di Pisa (febbraio 2015), discutendo la tesi dal titolo “Simulazione delle prestazioni energetiche stagionali di un sistema GS-GAHP e analisi dei dati di monitoraggio della scuola dell’infanzia di Oulx (TO)”. Borsista del DESTEC, Università di Pisa, con Borsa di Ricerca dal titolo “Simulazione computazionale delle prestazioni energetiche delle pompe di calore geotermiche ad assorbimento”, nell’ambito del progetto “Simulazione delle prestazioni energetiche dei sistemi a pompa di calore”. I suoi principali campi di interesse sono: lo sviluppo di modelli di calcolo per la valutazione delle prestazioni energetiche di sistemi edificio – impianto e l’analisi e la simulazione dinamica di soluzioni impiantistiche innovative per una buona progettazione e gestione. È socio AiCARR.

Emidio Tiberi, nato a Teramo nel 1990, ha conseguito con lode la Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica presso l’Università di Pisa (febbraio 2015), discutendo la tesi dal titolo “Sviluppo e validazione di un modello dinamico per pompe di calore elettriche di piccola taglia: simulazione di un impianto di riscaldamento a pannelli radianti”. Borsista del DESTEC, Università di Pisa, con Borsa di Ricerca dal titolo “Simulazione computazionale delle prestazioni energetiche delle pompe di calore modulanti a compressione elettrica”, nell’ambito del progetto “Simulazione delle prestazioni energetiche dei sistemi a pompa di calore”. Collabora per contratti di ricerca nel campo della simulazione energetica dei sistemi edificio – impianto. I principali campi di ricerca di suo interesse sono: sviluppo di modelli computazionali per la simulazione di pompe di calore elettriche basati sul ciclo termodinamico, simulazione dinamica di sistemi edificio – impianto e progettazione di componenti di scambio termico. È socio AiCARR.

Walter Grassi, nato a Napoli nel 1948, Ingegnere Elettrotecnico, dal 1999 è Professore Ordinario di Fisica Tecnica. Attualmente afferisce al DESTEC, Università di Pisa. Titolare dei corsi di Termoenergetica dell'Edificio, Laurea in Ingegneria Energetica, e di Risparmio Energetico in Edilizia, Laurea Magistrale in Ingegneria Energetica. Direttore del Dipartimento di Energetica dell'Università di Pisa dal 2006 al 2010. Nel 2013 ha ricevuto dall'Università di Pisa l'Ordine del Cherubino. Per molti anni è stato Energy Manager dell'Università di Pisa e membro del Comitato Tecnico per la Gestione dell'Energia della Giunta Regionale Toscana. È stato Presidente UGI e dell'Agenzia Energetica Regionale Toscana. Autore di oltre 100 pubblicazioni scientifiche, su riviste internazionali e in atti di congressi, su temi di scambio termico e di efficienza energetica negli edifici. Responsabile scientifico dal 2011 al 2014 dello sviluppo del software nazionale SEAS per la diagnosi energetica negli edifici.