

Simulazione energetica dinamica di palazzine NZEB da realizzare a KIEV

Dynamic energy simulation of NZEB block of flats to be built in KIEV

MAURIZIO LANDOLFI¹ – DANIELE DI GIORGIO².

¹ *Ingegnere meccanico, Eutecna Energia, Roma*

² *Ingegnere meccanico, Libero professionista, Mariano del Friuli (GO)*

RIASSUNTO

Lo studio presentato in questo articolo nasce dalla volontà imprenditoriale di una società di costruzioni ucraina di realizzare a Kiev delle palazzine ad elevate prestazioni energetiche ed a costo concorrenziale rispetto alle costruzioni altamente energivore diffuse nel territorio. Le note contingenze politiche Russia-Ucraina impongono, infatti, una drastica riduzione dell'uso del gas. L'Ucraina inoltre è un produttore di ottimo legno a costi competitivi.

Da queste considerazioni è stato effettuato uno studio per il progetto di un edificio NZEB, che utilizzi materia prima legata al territorio, cioè il legno, e che elimini totalmente l'uso del gas, proponendo soluzioni impiantistiche adatte ai climi rigidi.

Attraverso questo articolo si vuole mostrare il valido contributo dato dalla simulazione energetica dinamica per calcolare le variazioni del fabbisogno annuale di energia e quindi dei costi operativi dell'edificio oggetto di studio in funzione di diverse caratteristiche dell'involucro e degli impianti.

Il confronto economico tra le varie soluzioni in termini di Life Cycle Cost in un arco temporale di venti anni ha permesso di individuare il mix ottimale di tecnologie e materiali e ha orientato le scelte dell'investitore.

Gli obiettivi raggiunti sono rilevanti: diminuzione dei costi di costruzione, eliminazione dell'uso del gas e drastica riduzione di emissioni di CO₂ dovuta sia alla bassa Carbon Footprint dei materiali impiegati che all'uso di energie rinnovabili.

SUMMARY

The study presented in this article comes from the business venture of a Ukrainian construction company to realize buildings in Kiev with high energy performance and at competitive cost compared to the highly energivorous buildings throughout the area. As known, the political contingencies between Russia and Ukraine are imposing a drastic reduction in the use of natural gas. Moreover, Ukraine is a big producer of high quality wood at competitive prices.

Based on these considerations, a study for the design of a NZEB building was carried out, which uses raw material linked to the territory, that is wood, and which totally eliminates the use of natural gas. Furthermore, this study offers plant solutions suitable to cold climates.

The aim of this article is to show the valuable contribution given by the dynamic energy simulation in order to calculate the variations in annual energy consumption and operating costs of the studied building depending on different building enclosure and system features.

The economic comparison between different solutions in terms of Life Cycle Cost, over a period of twenty years has allowed to identify the optimal mix of technologies and materials and has oriented the investor decisions.

The goals achieved are relevant: construction cost decrease, elimination of the use of natural gas and drastic reduction of CO₂ emissions due both to the low carbon footprint of the used materials and to the use of renewable energy.

Parole chiave: NZEB, efficiency energy, chilled beam, renewable energy

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni c'è stato un enorme sforzo di politica estera da parte dello stato ucraino finalizzato all'ingresso dell'Ucraina nell'Unione Europea. In proiezione dell'evento, l'Ucraina si sta preparando al recepimento di una serie di Direttive comunitarie tra le quali la Direttiva europea 2010/31/CE sulla prestazione energetica nell'edilizia.

Anticipando i tempi, alcune società di costruzione locali si stanno adoperando per introdurre pratiche di progettazione NZEB nella realizzazione dei nuovi edifici. Il problema di dipendenza dalle fonti energetiche tradizionale è infatti particolarmente sentito in Ucraina per due ragioni fondamentali: l'obsolescenza del parco immobiliare esistente e le note contingenze politiche Russia-Ucraina. L'Ucraina deve perciò rinnovare le proprie pratiche costruttive e contemporaneamente uscire dalla situazione di costante incertezza dovuto alle fluttuazioni del prezzo degli idrocarburi.

Naturalmente, le esigenze imprenditoriali fanno sì che l'adozione di nuove tipologie costruttive debba declinarsi all'interno di una sostenibilità dell'investimento mantenendo costi concorrenziali rispetto alle costruzioni altamente energivore diffuse nel territorio o, perlomeno, garantendo una buona redditività del Costo del Ciclo di Vita dell'immobile.

La valutazione economica comparativa diventa molto delicata per edifici NZEB per i quali i costi realizzativi vengono compensati dai risparmi energetici conseguiti negli anni seguenti a fronte di una diminuzione dei costi operativi. Quantificare correttamente questi ultimi è perciò centrale tanto nel supporto al processo decisionale quanto nell'attività di progettazione di edifici NZEB.

Il lavoro descritto nel presente articolo è stato svolto per assistere una società di costruzione ucraina nella realizzazione di palazzine in legno NZEB a Kiev. Lo studio doveva coniugare dunque due aspetti fondamentali. Innanzitutto doveva portare ad una valutazione il più precisa possibile dei consumi energetici dell'edificio in funzione della

modalità di utilizzo dei locali; questo al fine di poter quantificare correttamente i risparmi conseguenti all'utilizzo di tecnologie differenti. Oltre a ciò doveva confrontarsi con le problematiche impiantistiche tipiche dei climi freddi come quello dell'entroterra ucraino.

Per poter far ciò, è stato creato un modello numerico dell'edificio oggetto di analisi mediante il quale è stata condotta una campagna di simulazioni energetiche dinamiche.

La simulazione energetica dinamica permette infatti di valutare i consumi energetici in funzione delle condizioni attese di utilizzo dell'edificio e attraverso l'utilizzo di file climatici orari ricavati da elaborazioni statistiche dei rilievi effettuati nella stazione meteorologica più vicina alla località di edificazione.

Lo studio ha messo a confronto due soluzioni progettuali possibili per climi freddi: uno tradizionale a caldaia a gas per il riscaldamento e a climatizzatori ad espansione diretta per il raffrescamento ed uno alternativo a pompa di calore a sonde geotermiche per il riscaldamento ed il raffrescamento abbinata ad un sistema di rinnovo meccanico dell'aria.

Grazie all'utilizzo della simulazione energetica dinamica è stato poi possibile implementare nel modello anche l'utilizzo di un sistema di produzione elettrica fotovoltaica finalizzato alla compensazione dei consumi elettrici propri dell'edificio.

2. STUDIO ENERGETICO DELL'EDIFICIO

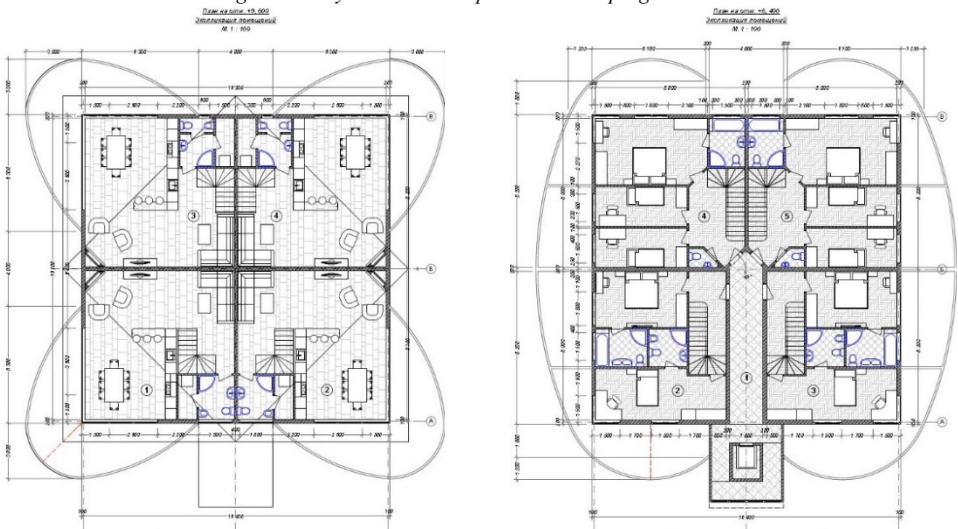
Il lavoro di analisi energetica è stato condotto in quattro fasi: reperimento delle informazioni tipologiche e di utilizzo dell'edificio, realizzazione del modello numerico dell'edificio, campagna di simulazioni e analisi dei risultati.

A loro volta le simulazioni sono state fatte in due step: affinamento del modello con valutazione preliminare dei consumi e studio dettagliato delle due soluzioni impiantistiche messe a confronto.

2.1. Reperimento delle informazioni tipologiche e di utilizzo dell'edificio

La prima fase del lavoro è stata incentrata al reperimento delle informazioni tipologico costruttive e di destinazione d'uso dell'edificio.

Figura 1 – Layout interno dei piani 3 e 4. Da progetto architettonico.



L'immobile in procinto di realizzazione è ad uso residenziale. Esso prevede otto appartamenti distribuiti su quattro livelli al di sopra del piano campagna. L'area totale climatizzata è circa 800 m². Ogni appartamento è sviluppato su due piani individuanti rispettivamente la zona giorno e la zona notte. Queste due zone sono messe in comunicazione attraverso una scala interna. Sono previsti quattro appartamenti nei primi due piani e quattro negli ultimi due, tutti delle medesime dimensioni. In figura 1 è possibile vedere, a titolo di esempio, il layout interno dei piani 3 e 4 con la suddivisione in locali e la rappresentazione degli arredi.

La tipologia costruttiva utilizzata è a struttura portante in legno ben isolato (trasmittanza 0,15 W/m²K) con serramenti costituiti da vetro triplo basso emissivo e telaio anch'esso in legno. La temperatura minima della città di Kiev è di -17°C, la temperatura massima 30,7°C. Le condizioni indoor impostate sono 20°C in inverno e 26°C in estate.

2.2. Realizzazione del modello numerico

Sulla base del *concept* architettonico è stato realizzato un modello numerico dell'edificio che ne riproducesse il comportamento in condizioni dinamiche di funzionamento.

Tale modello numerico è stato realizzato sulla base della normativa ASHRAE statunitense; in particolare è stato utilizzato il motore di calcolo EnergyPlus sviluppato dal dipartimento dell'energia degli Stati Uniti d'America.

Per la rappresentazione delle forzanti sul sistema edificio-impianto, da un lato sono stati costruiti profili di utilizzo dei locali, dall'altro è stato inserito un file climatico orario ricavato da elaborazioni statistiche dei rilievi effettuati nella stazione meteorologica più vicina alla località di edificazione. I profili di utilizzo dei locali sono stati modellati in funzione della destinazione d'uso dell'edificio e delle modalità comportamentali degli occupanti. I profili di occupazione, di apporto interno di calore dovuto alle apparecchiature presenti nei locali, di illuminazione, di accensione e attenuazione dell'impianto di climatizzazione, nonché di controllo dei sistemi schermanti, sono stati impostati in base all'utilizzo previsto dei locali ed alla tipologia degli stessi. Sono stati a tal proposito individuate tre tipologie di locali: Soggiorno (spazio unico con angolo cottura), Bagno e Camera.

In particolare è stata prevista un'occupazione notturna della camere e diurna di entità temporale modulata dei bagni e della sala giorno. Gli apporti di calore tengono conto della diversità dei locali e della loro modalità di utilizzo; a titolo di esempio si cita l'apporto di calore sensibile e latente dovuto al piano cottura, fissato in orario di preparazione cibi nella sola sala giorno. L'illuminazione con corpi illuminanti ad elevata efficienza segue in maniera quasi identica il profilo di occupazione dei locali, eccezion fatta per gli orari di sonno; è stato impostato inoltre un controllo dimerizzato dell'illuminazione artificiale in grado di sopperire in modo congruo e senza eccesso di apporto di calore alla diminuzione di illuminazione naturale dovuta all'azionamento delle schermature mobili. Anche l'impianto di climatizzazione segue il profilo di occupazione dei locali, mentre il sistema schermante segue una logica di controllo della radiazione solare domotizzata. Quest'ultimo è stato modellato in modo tale da avere massimo apporto di calore in inverno e minimo apporto di calore in estate; esso infatti si attiva in due casi: di notte per il contenimento del calore e nei momenti diurni in cui è

attivo l'impianto di raffrescamento e contemporaneamente la potenza della radiazione solare sulla superficie del serramento eccede il valore di controllo impostato a 120 W/m^2 . A titolo di esempio, in figura 8 ed in figura 9 viene riportato l'andamento giornaliero degli apporti per un locale Soggiorno.

Il modello prevede dunque la stessa conformazione architettonica sia per quel che riguarda le dimensioni geometriche dell'involucro sia per quel che riguarda la conformazione di tutti gli elementi finalizzati al controllo passivo della radiazione solare. In figura 2 viene proposta un'immagine del modello tridimensionale.

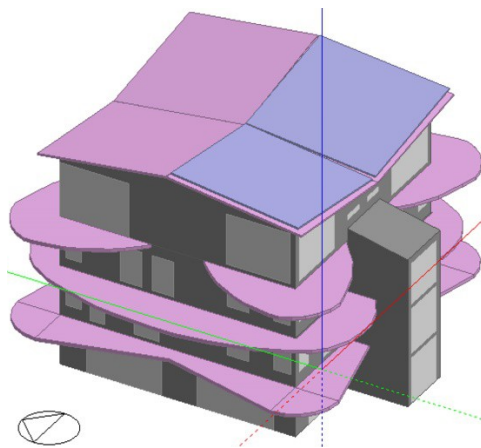


Figura 2 – Immagine del modello tridimensionale realizzato con DesignBuilder con pannelli fotovoltaici integrati su due falde (colore viola).

Si può notare inoltre il posizionamento della superficie fotovoltaica su due delle quattro falde di copertura funzionale all'ottenimento di un edificio NZEB. Quest'ultimo è stato modellato in base a valori tipici riscontrabili nei comuni prodotti commerciali per moduli in silicio policristallino. La superficie captante è stata impostata essere il 90% della superficie occupata. L'efficienza delle celle è stata impostata pari a 14,2%, equivalente a 16,7% meno un 15% per tenere conto del decremento delle prestazioni del pannello negli anni (valore medio stimato su un arco temporale di 25 anni). Il rendimento dell'inverter è stato invece impostato pari al 90%. La superficie totale di copertura destinata a fotovoltaico è stata modellata in funzione del consumo elettrico totale dell'edificio.

2.3. Campagna di simulazioni

Una volta definiti geometria e dati funzionali del modello è stata condotta una campagna di simulazioni energetiche suddivisa in due filoni di analisi: affinamento del modello con valutazione preliminare dei consumi e studio dettagliato delle due soluzioni impiantistiche messe a confronto.

2.3.1. Affinamento del modello

La prima parte dell'attività di simulazione è stata incentrata sulla valutazione preliminare dei consumi dell'edificio.

Trattandosi di analisi concernente solo il comportamento dell'edificio, in questa fase sono state effettuate analisi con sistema impiantistico semplificato, ovvero in modalità carichi ideali. I valori di consumo di gas e di elettricità rispettivamente del sistema di riscaldamento e del sistema di raffrescamento sono stati ottenuti impostando dei rendimenti medi stagionali di impianto.

Per la valutazione preliminare del fabbisogno energetico sono state fissate le caratteristiche termofisiche (UNI, 10351 – UNI, 10456) della stratigrafia dei componenti opachi orizzontali (pavimento contro-terra, solai interpiano) e dei componenti inclinati di copertura, mentre sono state fatte variazioni mirate del grado di isolamento dei componenti opachi orizzontali al fine di verificare il contributo effettivo di questo componente sul fabbisogno energetico dell'involucro. Nella tabella I sono riportati i valori di trasmittanza utilizzati nei calcoli.

Tabella 1 – Trasmittanza elementi opachi dell'involucro.

Trasmittanza involucro opaco	
Elemento di involucro	Trasmittanza W/(m ² K)
Pavimento contro terra	0,200
Copertura inclinata	0,150
Solaio interpiano	0,800
Parete esterna	0,150

2.3.2. Comparazione delle due tipologie impiantistiche

L'analisi comparativa ha visto la simulazione dell'edificio alimentato da due tipologie differenti di impianto. Per far ciò gli impianti sono stati modellati in maniera dettagliata nella logica di EnergyPlus di componenti del sistema edificio-impianto (*zones, systems e plants*) collegati da circuiti.

La prima configurazione impiantistica modellata è di tipo tradizionale. Essa prevede un sistema di riscaldamento a radiatori alimentati ad acqua da una caldaia a gas a condensazione ed un sistema a climatizzatori tipo trial split per il raffrescamento di ogni appartamento. Non è stato previsto il sistema di ventilazione meccanica controllata, mentre è stata fissata una ventilazione naturale pari a 0,3 vol/h per il ricambio dell'aria ed è stata imposta la possibilità di apertura dei serramenti da parte degli occupanti per il *free cooling*.

La seconda configurazione impiantistica modellata è di tipo alternativo rispetto alle pratiche progettuali urbane. Si tratta di un sistema a pompa di calore acqua-acqua alimentata da un sistema a sonde geotermiche a circuito chiuso. Per i terminali si è scelto un sistema a travi fredde con una temperatura media dell'acqua di 17°C in regime estivo e con una temperatura in ingresso di 35°C in regime invernale. Tale soluzione è possibile delegando alla trave fredda il compito di soddisfare il solo carico termico dovuto alle dispersioni attraverso l'involucro. Il carico termico di ventilazione è invece smaltito dal sistema di ventilazione meccanico dell'aria, il quale fornisce un ricambio d'aria pari a

0,3 vol/h. Il sistema prevede anche un recupero di calore pari al 70%. L'aria trattata viene mandata alla trave alla temperatura di 16°C in estate e 22°C in inverno. Sono state usate schermature solari sugli infissi per contenere la radiazione solare in estate. Anche in questo secondo caso è stata impostata la possibilità di apertura dei serramenti da parte degli occupanti per il *free cooling*.

Il comportamento dello scambiatore geotermico è stato modellato utilizzando *g-function* ricavate per terreno di caratteristiche medie; riguardo il dimensionamento delle sonde si è tenuto conto della potenza di picco richiesta dell'edificio: 26 kW.

2.4. Analisi dei risultati

La valutazione comparativa tra le due tipologie impiantistiche ha portato in risalto, come atteso, un netto risparmio di elettricità e l'abbattimento del consumo di gas naturale. Nelle simulazioni è stato ipotizzato, nel caso di pompa di calore geotermica, l'eliminazione dell'allacciamento alla rete di distribuzione di gas naturale. Anche il consumo di combustibile ad uso cottura è stato perciò convertito da gas a elettrico con fattore di conversione dell'utilizzo di un sistema ad induzione di 0,54 (Dughiero, 2010).

Nella tabella II sono riportati i risultati della simulazione per i due casi; è possibile vedere un risparmio di gas naturale di circa 30,9 MWh a fronte di un aumento di consumo di elettricità di circa 7,7 MWh.

Tabella II - consumi.

Energia consumata dall'edificio in kWh					
	Uso	Energia	Tradizionale	Alternativo	Differenza
	Apparecchiature	Elettricità	8.682	11.730	+3.048
	Apparecchiature	Gas naturale	5.644	0	-5.644
	Illuminazione	Elettricità	5.817	5.817	0
	Ventilatori	Elettricità	54	246	+192
	Pompe	Elettricità	160	795	+635
	Climatizzazione	Gas naturale	28.710	0	-28.710
	Climatizzazione	Elettricità	231	2.686	+2.455
	Totale	Elettricità	14.944	21.274	+6.330
	Totale	Gas naturale	34.354	0	-34.354

Al fine di evidenziare il diverso comportamento dei due sistemi impiantistici messi a confronto, si riportano di seguito i profili dei consumi energetici di due giornate tipo, una estiva ed una invernale, per i due casi studiati. Si nota un drastico abbattimento dei consumi dovuto all'utilizzo del sistema a pompa di calore geotermico.

Simulazione energetica dinamica di palazzine NZEB da realizzare a KIEV

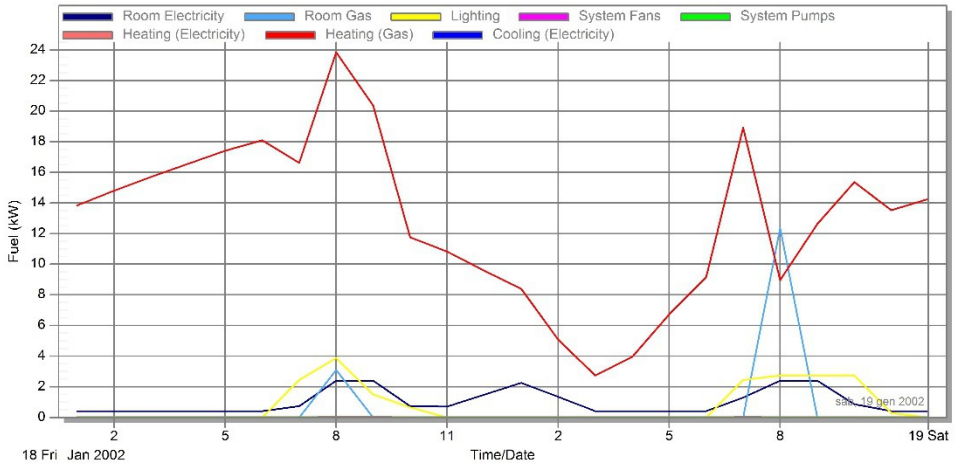


Figura 3 – Grafico dei consumi di una giornata invernale tipo per il caso con sistema tradizionale.

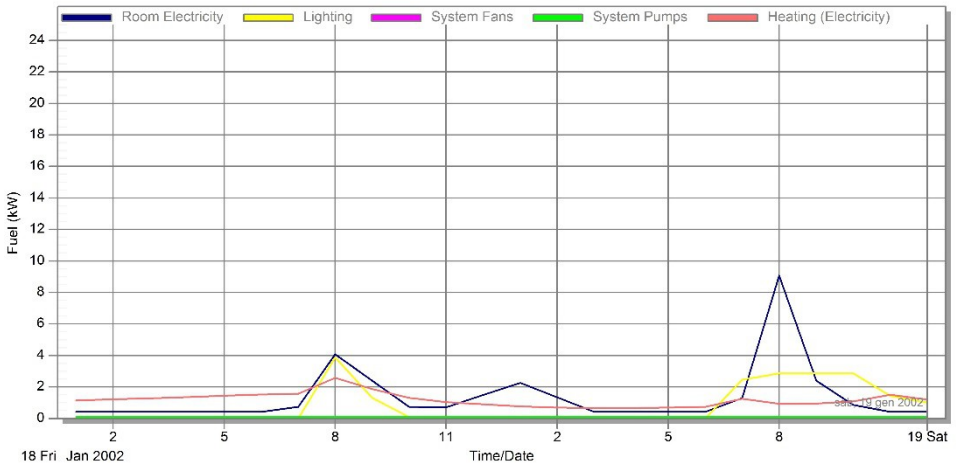


Figura 4 – Grafico dei consumi di una giornata invernale tipo per il caso con sistema alternativo.

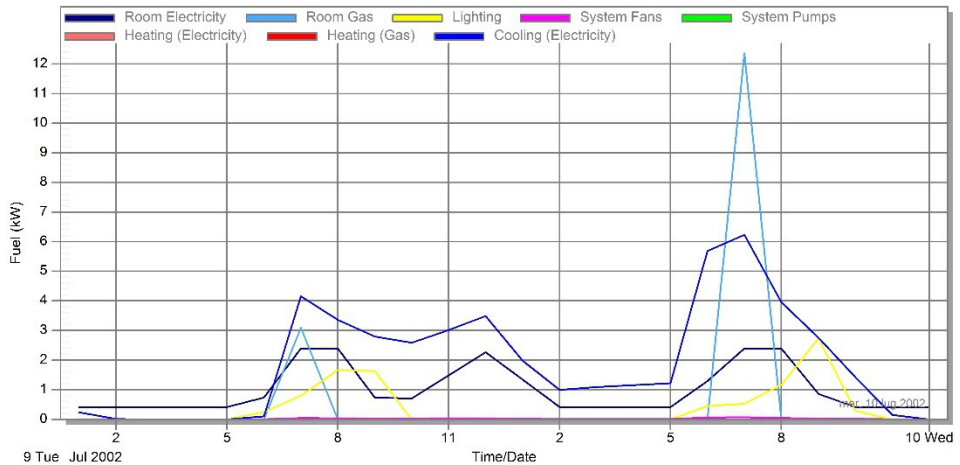


Figura 5 – Grafico dei consumi di una giornata estiva tipo per il caso con sistema tradizionale.

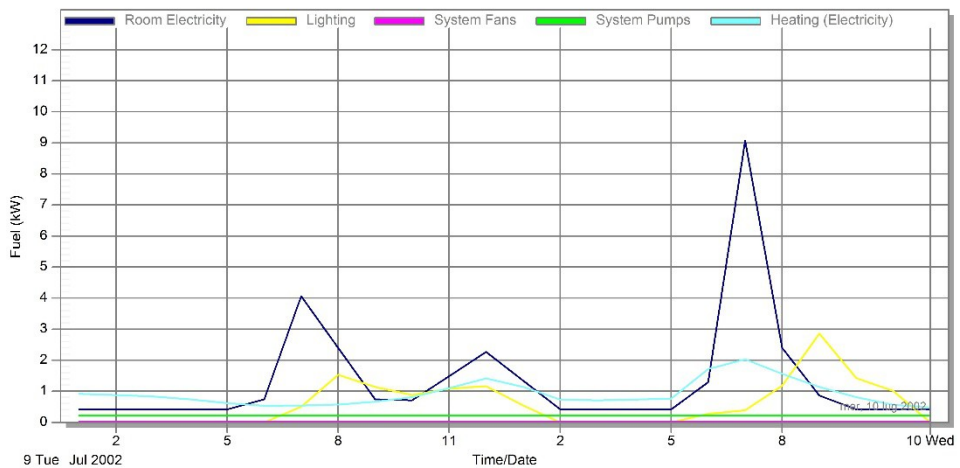


Figura 6 – Grafico dei consumi di una giornata estiva tipo per il caso con sistema alternativo.

Una volta definita l'energia elettrica utilizzata è stato inserito nel modello un sistema di produzione di energia elettrica fotovoltaica. In virtù della radiazione solare incidente, dovuta tanto all'inclinazione della copertura quanto ai dati interni al file climatico utilizzato, per compensare l'energia elettrica consumata dall'edificio sono stati necessari 160 m² di copertura provvisti di pannelli fotovoltaici. La produzione calcolata con la simulazione energetica è di circa 22,7 MWh. Nella figura 7 è possibile vedere il contributo in termini di energia generata dall'impianto fotovoltaico durante una giornata estiva molto soleggiata. Si nota come in tali condizioni l'energia elettrica autoprodotta sia molto superiore ai consumi totali. In inverno la produzione sarà inferiore. Si è dimensionato l'impianto in modo da soddisfare i fabbisogni elettrici nell'arco di un anno.

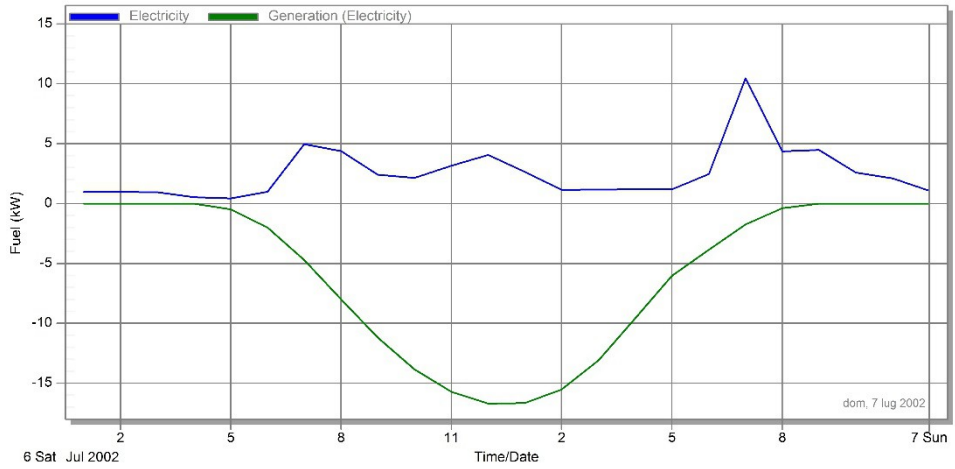


Figura 7 – Grafico dei consumi totali di elettricità in una giornata estiva molto soleggiata per il caso con sistema alternativo con generazione fotovoltaica.

A conclusione si riportano in figura 8 e 9 i grafici delle temperature interne di un locale Soggiorno, esposto a sud-ovest al quarto piano, rispettivamente in una giornata invernale ed in una giornata estiva molto soleggiata.

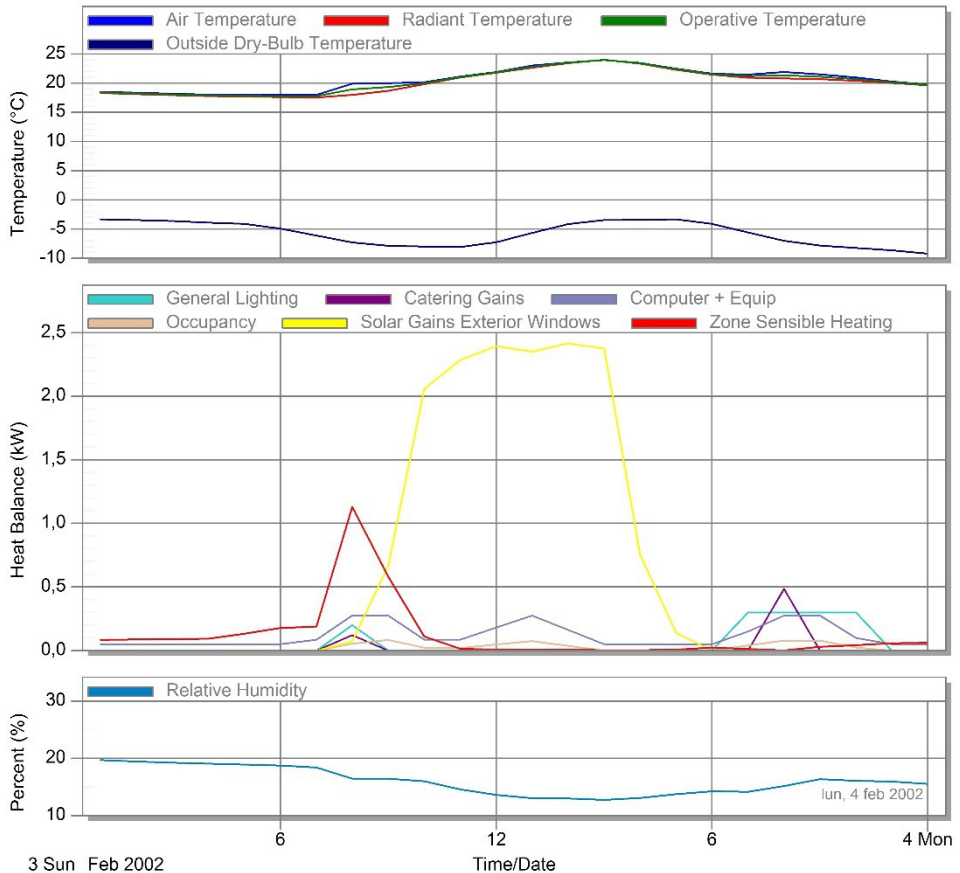


Figura 8 – Grafico delle temperature, umidità relativa interna e apporto solare in una giornata invernale molto soleggiata per il caso con sistema alternativo.

Nel grafico di figura 8 si può apprezzare come la radiazione solare porti un'enorme contributo termico che eleva la temperatura interna al di sopra della temperatura di 20°C impostata di setpoint. L'umidità è bassa a causa dell'assenza di sistemi di umidificazione.

Nel grafico di figura 9 si può invece notare come venga mantenuta la temperatura di comfort di 26°C per tutto il periodo di *setpoint*. Dalle 2 alle 5 pomeridiane, benché l'impianto venga spento in assenza di occupanti, la temperatura interna mostra solo un lieve aumento di temperatura. Ciò è dovuto all'efficace controllo della radiazione solare dei sistemi di schermatura previsti; ovvero persiane oscuranti esterne. Anche l'umidità si mantiene a valori compresi tra il 50% ed il 60% per tutto l'arco delle 24 ore a dimostrazione del sufficiente ricambio d'aria per il benessere termoisometrico degli occupanti.

Simulazione energetica dinamica di palazzine NZEB da realizzare a KIEV

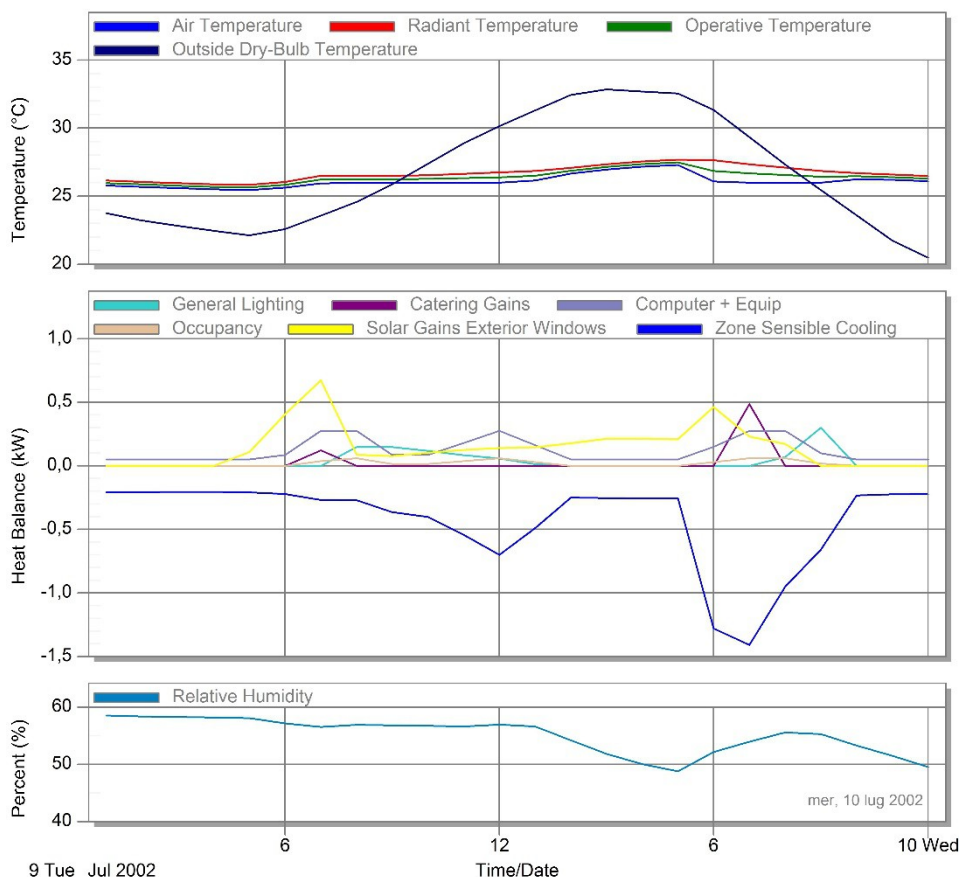


Figura 9 – Grafico delle temperature, umidità relativa interna e apporto solare in una giornata estiva molto soleggiata per il caso con sistema alternativo.

La figura 9 mostra inoltre, nel diagramma centrale, l'andamento degli apporti nell'arco della giornata. È possibile vedere sia il profilo impostato per gli apporti interni di illuminazione, cottura, apparecchiature ed occupazione, sia gli apporti esterni dovuti alla radiazione solare ed al sistema HVAC. Si può notare come il controllo della radiazione entrante dagli elementi finestrati provochi l'accensione dell'illuminazione naturale con conseguente aumento degli apporti di quest'ultima. Il grafico mostra però che l'aumento di energia in ingresso nel locale dovuta all'illuminazione è molto inferiore a quella solare schermata con conseguente beneficio sui carichi di impianto. In sostanza si ha un aumento di elettricità spesa per l'illuminazione compensata da una diminuzione dei consumi elettrici della pompa di calore e da una maggiore uniformità luminosa all'interno dei locali.

3. VALUTAZIONE ECONOMICA

La valutazione dei costi impiantistici è stata fatta sulla base di un predimensionamento in funzione delle potenza termica massima emersa dalla simulazione: 27 kW per il sistema tradizionale e 18 kw per quello alternativo.

I costi sono indicativi, tratti da prezziari e domande a fornitori. Sono riferiti al mercato italiano. Un costo preciso può essere stimato solo a seguito di un progetto esecutivo.

Costi impianto tradizionale compreso installazione: totale circa **90.809 €**

impianto a radiatori 55.809 €

impianto trial split a pompa di calore per otto appartamenti: 35.000 €

I prezzi, compreso installazione, sono stati tratti dall'elenco prezzi delle opere edili Forli-Cesena.

Costi impianto alternativo compreso installazione: totale circa **93.000 €**

sistema a travi fredde per otto appartamenti: si è considerato il costo di 1000 euro, compresa installazione, di una trave fredda, 3 per appartamento, quindi totale 24.000 €

uta per gli 8 appartamenti: 24.000 €

pompa geotermica da 20 kW e accessori: 25.000 €

sonde geotermiche per 400 m: 20.000 €

I prezzi sono stati forniti da preventivi chiesti a fornitori ed imprese installatrici italiane

Dall'analisi si nota una piccola maggiorazione dei costi dell'impianto alternativo rispetto al tradizionale di qualche punto percentuale, precisamente **2191 €**. L'impianto alternativo è dotato di ventilazione con recupero di calore, che riduce drasticamente le dispersioni termiche invernali da 27 a 18 kW, e quindi minor potenza richiesta dagli impianti..

Per poter fare un raffronto tra le due soluzioni impiantistiche bisogna individuare i consumi per il fabbisogno energetico annuale delle due configurazioni, in termini di energia elettrica e termica.

Tabella III – Costi operativi a confronto.

	Energia termica	Costi energia termica	Energia elettrica	Costi energia elettrica	Totale costi energetici
	[kWh]	[€]	[kWh]	[€]	[€]
Tradizionale	34.354	1.271,10	14.944	2.244,60	3.512,70
Alternativo	0	0,00	21.274	3.191,10	3.191,10
Differenza					-321,60

Si è considerato il costo dell'energia elettrica pari a 0,15 €/kWh, mentre il costo del gas pari a 0,4 €/m³. Il fattore di conversione tra kWh termici e m³ di gas è stato impostato a 10,81.

Quindi adottando la configurazione di impianto alternativo si risparmiano ogni anno 321 €.

Andremo a considerare un'analisi di investimento di **2191 €** con risparmio annuale di **321 €** in un arco temporale di 10 anni.

Il calcolo del VAN e del Pay Back Period ci aiuterà a scegliere la migliore tra le due soluzioni proposte. L'analisi deve considerare i seguenti aspetti: costo del denaro, inflazione generale, inflazione dei prodotti energetici. Tuttavia attualmente in Ucraina, data l'instabilità politica, tali parametri oscillano di giorno in giorno. Si tenga presente che il prezzo del gas è aumentato del 280 % e l'inflazione del 106 % negli ultimi mesi. Il costo del denaro supera il 25 %.

Usando tali valori, come puro esercizio intellettuale otterremmo i seguenti dati, con un'analisi a 10 anni: payback 3 anni, VAN 42 Ml di €. Tale valutazione risulta però evidentemente alterata dalle conseguenze economiche indotte dall'attuale congiuntura storica.

Usando valori che invece esistevano qualche anno fa, ossia costo denaro 15%, inflazione generale 7%, inflazione prodotti energetici 10% l'investimento viene appena ripagato in 6 anni. Il VAN dopo 10 anni risulta positivo e pari a 3009 €.

Se volessimo adottare la configurazione di edificio NZEB dovremmo produrre in loco, tramite un impianto fotovoltaico, l'energia elettrica necessaria al soddisfacimento energetico totale, che come si evince dalla tabella III è di **21.274 kWh/anno** (costo annuale di **3191 €**).

A Kiev si può considerare che un kW di potenza installata produce circa 1000 kWh/anno [1], quindi un impianto di 22 kW dovrebbe soddisfare il fabbisogno energetico annuale. L'energia in eccesso prodotta in estate viene ceduta alla rete e venduta per essere riacquistata in inverno. Esistono leggi in Ucraina che incentivano la produzione di energia fotovoltaica.

L'investimento iniziale è pari al costo dell'impianto fotovoltaico, circa 40.000 €, più l'investimento necessario a installare l'impianto alternativo invece di quello tradizionale, 2191 €, per un totale di **42.191 €** con risparmio annuale di **3191 €**.

Adottando la configurazione NZEB, si risparmiano ben 34.354 kWh di consumo di gas naturale, 3.172 m³, e si ottiene un edificio con zero emissioni di CO₂.

Considerando i parametri macroeconomici di costo denaro 15%, inflazione generale 7%, inflazione prodotti energetici 10% l'investimento viene ripagato in 9 anni con un VAN a 10 anni di 10.300 €. Con i parametri attuali il Pay Back Period è solo 2 anni. Quindi si prevede un valore intermedio.

Il costo dell'energia in Ucraina è destinato ad aumentare considerevolmente quindi si può ipotizzare un ritorno di investimento più che ragionevole degli interventi sull'efficienza energetica.

CONCLUSIONI

Gli edifici NZEB riducono drasticamente i consumi di energia per il condizionamento degli ambienti. Nel nostro caso, l'involucro performante, le schermature degli infissi, il trattamento dell'aria con recupero di calore, l'uso di energia geotermica porta ad un consumo di energia di soli 5 kWh/anno per m². Di conseguenza i

consumi elettrici dovuti a illuminazione ed ausiliari diventano preponderanti arrivando ad un consumo totale di circa 27 kWh/anno per m². Nel caso di edificio zero emissioni di CO₂, come quello proposto, anche il piano cottura usa energia elettrica, con notevoli vantaggi sulla sicurezza. L'elevato consumo di energia elettrica può essere prodotto quindi da un impianto fotovoltaico e l'investimento può essere ripagato in 9 anni, considerando parametri finanziari che vigevano qualche anno fa in Ucraina. Oggi, dati i gli andamenti impressionanti dei costi dell'energia, un intervento di efficienza energetico risulta molto più redditizio e può offrire una valida alternativa all'economia di un paese in profonda crisi economica. Del resto i momenti di crisi sono i momenti più propizi per affrontare grossi cambiamenti.

Possibili sviluppi futuri: I profili di utilizzo incidono molto sui consumi. Potrebbe essere interessante un'analisi di sensitività che valuti la variazione dei risultati in conseguenza ai livelli di occupazione, in quanto in edifici assai isolati i guadagni interni costituiscono larga parte dell'energia di riscaldamento sfruttata per il mantenimento delle condizioni di comfort invernali e una loro sensibile variazione rispetto alle assunzioni svolte in fase di simulazione potrebbe indurre rilevanti variazioni sui consumi finali di riscaldamento.

BIBLIOGRAFIA

1. *Photovoltaic solar electricity potential in European countries* http://www.renewable-energy-sources.com/wp-content/uploads/2012/09/pvgis_Europe-solar_opt_publication.png
2. Prof. Fabrizio Dughiero, Ing. Marcello Zerbetto, Laureando Davide Bettin. Anno accademico 2009 – 2010. Modelli numerici per la determinazione dei parametri elettrici di induttori nei piani di cottura ad induzione.
3. Standard passive house (Maurizio Landolfi, Luigi Norgia) N°47 – February 2011 – Progetto & Pubblico (official magazine of OICE)
4. Nearly zero energy building with smart control system in Verona (Italy), Briansk (RUSSIA), Приглашаем Вас принять участие во 3-й - международной научно - практической конференции «Биосферносовместимые города и в г.Брянске, 11-13 /12/ 2012, document n. 3.8, Maurizio Landolfi, Stefano Zantedeschi, Eutecna Energia srl
5. The problems of the thermal reconstruction of mass low rise dwelling (called “Khrushchevki”) sp;(called “Khrushchevki”) M. Dib , M. Landolfi , R. Zavalnyuk In the proceeding of the third international scientific-practical conference “Energy Entergation-2013” (Energy Efficiency Integration Technology in Architecture and Construction), May 15-17.2013, KNUCA, Kyiv, Ukraine. Published in international scientific, theoretical and practical book of the conference (2013) p.39.
6. Design of energy efficient administrative-educational building " Creative Space " in Kyiv In the proceeding of the fourth international scientific-practical conference

“Energy Entegration-2014” (Energy Efficiency Integration Technology in Architecture and Construction), May 27-29.2014, KNUCA, Kyiv, Ukraine. Published in international scientific, theoretical and practical book of the conference (2014) p.76 – 80. M.Landolfi, O.Sergeichuk, M. Dib.

7. Economic Commission for Europe/ country profiles on the housing sector (Russian Federation) /United Nations/New York and Geneva, 2004. – p.33

Lodmela Batshenska “Reconstruction’s features of 5-story dwelling-houses for the first generation of mass model building” Construction and protection technology/ collection of scientific labors, issued 8/ Simferopol<Crimean academy of nature protection and resort building> 2003 , p.10 – 12

Direttive Europee

8. European Parliament. 2010. Directive 2010/31/EC of The European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Official Journal of the European Union n. 153 of the 18 Juny 2010.

Norme

9. UNI. 10351. Norma UNI 10351. Milano: Ente Italiano di unificazione.

10. UNI. 10456. Norma UNI EN ISO 10456. Milano: Ente Italiano di unificazione.