



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Partecipazione alle attività della Task 40 'Net Zero Energy Buildings'
joint project SHC Task 40 /ECBCS Annex 52

Maurizio Cellura, Aldo Orioli



PARTECIPAZIONE ALLE ATTIVITÀ DELLA TASK 40 'NET ZERO ENERGY BUILDINGS' JOINT PROJECT SHC TASK 40 /ECBCS ANNEX 52"

Maurizio Cellura, Aldo Orioli (Università degli Studi di Palermo, Dipartimento Energia)

Settembre 2011

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

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

Progetto: Studi e valutazioni sull'uso razionale dell'energia: Tecnologie per il risparmio elettrico nel settore civile

Responsabile Progetto: Gaetano Fasano, ENEA

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA

1) Introduzione

Il presente Rapporto Finale è volto a descrivere dettagliatamente gli studi e le attività svolte in seno al progetto di ricerca “Partecipazione alle attività della Task 40 “Net Zero Energy Buildings” dell’International Energy Agency”; tali attività si inseriscono nell’ambito del *Tema di ricerca 5.4.1.1/2: “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione, interazione condizionamento e illuminazione”*.

La suddetta ricerca fa riferimento al Piano dell’Accordo di Programma tra il Ministero dello Sviluppo Economico (MSE) ed ENEA stipulato in data 21 Giugno 2007 per l’esecuzione delle linee di attività indicate nell’Allegato I del Decreto Ministeriale 23 Marzo 2006, concernente l’approvazione del Piano Triennale della Ricerca di Sistema e Piano Operativo Annuale per le attività di Ricerca e Sviluppo di Interesse Generale per il Sistema Elettrico Nazionale e attribuzione delle risorse del Fondo, di cui al Decreto Interministeriale 26 gennaio 2000.

In particolare i temi sviluppati nell’ambito dell’ accordo di collaborazione stipulato tra l’ENEA ed il Dipartimento dell’Energia (ex Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali (DREAM)) dell’Università degli Studi di Palermo, si collocano nel contesto delle azioni volte a ridurre i consumi energetici e le emissioni climalteranti per la climatizzazione degli edifici, come ampiamente ed espressamente richiamato nel vasto corpus legislativo e nel processo di emanazione di normative tecniche di supporto a livello comunitario e di stati membri.

Obiettivi generali dell’attività

Gli obiettivi generali si collocano nell’ambito dell’individuazione di metodi e sistemi per la progettazione dei sistemi edificio-impianto ed energia netta zero, anche alla luce dei più recenti indirizzi europei di politica energetica degli edifici (DIRETTIVA 2010/31/UE del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell’edilizia) e degli obiettivi di risparmio energetico e limitazione delle emissioni di gas serra.

La ricerca è stata svolta all'interno di un organismo internazionale, l'International Energy Agency (IEA), che si occupa del più vasto tema dell'efficienza e del risparmio energetico nell'edilizia.

Le attività sono state svolte in seno alla Task 40, avente come obiettivo lo studio di edifici ad energia netta zero o quasi, al fine di sviluppare un framework di definizioni, conoscenze comuni, strumenti atti allo studio degli NZEBs (Net Zero Energy Building), soluzioni innovative e linee guida per le industrie.

Il lavoro della task 40 è suddiviso all'interno di quattro differenti subtask, denominate con le lettere dalla A alla D, e il gruppo di ricerca del Dipartimento dell'Energia, ex DREAM, ha svolto attività in seno alla Sub Task A e alla Sub Task B.

L'obiettivo della STA è quello di stabilire degli standard internazionali sugli NZEB basati su di una metodologia comune attraverso i mezzi seguenti:

- Studio delle definizioni e dei dati esistenti circa gli edifici ad energia netta zero,
- Studio del mismatching e dei problemi di interazione con la rete,
- Sviluppo di un framework di definizioni per il concetto di NZEB considerando implicazioni di larga scala, exergia e interazioni con la rete .

La Subtask B si pone come obiettivo l'analisi degli strumenti utili alla progettazione. In particolare:

- Approfondimento di casi studio e di esempi rilevanti di NZEBs,
- Identificazione di una suite di strumenti atti al supporto della fase progettuale degli NZEBs.

Ogni caso studio deve essere analizzato nel dettaglio sviluppando quando possibile i seguenti punti di interesse :

- 1) Descrizione dell'edificio;
- 2) Obiettivi dell'edificio;
- 3) Design team;
- 4) Descrizione del processo di progettazione;
- 5) Limitazioni degli strumenti utilizzati e consigli per migliorarne l'efficacia;
- 6) Redesign.

La ricerca è stata condotta lungo due direzioni: la prima tocca approfondimenti metodologici sui “Net Zero Energy Buildings” (NZEB); la seconda affronta lo sviluppo e l’analisi dei software di simulazione termofisica degli edifici, ponendo in evidenza lacune e problemi che si riscontrano nel caso di applicazione dei suddetti software ai NZEB.

Nell’ambito dei lavori della Subtask A (STA) si è collaborato al fine di individuare una definizione condivisa di NZEB, mentre i lavori della Subtask B (STB) hanno condotto all’analisi delle prestazioni del software TRNSYS (versione 16.1) confrontando i risultati delle analisi dinamiche con i dati di monitoraggio forniti dal sistema di sensori di cui l’edificio scelto come caso studio è dotato.

Il lavoro è stato svolto secondo quanto previsto dall’Allegato Tecnico all’Accordo di Collaborazione tra l’ENEA e l’ex DREAM, adesso Dipartimento dell’Energia dell’Università di Palermo.

Nel seguito si presenteranno brevemente le condizioni dello scenario zero (edificio esistente) del caso studio prescelto, al fine di potere quindi approfondire in seguito la descrizione del modello costruito in ambiente TRNSYS ed i risultati ottenuti, la validazione dello strumento ottenuto tramite valutazioni su base annuale, mensile e giornaliera di bilanci di energia primaria e quindi le opzioni proposte al fine di migliorare le performances energetiche dell’edificio. Saranno altresì descritte le attività svolte nell’ambito della Task 40, le pubblicazioni internazionali redatte e le lacune riscontrate nel software di simulazione prescelto.

2) Caso studio Leaf House: approfondimenti e simulazione termofisica dinamica in ambiente TRNSYS

I lavori che trovano riferimento al contesto della Subtask B riguardano l'approfondimento del caso studio Leaf House, situato ad Angeli di Rosora (Ancona) nel dettaglio, la sua simulazione in TRNSYS, la calibrazione del modello e la valutazione di eventuali lacune presenti nello strumento oltre alla compilazione di diversi *questionari e modeler's worksheets* volti alla condivisione nell'ambito della Subtask B dei risultati ottenuti dal gruppo di lavoro del dipartimento dell'energia.

Una prima fase preparatoria è stata caratterizzata dalla raccolta dei dati climatici relativi alla località in cui sorge la Leaf House, oltre ai dati riportati dai contatori di calore e dai sensori installati, al fine di poter ottenere riscontri precisi e dettagliati, una volta costruito il modello.

Ogni singolo componente dell'impianto termico è stato studiato in dettaglio e le specifiche tecniche acquisite, dati tecnici sono stati inoltre acquisiti circa ogni componente dei muri interni, dell'involucro esterno e di ogni finestra.

E' stato inoltre iniziato uno studio sull'embodied energy dei materiali impiegati nella costruzione. Tale parte della ricerca sarà comunque sviluppata, con maggiore dettaglio, nel seguito delle attività che saranno sviluppate in seno alla task.

Sono stati altresì analizzati nel dettaglio i dati di consumo di energia elettrica delle abitazioni su scala oraria, e raffrontati nel dettaglio con la produzione di energia elettrica allo stesso livello di dettaglio.

Si è proceduto quindi alla creazione del modello in ambiente TRNSYS 16.1. L'approccio con cui si è effettuata tale operazione ha avuto un taglio rivolto sia all'ottenimento di uno strumento in grado di descrivere il caso-studio, sia alla valutazione del software TRNSYS nelle simulazioni di NZEB. L'analisi delle lacune del software è stata dunque svolta parallelamente e in funzione delle necessità di modellazione proprie dello studio svolto sul caso studio Leaf House.

Nel corso del processo di descrizione del sistema in TRNSYS sono state riscontrate diverse carenze proprie del software a livello sia operativo e di funzionalità delle librerie, sia di descrizione dei componenti d'impianto: le principali riguardavano le scarse possibilità di controllo del sistema di modellazione dei pannelli radianti, il basso grado di dettaglio raggiungibile nella descrizione dei componenti d'impianto del sistema fotovoltaico e la presenza di alcune librerie descrittive componenti reali e perfettamente adattabili al caso studio leaf house dal funzionamento parziale o insoddisfacente.

D'altro canto, alcune scelte impiantistiche della Leaf House sono estremamente complesse e estremamente difficili da riprodurre in ambiente TRNSYS: la soluzione di compromesso prescelta è stata quella di optare per una semplificazione mantenendo un controllo costante sulla variabilità dei risultati e sulla credibilità degli stessi.

La simulazione è stata svolta suddividendo la descrizione del macro-sistema Leaf House in due differenti sottosistemi: sistema termico e sistema fotovoltaico.

In entrambi i casi si è utilizzato un file climatico creato dai dati ricavati dalla stazione meteorologica della Leaf House. Trnsys, infatti, utilizza un anno tipo, costruito a partire dai dati ricavati da decenni di rilevazioni. Appare quindi evidente come l'utilizzo di tale strumento possa essere utile al fine di una prima valutazione di massima, ma non per confrontare dati reali con quelli estratti dal modello al fine di valutarne la bontà.

Il sistema termico è stato simulato descrivendo nel dettaglio ogni componente, le connessioni relative ai vari componenti e all'interfaccia casa-impianto.

La simulazione ha toccato diversi aspetti:

- Descrizione degli scambi termici (Sistema geotermico e free cooling, solare termico, pompa di calore, apporti gratuiti, volti alla generazione di un fluido termovettore ad una temperatura adeguata che verrà utilizzato nei pannelli radianti),
- Descrizione dei sistemi di trattamento d'aria,
- Descrizione della Leaf House nel dettaglio: orientazione, componenti trasparenti ed opachi, involucro, suddivisione in zone termiche, pavimenti e mura, pavimenti radianti e connessione al sistema termico,
- Sistemi di controllo volti alla regolazione tramite temperature di setup e modifiche legate alla stagione dell'anno.

Il modello è particolarmente flessibile e permette tramite semplici modifiche di sviluppare studi di sensibilità al variare di qualunque parametro.

Il sistema fotovoltaico comprende la descrizione dei pannelli fotovoltaici effettivamente esistenti secondo la loro reale interconnessione. Oltre alla descrizione in ambiente Trnsys è stata svolta parallelamente una seconda analisi utilizzando il software PVSYST ottenendo risultati sostanzialmente analoghi. Si rimanda agli allegati per valutazioni più dettagliate dei risultati delle simulazioni.

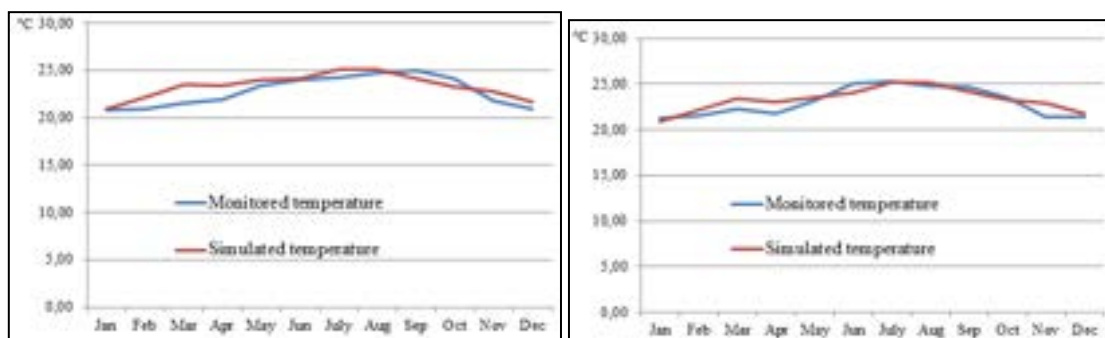
Completata la creazione del modello è stata necessaria una fase di calibrazione dei risultati che, sebbene risultassero di ordini di grandezza ovviamente paragonabili con le grandezze registrate nel sito, necessitavano di un allineamento particolarmente elevato rispetto i dati reali.

Il modello è spesso oggetto di modifiche e miglioramenti al fine di tendere a risultati sempre più vicini ai dati reali sempre migliori: si riporta di seguito un confronto su base annuale tra dati monitorati e simulati, per la versione attuale dello stesso.

Nel corso dell'anno 2009 il sistema fotovoltaico ha prodotto 25.650 kWh. I collettori solari hanno fornito 4227 kWh, coprendo il 63 % del fabbisogno di acqua calda sanitaria. I consumi elettrici per riscaldamento e raffrescamento della pompa di calore sono stati pari a 5,3 MWh e 2,6 rispettivamente. La simulazione fornisce come risultato su base annuale il valore di consumo elettrico pari a 7,5 MWh, con uno scarto rispetto al reale del 6 %. Per quel che concerne la simulazione del sistema fotovoltaico i dati monitorati relativi al 2009 mostrano una produzione di energia pari a 25651 kWh mentre la produzione simulata risulta essere 25143 kWh, con uno scarto di circa il 2 %. La simulazione PVSYST è caratterizzata da uno scarto lievemente maggiore ma comparabile. I fabbisogni stimati per raffrescamento e riscaldamento sono rispettivamente 12,7 MWh e 9 MWh per l'anno considerato.

Si è proceduto quindi ad un'analisi più dettagliata con valutazione di bilanci di energia e approfondimento di alcuni parametri di bontà della simulazione su base mensile e giornaliera.

Si riportano a titolo di esempio medie mensili delle temperatura dell'aria interna in due differenti zone termiche.



La linea rossa rappresenta i dati simulati, quella blu i dati monitorati.

La differenza media tra dati monitorati e simulati è 0,8°C nel primo caso e 0,6 °C nel secondo. La differenza più alta tra dati monitorati e simulati è 1,5 °C nel primo grafico, circa 1°C nel secondo.

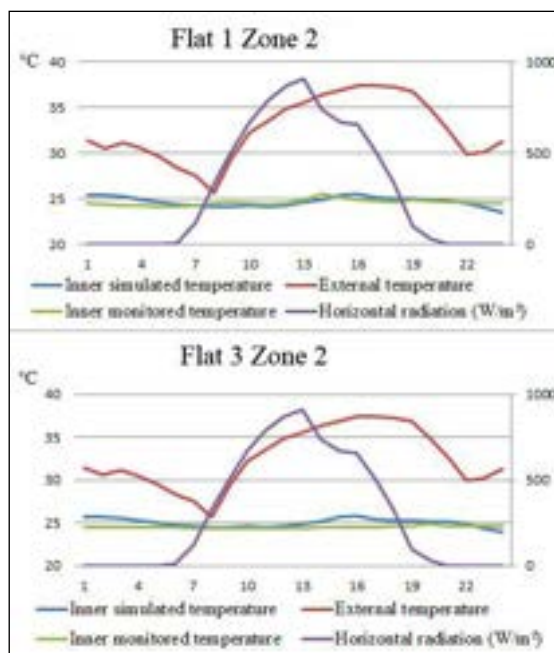
Sono stati quindi estrapolati dei dati orari climatici (temperatura, umidità e irraggiamento) per identificare i giorni annuali più significativi (il giorno soleggiato più caldo, il giorno soleggiato più freddo, il giorno nuvoloso più caldo e il giorno nuvoloso più freddo). Per quest'analisi sono stati utilizzati i dati di monitoraggio forniti dalla stazione meteo installata sulla Leaf House e relativi all'anno 2009. I dati risultanti dalle simulazioni sono stati raccolti, studiati e confrontati con i dati risultanti dal monitoraggio. E' stata studiata la risposta del modello nell'analizzare alcuni giorni particolarmente rilevanti, in termini di radiazione solare e temperature esterne riscontrate.

I giorni prescelti sono stati quattro:

1. 24 Gennaio(Cloudy cold),
2. 6 Marzo (Sunny cold),
3. 24 Luglio(Sunny hot),
4. 4 Agosto (Cloudy hot).

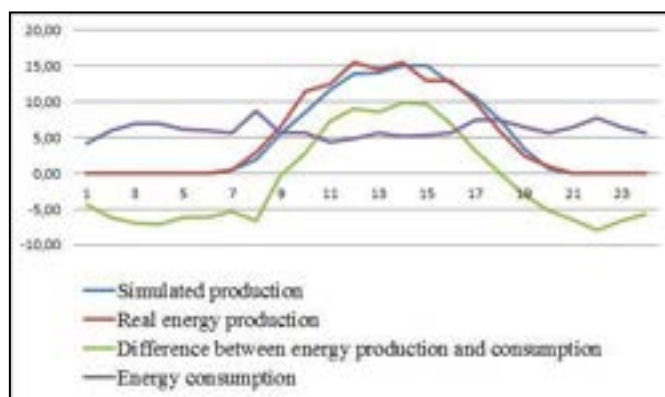
Per i giorni considerati e per ogni zona termica di ogni appartamento sono stati rappresentati graficamente gli andamenti delle seguenti grandezze:

1. Produzione simulata dell'impianto fotovoltaico;
2. Confronto con la produzione reale;
3. Load Match Index;
4. Radiazione solare incidente,
5. Temperatura esterna,
6. Temperatura dell'aria interna monitorata,
7. Temperatura dell'aria interna simulata.

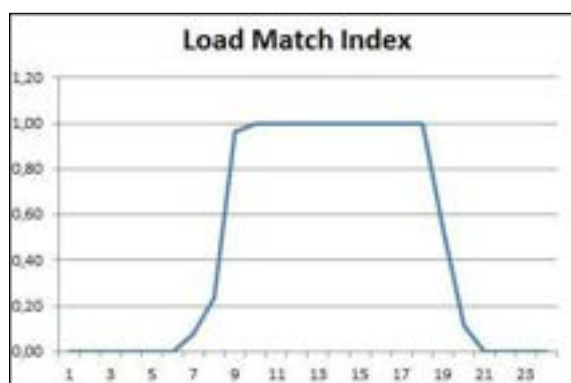


Si riportano alcuni grafici relativi al 24 Luglio, prescelto a titolo di esempio. Nel grafico a doppia scala sono rappresentate in blu le temperature simulate dell'aria interna, in verde le temperature monitorate, in rosso la temperatura esterna e in viola la radiazione solare incidente relativamente a due zone termiche prescelte a titolo di esempio.

La differenza media tra dati simulati e monitorati è di 0,4 °C per il primo grafico e di 0,5 °C per il secondo, mentre la differenza massima è rispettivamente di circa 1°C e 4 °C.



Nel grafico precedente, invece, sono confrontate la produzione simulata e la reale dai pannelli fotovoltaici, la differenza tra produzione e consumi e i consumi di energia per il giorno prescelto. Definito il Load Match Index (LMI) come il valore minore tra 1 e il rapporto tra produzione elettrica e consumi, sono stati effettuati approfondimenti su questo parametro analizzando il grado di mis-match tramite raccolta dei dati non post-processati, analisi approfondita dei dati di assorbimento elettrico, produzione PV, parametri climatici e valori caratteristici dei sistemi di stoccaggio dell'energia termica.



Nell'analisi del caso studio italiano si è voluto porre l'attenzione sulla rispondenza dell'edificio ai criteri che devono rispettare i NZEBs. Nel calcolo del bilancio energetico è stata considerata tutta l'energia primaria prodotta mediante l'impianto fotovoltaico da 20 kW integrato nella copertura dell'edificio e tutta l'energia consumata, misurazioni che sono state rese possibili grazie al sistema di sensori presenti nell'edificio. Si è così riscontrato che il consumo energetico nel primo anno di monitoraggio, è stato superiore alla produzione per come è verificabile nella tabella riassuntiva seguente.

ENERGIA	MWH	%
PRODUZIONE	25,65	87,72
CONSUMI	30,38	100,00
PRODUZIONE- CONSUMI	-4,73	-12,28

Nel simulare il comportamento dinamico del sistema edificio-impianto sono stati ipotizzati degli scenari migliorativi che vengono di seguito riportati:

1. Sostituzione dei pannelli fotovoltaici,
2. Sostituzione della pompa di calore geotermica con un modello più efficiente,
3. Eliminazione dello scambiatore connesso alla pompa di calore geotermica e conseguente connessione diretta del fluido caldo\freddo con la tubazione principale,
4. Modifica della composizione del tetto per ottenere un valore di U inferiore ($0.15 \text{ W/m}^2\text{°C}$);
5. Combinazione delle ipotesi 1,2,3.

Dati più dettagliati sono riportati in appendice.

Sebbene si consideri la qualità dell'involucro e dell'isolamento come decisamente superiore agli standards, si è ugualmente deciso di provare a valutare il consumo di energia ipotizzando un valore di U inferiore. Simulando quest'ultima opzione si è ottenuta una lieve diminuzione dei consumi durante la stagione invernale ma anche un aumento più marcato durante quella estiva: globalmente è stato riscontrato un aumento complessivo dei consumi elettrici per la sola pompa di calore di circa 300 kWh per l'anno in esame.

Dall'analisi dei vari scenari è emerso come la sola sostituzione dei pannelli fotovoltaici possa coprire il fabbisogno elettrico dell'edificio, ma ai fini di ottenere migliori performance e rispettare i criteri di efficienza energetica in edilizia dettati anche dalla normativa nazionale è risultato evidente come la combinazione delle ipotesi 1, 2 e 3 sia la soluzione energeticamente più efficiente. Una parte di queste analisi è stata presentata nell'articolo pubblicato negli atti del convegno ASHRAE svoltosi a Montreal nel mese di Giugno, come riportato nella sezione *Pubblicazioni* del presente rapporto tecnico.

3) Partecipazione a gruppi di lavoro internazionali – IEA TASK 40 “ Net Zero Energy Buildings”

Il Dipartimento ha partecipato ai lavori del gruppo di esperti IEA della Task 40 “Net Zero Energy Solar Buildings”. Le attività finora realizzate hanno previsto la partecipazione a due meeting internazionali tra il 2010 e il 2011, il primo si è svolto a Graz nei giorni 27-28 Settembre, il secondo a Golden (Colorado-USA) dal 4 al 6 Aprile 2010, il terzo si svolgerà a Basilea (Svizzera) dal 4 al 7 Ottobre 2011 ed inoltre hanno visto la partecipazione del Prof. Maurizio Cellura quale docente all'interno della prima Summer School sui NZEBs svoltasi a Montreal, presso la Concordia University, dal 20 al 25 giugno 2011.

Durante i meeting sono state coordinate le attività di ricerca in itinere e sono stati pianificati gli obiettivi da raggiungere in vista dei successivi incontri.

Nel corso del primo meeting di Graz si è stabilito di svolgere le attività menzionate nelle pagine precedenti: studio dell'interazione con la rete, monitoraggio dell'energia prodotta e consumata dall'edificio, la modellazione con il software TRNSYS del caso studio.

Durante il meeting svoltosi in Colorado si è discusso dei risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate con i diversi software ed in particolare sono stati presentati i dati ottenuti dalla valutazione delle prestazioni nei giorni di maggiore interesse. Il gruppo di ricerca italiano ha riscontrato le elevate prestazioni del software TRNSYS nella simulazione del comportamento termico dell'edificio.

Nel corso del meeting svoltosi in Colorado si è inoltre deciso il programma didattico della prima scuola estiva internazionale sui NZEBs che si è svolta a Montreal nella settimana dal 21 al 26 Giugno 2011. Il Prof. Cellura è stato inserito tra i docenti della scuola ed ha svolto lezioni sulle seguenti tematiche: “Embodied Energy in Buildings”, “Transfer function method” , “Numerical simulation of heat transfer within multilayered walls. Single thermal zone balance solved by Transfer Function Method” . Il gruppo di ricerca italiano ha posto l'attenzione sul contributo dato dall'energia incorporata nei materiali e sull'importanza dello studio dell'intero ciclo di vita dell'edificio piuttosto che della sola fase di uso/gestione.

Infine si è scelto di iniziare un monitoraggio delle condizioni di comfort degli occupanti in collaborazione con i rappresentanti del Politecnico di Milano, è stata inoltre prevista l'installazione di sistemi di monitoraggio ad hoc. I risultati delle analisi saranno presentati al meeting che avrà luogo a Basilea dal 4 al 7 Ottobre 2011.

4) Pubblicazioni

Sono stati inoltre redatti gli articoli che sono di seguito elencati:

- *Design, Optimization, and Modeling Issues of Net-Zero Energy Solar Buildings*, Andreas Athienitis, Paul Torcellini, Adam Hirsch, William O'Brien, Maurizio Cellura, Ralf Klein, Veronique Delisle, Shady Attia. Eurosun 2010, Graz 26 Settembre- 1 Ottobre 2010.
- *The Evaluation of Energy Performances of a Net Zero Energy Building: an Italian Case Study*, Maurizio Cellura, Lucia Campanella, Giuseppina Ciulla, Mario Fontana, Valerio Lo Brano and Davide Nardi Cesarini, Maddalena Spallacci. Eurosun 2010, Graz 26 Settembre- 1 Ottobre 2010.
- *The redesign of an Italian building to reach net zero energy performances: a case study of the SHC Task 40-ECBS annex 52*. Maurizio Cellura, Lucia Campanella, Giuseppina Ciulla, Francesco Guarino, Valerio Lo Brano, Davide Nardi Cesarini and Aldo Orioli. ASHRAE Conference 21-26 Giugno 2011, ASHRAE Transaction Volume 117, Part 2.

Inoltre verrà pubblicato il seguente articolo nel volume degli atti della conferenza internazionale IBPSA che si svolgerà in concomitanza all'evento Building Simulation 2011 a Sydney nel mese di Novembre:

- *A Net Zero Energy Building in Italy: design studies to reach the net zero Energy target*. Maurizio Cellura, Lucia Campanella, Giuseppina Ciulla, Francesco Guarino, Valerio Lo Brano, Davide Nardi Cesarini, and Aldo Orioli.

ALLEGATO : NZEB CASE STUDY

Framework on NZEBs case-studies

Each case study should include, but is not limited to, the following information. It is recognized that some information may not be publically available for all projects.

1. *Description of the building, as it was built (or will be built)*.. This section should contain the geometrical, thermophysical, occupancy, site, climate, and other energy characteristics. Special attention should be given to how the site topology may impact incident solar energy on the building.

Predicted and measured performance data (if available) should be provided. If both are available, the two should be compared, and differences should be explained.

2. *Objectives of building* (net-energy, net-emissions, other sustainability-related goals). This links to the definitions generated by STA. Other non-energy related goals should also be described to provide an understanding of the motivation of the design team/owner.

3. *Contractual arrangement*. Are projects design-build or design-bid-build (or other arrangements) and how did this affect the design and construction process? Also, if net zero is built into the contractual incentives, how did this guide the process?

4. *The design team and the responsibilities distribution*. This section is used to describe how each party in the design team contributed to the final building design, and particularly how the NZEB objective is maintained by all.

5. *The design process*. Ideally in flowchart form, or at least chronological order, this section provides the design process for the building in detail. It should include everything from conception to commissioning or occupancy. This section is critical and should include:

a. A detailed description of each significant design decision, who it was made by, and how it was made (e.g., building form, location on site, avoiding shading, etc.), and;

b. A list of design tools that were used, including: how they were selected, the design stage(s) that they were used at, what data was obtained from them, who (which design team party) used the tool/created the model, and the continuity between tools.

6. *Advice and limitations of the process and tools*. This section should identify all aspects of the design process that could be improved. Namely, it should include parts of the design process and limitations of the tools that were used. These lessons are intended to be informative for the design of future NZEBs.

One or both of 7 and 8 are to be performed. This section examines some hypothetical situations in which a design or optimization process is applied to the same site, requirements, and constraints, to determine how the building might have been built differently. The intended process is for the energy model(s) to be altered to observe the effect. This could include a change in form, technology, or wall construction, for example. These hypothetical case studies allow the designer to explore design decisions for which they may not have had sufficient resources or tools (e.g., if tools have advanced considerably since the building was originally designed). Also, if the building is low-energy or near net-zero energy, this study can examine how to achieve net-zero energy performance. Two processes can be applied:

7. *Redesign* (heuristic) with consideration to different technologies, controls, tools, procedures or other building characteristics. The following steps should be performed.

a. If the model has not already been created in one (or a set of complimentary) simulation tools, create it/them. All inputs should be clearly documented according to the template. If the simulation tool has any particular assumptions or simplifications, they should be documented.

b. If the building is built and has been monitored, compare simulation results to measured data.

c. Brainstorm potential new concepts that could lead to performance improvements, just as in early stage design. Document the brainstorming process.

d. Implement the new concepts either in the model or simplified calculation methods. The base model from step (a) should be adapted to include the new concepts. The concepts can either be sequentially or simultaneously (of course, the most rigorous approach would be to apply all possible subsets of the new concepts). This process should be thoroughly documented to discuss why and how things were done (e.g., why one tool was used over another or why a certain level of model resolution (i.e. level of complexity) was used).

e. The results should be tabulated to clearly compare the performance of all new design concepts with the original.

8. *Optimization of the design* with consideration of different technologies, controls, tools, procedures, or other building characteristics.

a. The model should be created and set up such that variables of interest can be easily modified, as required for batch simulations.

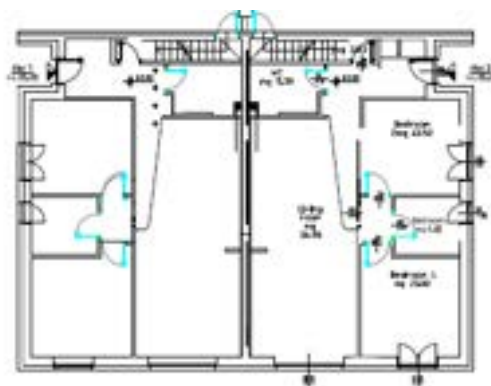
b. All variables, constraints, and the cost function should be carefully documented. The thought process behind the selection of these three components is particularly important.

- c. Perform the optimization. Clearly document which tool was used or whether it was custom tool.
- d. Describe the optimal design, as determined by the optimization. Document the performance of the optimization process (e.g., number of simulations performed and duration of process).
- e. How realistic is the optimal design? Do all of the optimal variables make sense?

The Leaf House

The LH is located in Angeli di Rosora (Ancona, Italy), the latitude and longitude of the site are respectively $43^{\circ}28'43.16\text{N}$, $13^{\circ}04'03.65\text{E}$ while the altitude is 130 m (426ft) above the sea level. The site is characterized by a moderate climate (mean annual temperature of 15.8°C (60.44°F), mean humidity of 67% and mean horizontal solar radiation of 302 W/m^2 ($95.76\text{ Btu/(h ft}^2\text{))$). The house has a rectangular shape and is composed of six flats with an inner symmetrical division.

Its net conditioned floor area is 477 m^2 (5134ft^2). Four apartments are occupied by two people each while two apartments are only occasionally occupied.



Plant of the Leaf House

The initial goal of the design was to develop a carbon neutral house, but during the design stage the NZEB concept was added. This house is an application of new concepts of the architectural design: comfort, sustainability, energy and economy.

It was also built as a laboratory where new sustainable technologies are studied and further developed; indeed in the building there is a monitoring system able to record data about the quality

of the air, the humidity, the CO₂ level by means of several sensors that are installed in all the rooms of the six apartments.

Description of the thermal plant

In the LH the heat and cold generation is carried out by a geothermal heat pump (GHP) that exchanges with the ground through three vertical probes (100 m). In each flat of the LH there is a radiant floor supplied by the GHP. During the summer season, the cooling system uses free cooling provided by a ground coupled heat exchanger.

In the LH there is a mechanical ventilation system with heat recovery and pre-conditioning in an underground duct. The ventilation rate is automatically provided according to the CO₂ levels registered in the rooms. The efficiency of the heat recovery system is 80%.

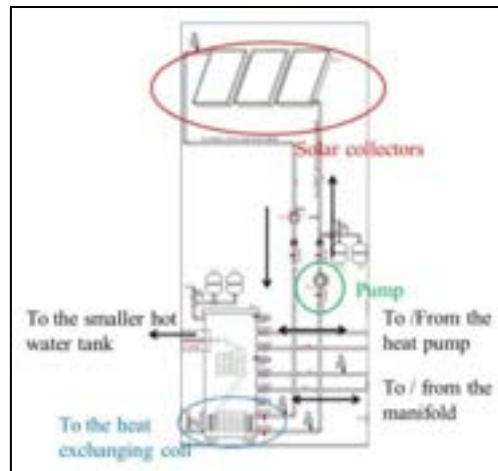
The electric energy needs of the heat pump are covered by the energy produced on site by the photovoltaic panels covering the roof facing the south.

The LH energy system includes seven sub-systems:

- The solar collector system;
- The geothermal probes;
- The heat pump;
- The air handling unit (AHU);
- The auxiliary boiler;
- The photovoltaic system;
- The radiating floors.

The solar collector system

Seven solar thermal collectors (2.6 m² each) integrate, or completely replace (according to the season), the heat pump in the production of domestic hot water. A recirculation system allows the occupants to immediately get hot water reducing water wastes. The heat is transferred from the solar collectors to the coil of the storage tank by means of a glycol-water mixture. A pump drives the fluid back to the collectors. The difference between the outlet water temperature of the solar panels and the water inside the storage tank is less than 10 degrees; otherwise the pump is turned off.

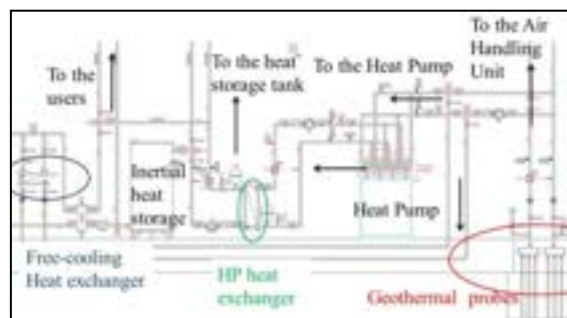


The geothermal probes and heat pump

The figure represents a simplified scheme of the geothermal probes and the heat pump. The officially declared COP of the GHP is 4.6, lower than the measured value during the first year of monitoring. The efficiency reduction is probably due to:

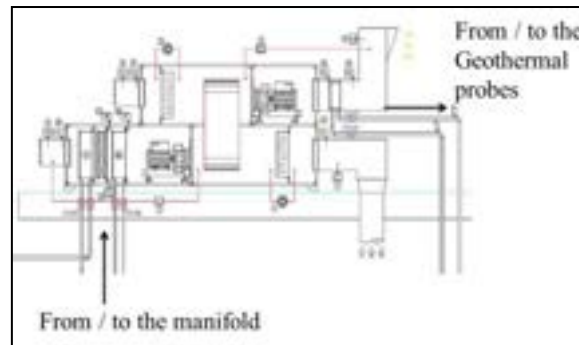
- the non-optimal use of thermal devices;
- the anomalous electrical absorption of the compressor respect to the declared data (7-8 % higher);
- a mis-management of the ignition system characterized by too fast cycles.

The geothermal circuit, which regularly supplies the heat pump, during the summer season is connected to the free-cooling heat exchanger.



The air handling unit (AHU)

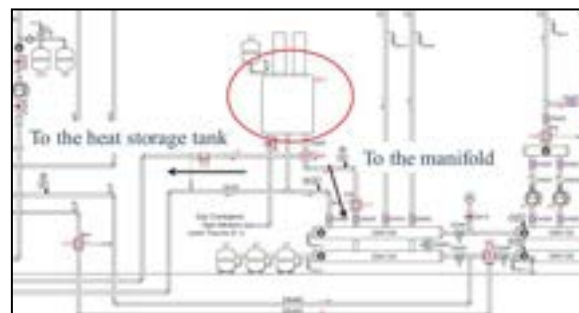
As previously described, to exchange air in the rooms an AHU has been installed. Before introducing air into flats, the outer air is heated in winter and cooled in summer exchanging thermal energy with the water produced by the heat pump. To avoid thermal wastes, the thermal energy is extracted from the inner air before the expulsion. The outer air is also naturally pre-conditioned through an underground path of about 10 m before getting to the AHU.



Scheme of the AHU

The auxiliary boiler

An auxiliary boiler is used to heat the fluid when the target temperature is not reached by the other systems. In figure it is possible to see the position of the boiler respect to the other plants.



The auxiliary boiler

The photovoltaic system

A grid-connected PV system characterized by a 20 kW nominal power generates electricity for the LH. The PV field, which is composed by 115 panels, covers the entire roof surface (150m²), facing the south. The panels are arranged in nine strings and are connected to three inverters. The nominal declared efficiency of the PV panels is 12%.

The radiating floors

In each flat there is a radiant floor fed by the GHP. The temperature in the rooms is controlled by a regulation system that is able to check the hot water flow through each tubing loop. Zoning valves and thermostats permit to reduce the energy consumption. During the summer season, excluding the hottest days, the cooling system uses the natural cooling provided by a ground coupled heat exchanger.

In winter, the water that circulates in the tubing has a temperature of 25-28°C.

Other energy efficiency measures

To pick up the natural light in the LH, wide windows face the south while in the rear part of the house facing the North the sunlight is carried by solar tubes. Furthermore, efficient fluorescent lamps are used. The rain water is collected and reused for WC and irrigation, thus reducing the water total consumptions of 69%. Drinkable water is supplied by public utility and the taps provide water through a three-way valve that supplies hot and cold water. This solution avoids to buy bottled water.

The control system

The monitoring and building automation system has been developed by the Loccioni Group, it uses an innovative approach based on the so called Leaf Framework. The Leaf Framework is a software platform between the system devices and the logic level which includes graphical user interfaces, building automation algorithms, business intelligence tools and databases. In other words it behaves like a software gateway between different devices and systems. More than 1,200 sensors and actuators have been integrated with drivers which allow communication between devices and systems by means of different protocols. The sensors are classified in three main groups: apartment sensors (CO₂, air temperature and humidity sensors, electricity and thermal energy meters), mechanical plant sensors (temperature sensors, thermal energy meters, water flow meters, etc.) and weather station sensors. All data are normalized and stored in a database. The Leaf framework allows the building automation system to use all the available strategies with energy efficiency algorithms. For example the HVAC system stops if windows are open. The inlet temperature of the water in the radiant floor is regulated according to the external temperature. The air flow rate is regulated according to the CO₂ level in each apartment. The LH is considered as a laboratory whose stored data are analysed using business intelligence tools and used to test predictive algorithms.

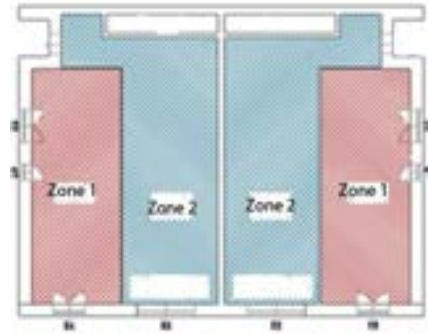
TRNSYS Model

In the TRNBuild simulation each flat has been divided in:

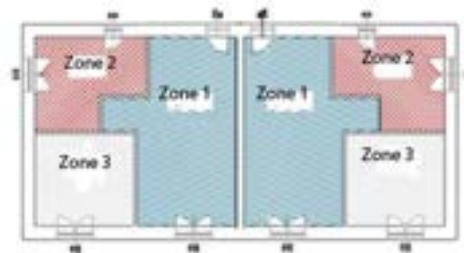
- two symmetrical zones for the ground and first floor apartments : Zone 1 (red area), Zone 2 (blue area);
- three symmetrical zones for the second floor flat (Figure 6b-c): Zone 1 (blue area), Zone 2 (red area) and Zone 3 (white area).

During the summer season, the solar circuit is completely by-passed by diverting valves. The fluid used to provide the cooling effect is driven to a geothermal heat exchanger that works exchanging heat directly with the ground. The GHP in the cooling mode is activated manually.

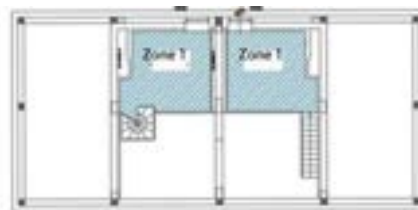
The modeled heat pump control system is set up at a temperature of 20°C of the fluid coming from the radiant floors.



The thermal zones of the ground floor

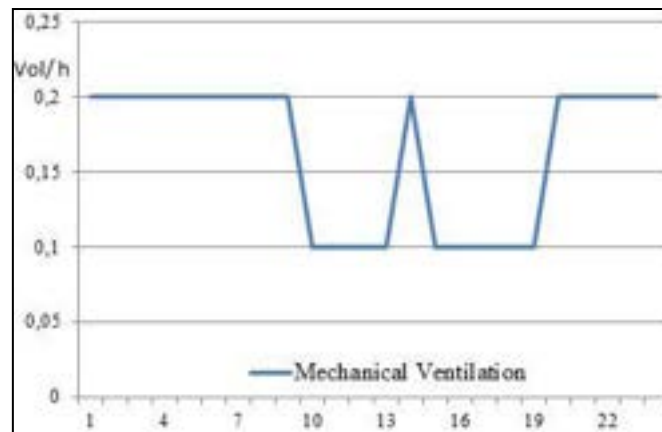


The thermal zones of the first floor



The thermal zones of the second floor

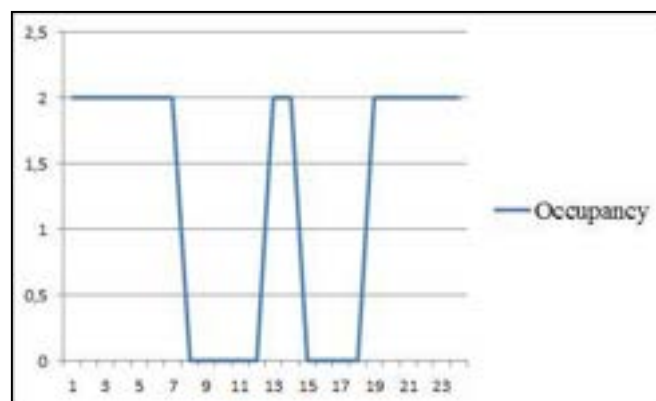
Each zone is simulated taking into account the real orientation of the building to better assess the solar gains. The thermal exchanges due to mechanical ventilation are evaluated setting up 0.1 or 0.2 volumes/hour of ventilation, depending on day time schedule. The CO₂ sensors activate the mechanical ventilation only when the CO₂ concentration is higher than the set point value while other sensors automatically stop the mechanical ventilation when windows are open.



Example of the mechanical ventilation daily schedule for flats 1-4

The thermal gains of the zones are calculated through the TRNSYS “Gains” function : a detailed function that considers the number of people inside the house at all hours of the day, every day. Furthermore, different activity levels for the people in the house were set up.

To obtain reliable results we have developed a data climate file containing the climate time series of 2009 collected by the LH weather station.



Example of the occupancy level daily schedule for flats 1-4

Results of the simulation

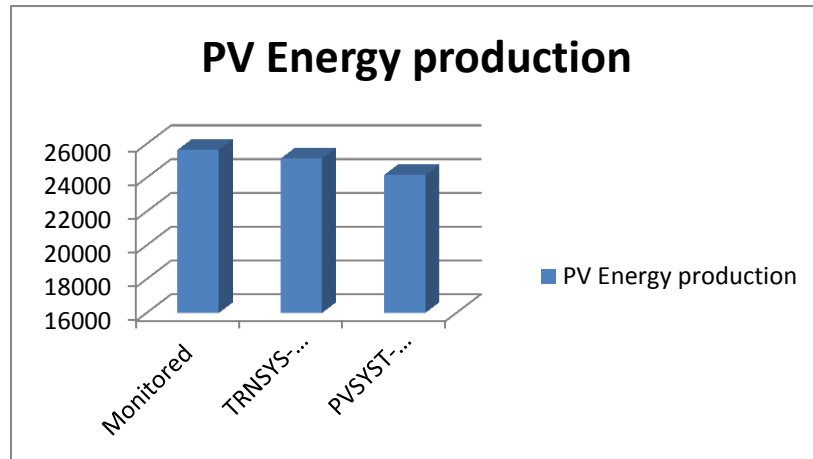
Photovoltaic model

The monitored data for 2009 show an energy production of 25651 kWh from the photovoltaic panels. The simulated production from TRNSYS is 25143 kWh for the year, while the PVSYST

simulation gives as result 24160 kWh / year. The precision of the two results is high enough to consider significant and solid the two models.

Both approaches give a lower value than the monitored one : the TRNSYS model has an error of the 2 %, while the PVSYST reaches the 6 %.

The results are summarized in the following graph.



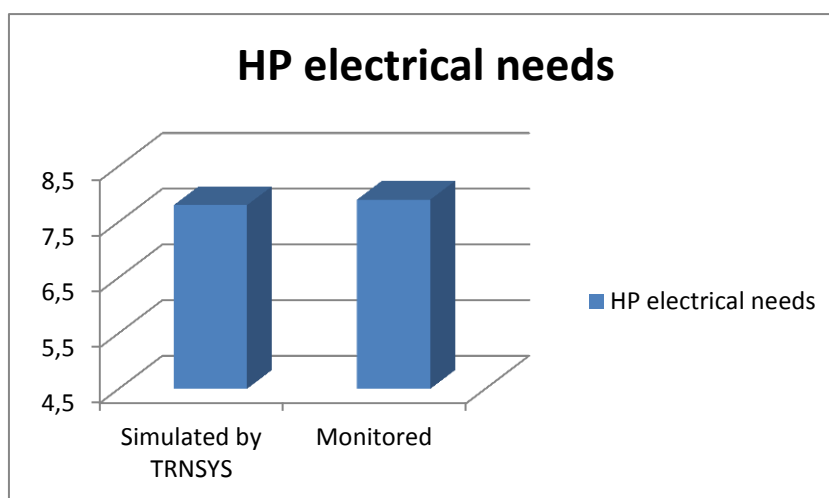
Monitored and simulated photovoltaic energy production

HVAC model

The calibration of the model has been made on both the temperature results compared to the average values in the year and on the heat pump electricity demands, calculated by TRNSYS.

The heat pump electricity absorption results will be briefly described.

The real HP uses nearly 5.3 MWh for the heating season and 2.6 MWh for the cooling one. The simulated data for the heating season is close to 4,7 MWh while the simulated cooling consumption is 2.7 MWh. Those data are close enough to claim the simulation results as acceptable: the difference between simulated and monitored data is around 6 %.



Simulated and monitored heat pump electrical needs

Redesign

The energy performances of the building show that the envelope is already very effective while a partial redesign of the thermal plant could permit reaching a nearly Net Zero Energy performance. Furthermore, the adoption of a better building automation system could significantly improve the energy behavior of the building.

Redesign studies should identify better alternative solutions for plants, building envelope or impact on the environment that significantly modify the building.

A brief summary of the 2009 data for the LH plant and electrical needs follows: both simulated and real values are arranged in a table for a quick comparison of the Scenario 0 with the redesign options.

PV (kWh)		
Energy production		Energy Needs
Simulated	Monitored	Monitored
25143	25651	37080

Scenario 0, Energy production and needs

The forecasted energy needs were way lower than the monitored ones. That leads to an Energy produced/energy needs ratio equal to 0,69 : in order to reach the NZEB status this ratio must be equal to one, in the chosen time interval.

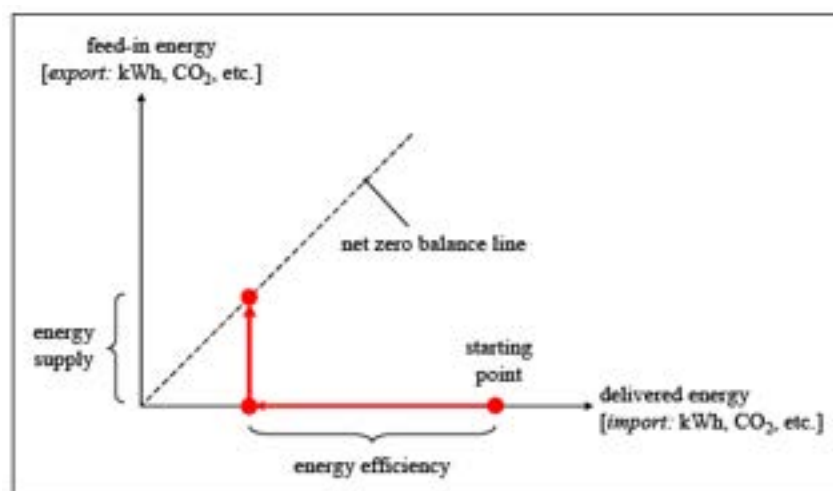
An in-depth analysis should be conducted, in order to examine in a higher detail the electrical needs of the Leaf House. It has been conducted an in-depth simulation on the weight of the heat pump electrical needs on the overall needs.

HP electrical needs (MWh)	
Simulated	Monitored
7,4	7,9

Scenario 0 , HP electrical needs

The heat pump electrical needs \ total needs ratio is around 0,26 : it has an overall high enough impact to justify redesign options in this direction.

In order to obtain a NZEB performance two different level of intervention can be pursued: obtain better performances with higher energy efficiencies and thus reducing the energy needs (moving from right to left on the x axis in the graph) or higher energy supplies \ production values (moving on the y axis).



Example of the redesign process

To achieve the goal of NZEB, different scenarios have been proposed to improve the real plant-building system.

In detail, to increase the energy performance of the building it has been decided to simulate four scenarios:

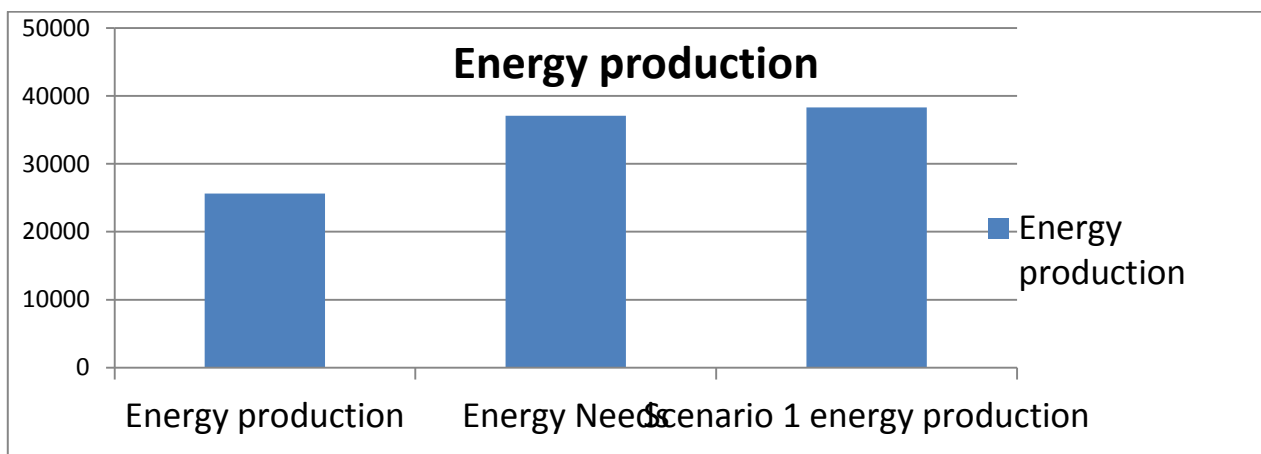
- Scenario 1: Increase PV energy production;
- Scenario 2: A more efficient GHP (COP 4.6);
- Scenario 3 : Elimination of the heat pump heat exchanger and the use of glycol-water in the main system line,
- Scenario 4 : Combination of scenario 2 and 3.

Scenario 1

The first scenario touches the PV energy production.

The monitored data for 2009 show an energy production of 25651 kWh from the photovoltaic panels. The simulated production from TRNSYS is 25143 kWh for the year.

With the substitution of a different model of PV panels (19 % efficiency) the energy yield forecasted (TRNSYS simulation) would be 38296 kWh: this solution should allow a complete covering of the total electrical needs of the LH.



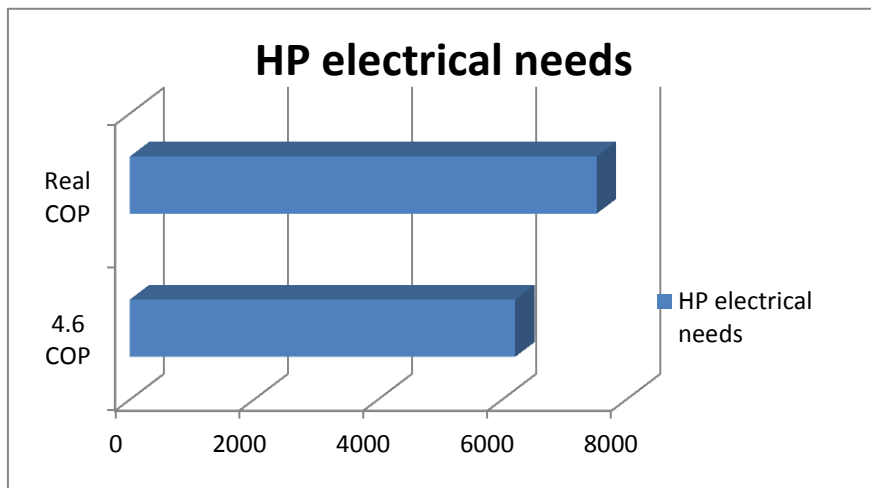
Energy production

	ON-SITE	REDESIGN
P_{MAX} [W]	175,00	240,00
V_{MP} [V]	36,40	43,70
I_{MP} [A]	4,67	5,51
OPEN CIRCUIT V [V]	43,50	52,40
SHORT-CIRCUIT I [A]	5,20	5,85

Scenario 2

The second scenario takes in consideration a COP higher than the one resulting from monitored data. A 4.6 COP heat pump simulated with the same model and assumptions gives an overall yearly data of around 5.4 MWh.

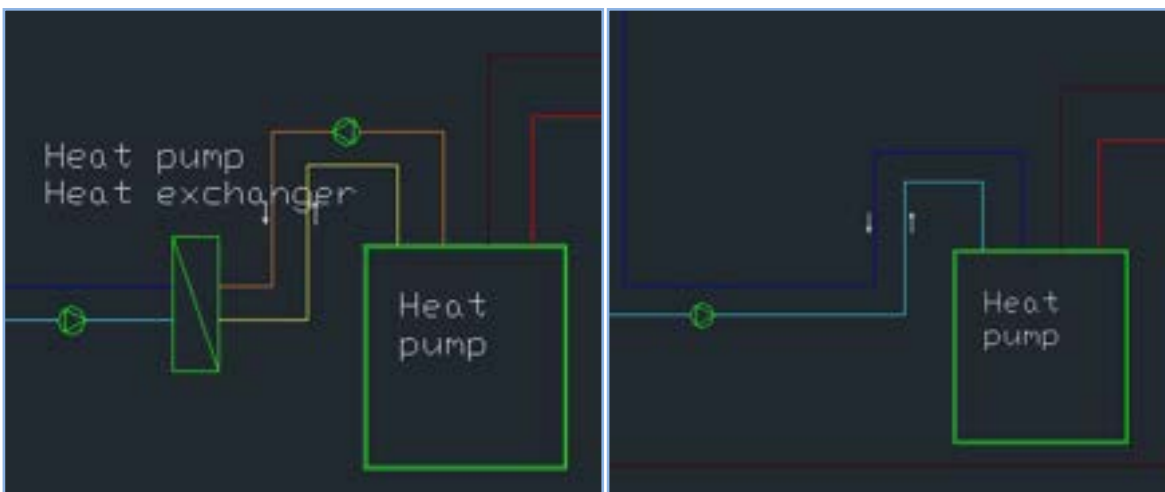
This value is 2 MWh (26 % lower) lower than the scenario 0 simulated one.



Scenario 2

Scenario 3

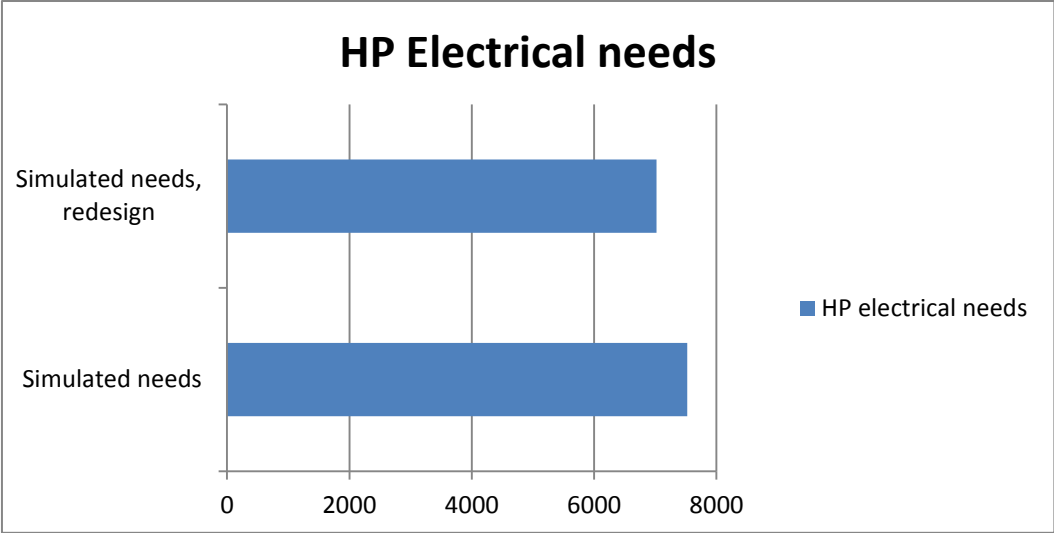
The third hypothesis was the elimination of the heat pump heat exchanger and the use of glycol-water in the main system line.



Real plant scheme

Scenario 3

The impact on the overall electrical needs was significant: around 500 kWh were saved during the year. While simulated needs were 7524 kWh, the simulated results of this redesign option are 7020 kWh.

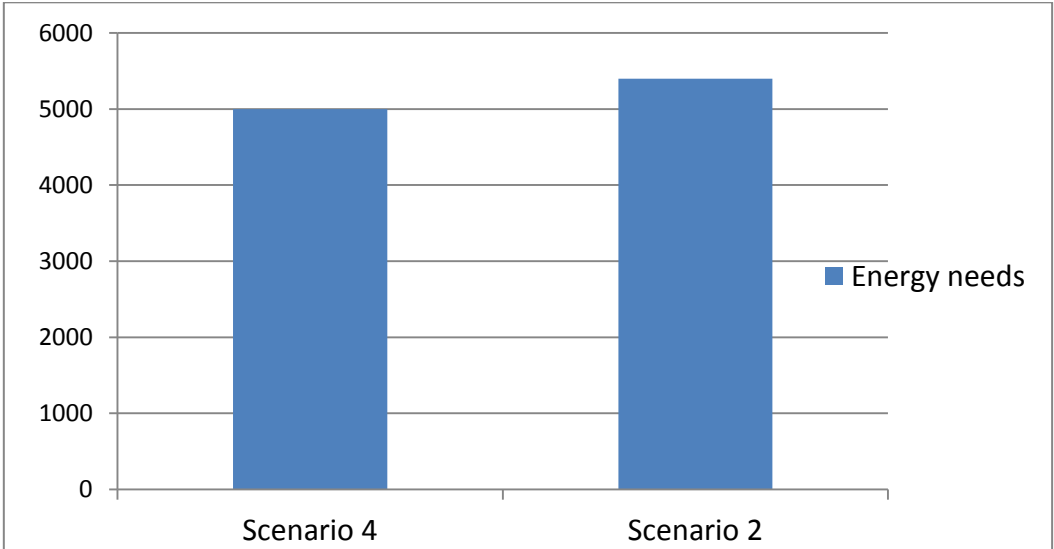


Hp electrical needs, scenario 3

Scenario 4

The combination of the adoption of a more efficient GHP proposed in the scenario 2 and the new system configuration described in the scenario 3 leads to an energy saving of around 400 kWh on the energy needs forecasted in the second scenario.

The energy needs forecasted are around 5 MWh for the year taken in consideration.



HP energy needs (kWh)

The substitution of the PV panels allows the possibility to reach the NZEB standards with no other interventions. However further investigations on the GHP shows that achieving 2 MWh savings or more is possible by choosing another heat pump with better performances.

The results are summarized in the following tabs.

Scenario	Simulated PV production	MonitoredPV production	Energy needs
0	25143	25651	37080
1	38296		37080

PV re-design options (kWh)

Scenario	Monitored	Simulated
0	7,9	7,5
2		5,4
3		7
4		5

HP-related re-design options (MWh)

The best option is the combination of scenarios 1 and 4.