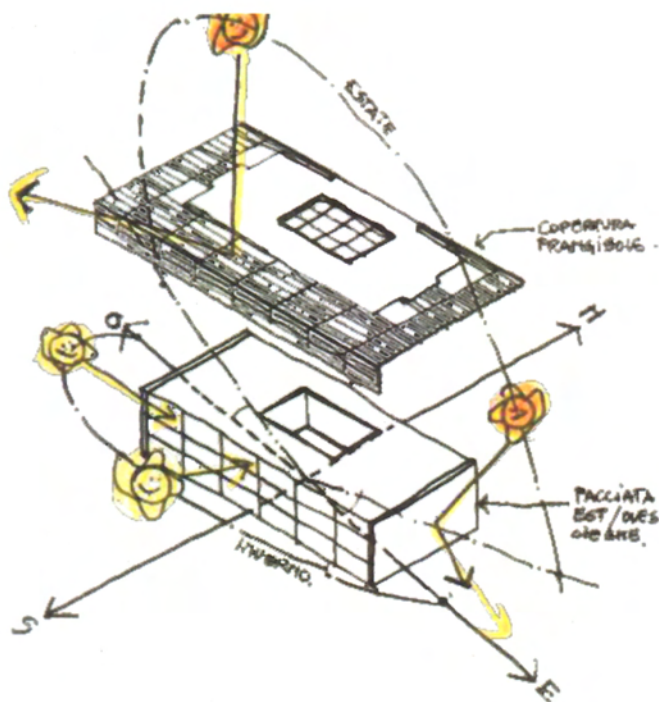


Alberto Maria Lucchesi Palli & Francesca Scalisi

TECNOLOGIE PER IL RISPARMIO ENERGETICO DEGLI EDIFICI



EDIZIONI

 Stampa digitale **offset studio**

Alberto Maria Lucchesi Palli & Francesca Scalisi

TECNOLOGIE PER IL RISPARMIO ENERGETICO DEGLI EDIFICI

E D I Z I O N I



ISBN 978-88-89683-38-5

2011 Copyright - tutti i diritti riservati all'autore

In copertina: Mario Cucinella, schizzo relativo all'edificio direzionale Guzzini.

INDICE

<i>Introduzione</i>	9
1. IL RISPARMIO ENERGETICO DEGLI EDIFICI	11
<i>Francesca Scalisi</i>	
1. 1. Edilizia e sostenibilità	13
1. 2. La casa passiva	14
1. 3. Strategie per l'efficienza energetica degli edifici	16
2. L'EFFICIENZA ENERGETICA DELL'INVOLUCRO EDILIZIO	25
<i>Francesca Scalisi</i>	
2. 1. L'involucro edilizio	27
2. 2. L'isolamento termico degli edifici	28
2. 3. La certificazione energetica degli edifici	31
3. VERIFICA DEL COMPORTAMENTO TERMICO DI UN EDIFICIO CON IL SOFTWARE ECOTECH	41
<i>Alberto Maria Lucchesi Palli</i>	
4. L'MPIANTO FOTOVOLTAICO	59
<i>Alberto Maria Lucchesi Palli</i>	
3. 1. Introduzione	61
3. 2. Le celle fotovoltaiche	62
3. 3. Il rendimento di conversione dell'impianto	65
3. 4. La capacità di produzione	65
3. 5. Gli impianti fotovoltaici	66
3. 6. Componenti del sistema: moduli e stringhe	66

3. 7. Il B.O.S. e le strutture di supporto	66
3. 8. Manutenzione di un impianto fotovoltaico	67
3. 9. Dimensionamento preliminare di un impianto	68
3. 10. I dati solari	68
3. 11. Analisi della superficie a disposizione	68
3. 12. Analisi del fabbisogno elettrico	69
3. 13. Analisi dell'investimento Payback	69
3. 14. Benefici ambientali	70
3. 15. Il Progetto	71
3. 16. Lo stato di fatto	71
3. 17. Descrizione dell'intervento	72
3. 18. Disposizione dei moduli	81
3. 19. Descrizione del sistema	81
3. 20. Produttività del sistema	84
3. 21. Analisi economica	85
3. 22. Benefici ambientali	88
 5. L'IMPIANTO SOLARE TERMICO	 89
Alberto Maria Lucchesi Palli	
 6. IL PAVIMENTO RADIANTE	 109
Alberto Maria Lucchesi Palli	
 6. 1. I pannelli radianti	 111
6. 2. I pavimenti radianti a paviemnto	111
6. 3. I pannelli radianti a parete	113
6. 4. Il progetto di un pavimento radiante	115
 7. L'ILLUMINAZIONE NATURALE E ARTIFICIALE	 123
Francesca Scalisi	
 7. 1. Introduzione	 125
7. 2. Descrizione del progetto	129

7. 3. L'open-space: il progetto di luce artificiale	137
7. 3.1 I dati dei punti luce	137
7. 3. 2. I risultati del processo di luce artificiale	141
7. 3. 3. I falsi colori	144
7. 4. L'open-space: il progetto di luce naturale	153
7. 4. 1. Diagramma altezza del sole	153
7. 4. 2. L'economicità	154
7. 4. 3. Risultati del processo di luce naturale	158
7. 4. 4. Il fattore di luce diurna	159
7. 4. 5 I falsi colori	159
7. 5. I risultati del processo di luce naturale-artificiale	169
8. ANALISI COSTI-BENEFICI	
DI UN EDIFICIO BIOCLIMATICO	177
Francesca Scalisi	
8. 1. Definizione del progetto	179
8. 2. Identificazione degli impatti del progetto	184
8. 3. Quantificazione fisica degli impatti	185
8. 4. Valutazione monetaria degli effetti rilevanti	188
8. 5. Sconto dei flussi ed applicazione dei criteri di investimento	192
8. 6. Analisi di sensitività	194
8. 7. Conclusioni	205
9. BIBLIOGRAFIA	207

INTRODUZIONE

L'obiettivo di questo volume è la definizione di strategie progettuali e tecnologiche per il risparmio energetico degli edifici. A seguito di un'ampia fase esplorativa sulle questioni energetiche e tecnologiche, ci si è voluti soffermare su alcune strategie per il risparmio energetico, supportate da esempi progettuali e simulazioni energetiche effettuate con software adeguati.

La trattazione prende avvio dall'analisi della situazione ambientale, per poi considerare il rapporto tra sostenibilità ed edilizia e delineare le principali strategie per il risparmio energetico degli edifici, che troveranno ampio spazio nei seguenti capitoli:

- l'isolamento termico dell'involucro edilizio, con riferimento alla certificazione energetica degli edifici e quindi al Decreto Legislativo 192/2005 e al successivo Decreto Legislativo 311/2006, con la verifica della trasmittanza delle strutture verticali ed orizzontali opache e delle strutture trasparenti effettuate con il software di simulazione TERMUS;

- la verifica del comportamento termico di alcuni ambienti nella zona climatica di Roma con il software ECOTECT;

- il progetto di un impianto fotovoltaico integrato in un edificio industriale a Palermo;

- l'integrazione di un impianto di pannelli solari in un edificio nel centro storico di Palermo;

- la progettazione di un impianto radiante a pavimento effettuato con il programma HT200 della ditta Eurotherm;

- il progetto di illuminazione naturale e artificiale in un ufficio a Basilea;

- infine, l'analisi costi-benefici di un edificio ubicato a Palermo, per valutare da un punto di vista economico e finanziario l'adozione delle strategie per il risparmio energetico degli edifici.

L'approccio adottato nella redazione del presente volume è quello di privilegiare casi studio significativi, in grado di far comprendere l'applicazione delle strategie per il risparmio energetico degli edifici, fermo restando la premessa teorica indispensabile.

CAPITOLO 1

Il risparmio energetico degli edifici

Francesca Scalisi

1.1. Edilizia e sostenibilità

La soluzione dei problemi legati alla produzione e al consumo di energia è di fondamentale importanza per uno sviluppo futuro di carattere globale e sostenibile. Il mantenimento degli standard di vita finora raggiunti e l'ulteriore progresso in campo economico, tecnologico e sociale dipendono in larga misura dal miglioramento dell'efficienza energetica dell'intero patrimonio edilizio e dei sistemi tecnologici, nonché dalla possibilità di garantire un approvvigionamento energetico duraturo e con il minimo impatto ambientale. Mai come ora si sente il bisogno di passare a un'azione pronta ed efficace, considerando la progressiva diminuzione e il prevedibile esaurimento delle scorte di combustibili fossili (gas e petrolio), l'acuirsi dei conflitti per il loro approvvigionamento e l'aumento costante dei prezzi delle fonti energetiche quale risultato della legge della domanda e dell'offerta. Le conseguenze ambientali e i cambiamenti climatici derivanti dall'impiego indiscriminato di risorse non rinnovabili sono ormai note a tutti.

Per impedire gli effetti incontrollabili del mutamento climatico, è necessario un cambio radicale nei comportamenti economici e dei consumi entro i prossimi 10-20 anni.

Secondo la Teoria delle onde lunghe, lo sviluppo sociale risulta sempre dal cambiamento tecnologico di flussi di energia, materia e informazioni. Anche nel settore dell'edilizia il mutamento avviene in base a tali modalità, con conseguenze a livello globale sulla progettazione e la costruzione.

La durata per lo più lunga della vita degli edifici comporta che le scelte progettuali e gli interventi costruttivi abbiano un effetto di lungo termine. L'impiego di ingenti quantità di materiali e gli alti consumi di energia e risorse negli edifici richiedono lo sviluppo di un nuovo modello di architettura sostenibile.

La ricerca e lo sviluppo di nuovi strumenti e prodotti innovativi in un contesto di crescita economica globale hanno favorito il rapido miglioramento delle nostre condizioni di vita, soprattutto dall'inizio del processo di industrializzazione. Un progresso apparentemente inarrestabile permette all'umanità di soddisfare in modo sempre più efficace i propri bisogni fondamentali, sviluppando adeguate tecnologie, reti e sinergie. Secondo quanto afferma la Teoria delle onde lunghe dello sviluppo sociale ed economico di Nikolai Kondratieff, dall'inizio dell'era industriale e grazie alle continue innovazioni, l'umanità riesce di volta in volta a soddisfare ne-

cessità fondamentali secondo un andamento ciclico di 50 anni circa. Nelle ultime quattro onde lunghe a partire dalla fine del sec. XVIII è stato possibile alleggerire il carico lavorativo (1793-1847), rendere disponibili ingenti quantità di risorse (1847-1893), creare condizioni di vita dignitose nei centri urbani (1893-1939) e favorire la mobilità e lo sviluppo dell'individualità (1939-1989).

Mentre all'inizio di ogni ciclo i problemi di volta in volta sorti sembravano insormontabili, al termine dello stesso ciclo è stato possibile raggiungere altri obiettivi rispetto a quelli posti all'inizio, per lo meno nella parte del globo che presenta il maggiore sviluppo economico. Tutto questo, in prima analisi, rappresenta una conquista decisamente positiva.

La Teoria di Kondratieff prevede che i bisogni fondamentali della quinta fase ciclica, in cui è collocabile la nostra attuale crescita sociale ed economica, non riguardino più la produzione di beni materiali, bensì la soluzione dei problemi legati alla tutela dell'ambiente. Di conseguenza la tendenza futura sarà più all'insegna dell'attuazione dei servizi immateriali, come ad esempio lo sviluppo di reti per lo scambio del sapere. Avendo tali reti già raggiunto un alto grado di efficienza, più che a un deficit di conoscenze siamo di fronte a una carenza di strumenti e di strategie per tradurre il nostro sapere in azioni concrete.

L'architettura sostenibile è l'architettura che, integrando nell'edificio strutture tecnologie appropriate, conferisce priorità alle finalità progettuali determinate dall'esigenza di efficienza energetica, di riduzione dell'impatto ambientale e di miglioramento della salute, del comfort e della qualità della fruizione degli utenti/abitanti.

Il 40% circa dei gas responsabili dell'effetto serra deriva dalla costruzione e dall'uso di edifici, che contribuiscono così in misura massiccia al riscaldamento globale. Nei paesi industrializzati viene utilizzato circa il 40% dell'energia totale per il funzionamento degli edifici, a cui si aggiunge il 10% per la produzione di materiali, il loro trasporto e il processo costruttivo. Il settore edilizio utilizza il 50% circa di tutto il materiale che viene estratto sul pianeta. L'attività edilizia partecipa per il 60% alla produzione di rifiuti.

1.2. La casa passiva

Il fabbisogno energetico di un edificio è la somma dell'energia necessaria per il riscaldamento invernale, il raffrescamento estivo, la ventilazione e l'illuminazione

degli ambienti interni.

La casa passiva o Passivhaus, secondo il termine originale tedesco, è un'abitazione che assicura il benessere termico senza alcun impianto di riscaldamento "convenzionale", ossia caldaia e termosifoni.



Fig. 1.1 - Insediamento di case passive di a Salisburgo, 2006 (sps-architekten).

Nate in Svezia, le case passive sono diffuse principalmente in Germania, in Austria e Olanda in altri paesi nord-europei. L'istituto di case passive tedesco PHI (Darmstadt) considera una costruzione passiva se questa soddisfa i seguenti requisiti (quantitativi):

fabbisogno energetico utile richiesto per il riscaldamento $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

fabbisogno energetico utile richiesto per il raffrescamento $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

carico termico invernale $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$

carico termico estivo $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$

tenuta all'aria $n_{50} \leq 0,6/\text{h}$

fabbisogno energetico primario di energia $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

L'energia necessaria a pareggiare il bilancio termico dell'edificio è fornita con sistemi non convenzionali, come i pannelli solari; l'impianto di riscaldamento convenzionale si può eliminare se il fabbisogno energetico della casa è molto basso,

convenzionalmente inferiore a 15 kWh al m² anno. Queste prestazioni si ottengono con una progettazione molto attenta, specie nei riguardi del sole, con l'adozione di isolamento termico ad altissime prestazioni su murature perimetrali, tetto e superfici vetrate, e mediante l'adozione di sistemi di ventilazione controllata a recupero energetico.

1. 3. Strategie per l'efficienza energetica degli edifici

Un edificio energeticamente efficiente presenta alte prestazioni energetiche, grazie a caratteristiche costruttive, tipologiche ed impiantistiche finalizzate al risparmio energetico e alla riduzione di emissione di CO₂.



Fig. 1.2 - Ventilazione libera mediante ala di Venturi nel Padiglione per fiere ad Hannover, 1999 (Herzog + Partner)



Fig. 1.3 - Camino solare in un'abitazione privata a Boston (Office dA)

Le misure più elementari di risparmio energetico, e normalmente anche quelle meno costose, consistono nell'adozione di determinati accorgimenti bioclimatici, come l'orientamento della casa rispetto al sole e ai venti, la forma architettonica, la disposizione e le dimensioni delle finestre, nonché la scelta dei materiali in funzione delle loro caratteristiche termiche.



Fig. 1.4 - Il Mercador Sport Plaza ad Amsterdam (Venhoeven)



Fig. 1.5 - Il Quartiere Vauban a friburgo (Kollhof)



Figg. 1.6 - Residenze Pragma a Montpellier (Edouard Francois)

La politica di risparmio energetico punta, soprattutto, ad un migliore isolamento termico degli edifici e a un maggiore utilizzo di tecnologie ad alta efficienza, nonché all'impiego di fonti rigenerabili. In un edificio energeticamente efficiente l'involucro edilizio è progettato per limitare il fabbisogno energetico. L'energia scambiata con l'esterno è controllata dal giusto grado di coibentazione delle parti opache e dalla scelta di parti trasparenti ad alte prestazioni. In generale si prediligono soluzioni costruttive che prevedono elevati livelli di isolamento e inerzia termica.

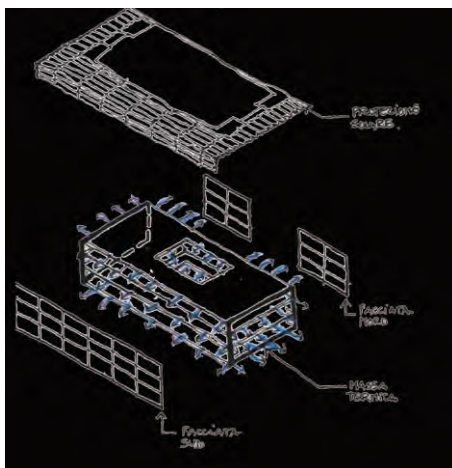
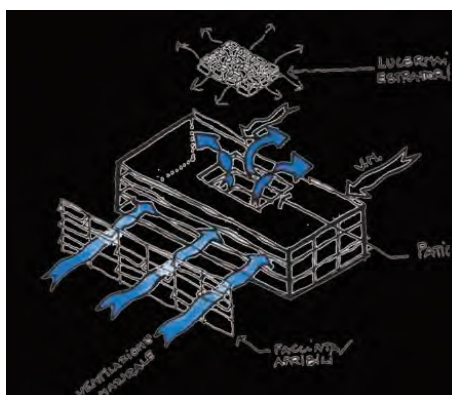
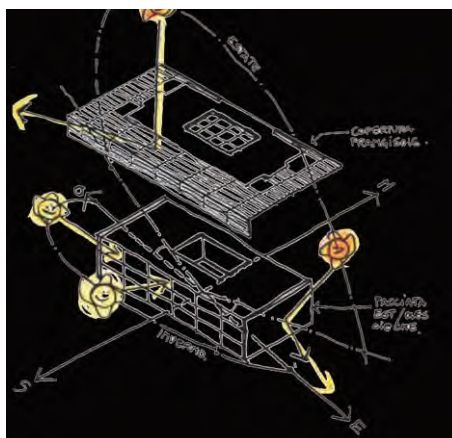
L'isolamento termico degli edifici è una delle misure di risparmio energetico più efficiente; esso rallenta la diffusione di calore attraverso l'involucro (muri, tetti, finestre) dell'edificio e riduce quindi la quantità di energia necessaria per il riscaldamento invernale e per il raffrescamento estivo. Un sufficiente isolamento termico si ottiene mediante l'impiego di materiali che possiedono una bassa conducibilità termica (λ). Quanto più basso è il valore λ di un materiale, tanto migliore è la sua proprietà termoisolante. L'involucro di un edificio è normalmente costituito da vari strati di materiali e quindi la sua conducibilità globale dipende dallo spessore e dalla conducibilità dei singoli strati. La conducibilità globale viene espressa dal coefficiente di trasmissione termica globale $U=W/m^2K$ che indica la quantità di calore che passa, nell'unità di tempo (h), attraverso 1 m² di un elemento costruttivo quando la differenza di temperatura dell'aria aderente alle due facce è di 1K.

L'isolamento termico può essere applicato all'esterno, in intercapedine o all'interno dell'involucro. Gli impianti di una casa energetica sono progettati per consumare poca energia (alti rendimenti, recupero di calore e così via). Gli impianti a energia fossile sono integrati o sostituiti totalmente con impianti a energia rinnovabile (energia solare, energia geotermica, energia eolica).

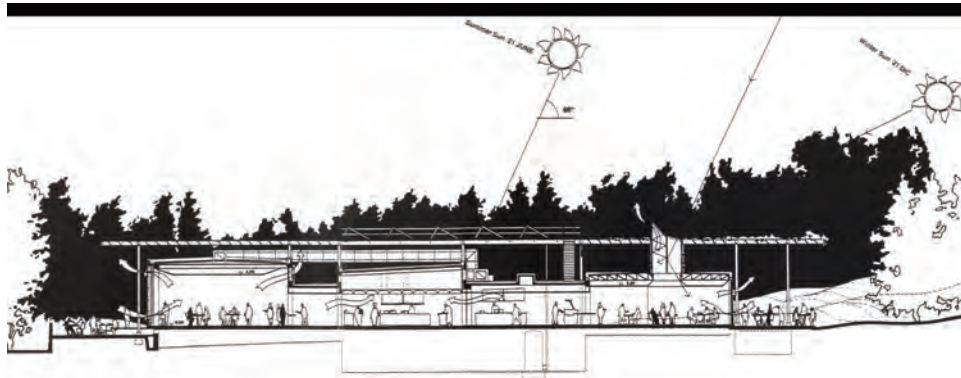
Un edificio energeticamente efficiente non potrà, inoltre, prescindere dallo sfruttamento dell'energia solare tramite l'uso dei pannelli solari e dei pannelli fotovoltaici. I primi vengono utilizzati per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria, da poter sfruttare ottimamente anche per il riscaldamento, grazie all'installazione del pavimento radiante: quest'ultimo utilizza una temperatura dell'acqua inferiore a quella dei termosifoni, temperatura di circa 40-50 C°, proprio quella prodotta dai pannelli solari; i pannelli fotovoltaici, invece, servono per la produzione di energia elettrica.



Fig. 1.7 - Il centro direzionale Guzzini (Mario Cucinella)



Figg.. 1.8 - Schizzi per il Centro direzionale Guzzini (Mario Cucinella)



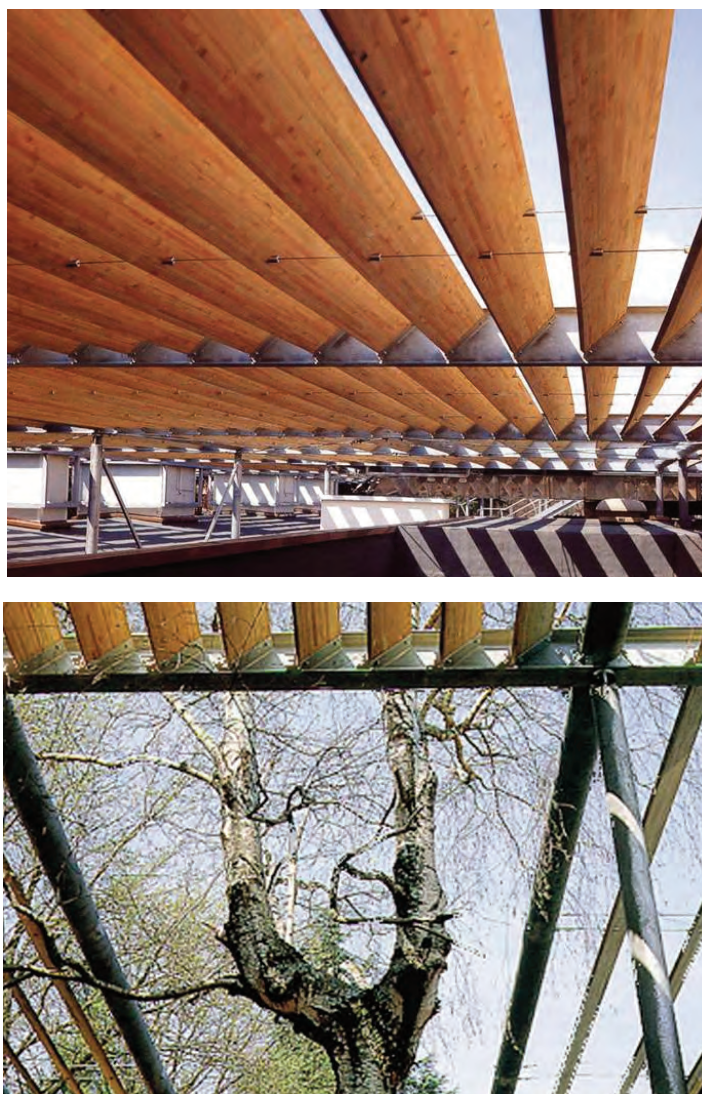
Figg. 1.9 - L'eco-centre a Ispra (Mario Cucinella)

Di seguito vengono riassunte le principali misure di risparmio energetico:

- sceita del terreno in rapporto alle condizioni climatiche locali;
- progettazione secondo i criteri bioclimatici;
- sufficiente isolamento termico dell'edificio;
- impiego di tecnologie ad alta efficienza (caldaie a condensazione, apparecchiature a basso consumo energetico);

impiego di tecnologie che usano energie rinnovabili.

Tutte queste misure le troviamo applicate nei cosiddetti edifici a basso consumo energetico. Lo standard di questi edifici prevede un fabbisogno termico compreso tra 30 e 70 kWh/(m²a), corrispondente a meno della metà di quello attuale degli edifici convenzionali. Questo risparmio energetico si ottiene con un isolamento termico estremamente efficace e lo sfruttamento passivo e attivo degli apporti energetici solari.



Figg. 1.10 - Prticolari dell'eco-centre a Ispra (Mario Cucinella)



Figg. 1.11 - Il Westfield student village- residenza per studenti a Londra (Fielden Celgg Bradley Studios)

CAPITOLO 2

L'efficienza energetica dell'involucro edilizio

Francesca Scalisi

2. 1. L'involucro edilizio

Le prestazioni energetiche dell'involucro edilizio indicano il comportamento degli elementi costruttivi che costituiscono le "chiusure" di un edificio, rispetto a sollecitazioni indotte da azioni termiche e igrometriche.

Le prestazioni dell'involucro devono garantire il comfort termico e igrometrico degli spazi confinati e il contenimento dei consumi energetici mediante il soddisfacimento dei seguenti requisiti prestazionali:

1. Mantenimento della temperatura dell'aria negli spazi abitativi nelle stagioni di esercizio degli impianti di riscaldamento entro i limiti di legge di 20 – 22 °C.

2. Mantenimento delle condizioni di comfort termico negli ambienti interni nel periodo estivo.

1. Controllo dei fenomeni di condensa superficiale e interstiziale

2. Controllo della combinazione "Temperatura – Umidità – Ventilazione"

3. Resistenza termica e inerzia termica ai fini del risparmio energetico e del comfort ambientale interno.

L'involucro si svincola dalla struttura portante dell'edificio e diviene elemento di chiusura chiamato a regolare prevalentemente i flussi energetici legati al passaggio di calore, alla trasmissione della luce per un'adeguata illuminazione degli ambienti interni ed alla protezione della radiazione solare nei mesi con le temperature più elevate. Le soluzioni tecnologiche e la scelta dei materiali si orientano verso quei sistemi tecnologici che riescono a governare tali scambi termici e luminosi, garantendo al contempo i requisiti estetici dettati dai nuovi linguaggi architettonici.

Le prestazioni energetiche dell'intero organismo edilizio dipendono dall'efficienza dell'involucro chiamato a circoscriverlo, se le componenti di chiusura (verticali, orizzontali, trasparenti, opache) non sono state progettate e realizzate in maniera consona alle prestazioni energetiche dell'edificio, le dispersioni dei flussi di calore passanti attraverso le stesse ne comprometteranno i consumi energetici finali.

Le dispersioni termiche che avvengono sotto forma di calore, dipendono dalla differenza di temperatura tra la faccia interna e esterna dell'involucro stesso e dalla resistenza termica del materiale (o combinazione di materiali) dei quali è fatto l'involucro. I materiali componenti un involucro che separa due ambienti a temperature differenti offrono una resistenza al passaggio del calore che varia in relazione diretta allo spessore del materiale e in relazione inversa alla sua 'facilità' a trasmet-

tere il calore (trasmittanza).

Le perdite di calore attraverso l'involucro possono essere ridotte attraverso le seguenti strategie:

- utilizzare la massa termica;
- prevenire la conduzione di calore aggiungendo isolamento termico all'involucro per incrementare la sua resistenza termica;
- progettare l'edificio in un modo più compatto per ridurre la superficie complessiva, attraverso la quale il calore può essere trasmesso;
- aggiungere barriere al flusso di calore radiativo attraverso, per esempio, la posa di fogli in alluminio dietro i radiatori e usando vetri isolanti ed a bassa emissività come pure isolare i cassonetti delle finestre e porte laddove sono presenti le avvolgibili esterne.

2. 2. L'isolamento termico degli edifici

L'isolamento termico in edilizia consiste, principalmente, nel contenere il calore all'interno degli edifici.

L'isolamento termico di un determinato materiale corrisponde alla conducibilità termica ed ha la stessa unità di misura, il Lambda λ , espresso in W/mK.

Se invece consideriamo un elemento costruttivo nel suo insieme parliamo del coefficiente totale di trasmissione termica U (espresso in W/m²K):

Gli isolanti vengono utilizzati nelle costruzioni per ridurre lo scambio di calore tra l'interno e l'esterno, L'isolante termico utilizzato per raggiungere l'obiettivo deve fornire un elevato livello di prestazioni di resistenza al passaggio del calore e, inserito all'interno di un sistema di involucro edilizio, è in grado di contribuire al raggiungimento del benessere termico interno e alla riduzione delle dispersioni termiche con la conseguente riduzione del fabbisogno energetico dell'intero edificio. Ciò si determina in base alla conducibilità termica del materiale, espressa in W/m•K, che indica, appunto, il flusso di calore che, in condizioni stazionarie, passa attraverso uno strato unitario di materiale in presenza di una differenza unitaria di temperatura tra le due facce opposte del materiale considerato. La conduttività dipende dalla porosità e dal contenuto igrometrico del materiale.

La trasmittanza termica ($U=W/m^2K$), o coefficiente globale di trasmissione del calore interno-esterno viene definita dalla Norma UNI 7357 come il «flusso di calore che passa da un locale all'esterno (o ad un altro locale) attraverso una parete

per mq di superficie della parete stessa e per K di differenza tra la temperatura del locale e la temperatura esterna, o del locale contiguo».

Particolare attenzione deve inoltre essere data alle prestazioni termiche dell'involucro edilizio nei mesi estivi. Nel corso della stagione estiva, in particolare durante le successioni di giornate caratterizzate da valori elevati di temperatura e di intensità d'irraggiamento solare, gli involucri edilizi dovrebbero essere progettati e realizzati in modo tale da assicurare condizioni ambientali di sufficiente benessere termoigrometrico all'interno degli ambienti, anche in assenza di impianti di condizionamento. A tale scopo, assumono particolare importanza: il sistema di protezione dall'irraggiamento solare (schermi, aggetti, alberi ecc.); l'inerzia termica delle pareti opache dell'edificio, quantificabile in base all'attenuazione (s) dell'ampiezza delle variazioni della temperatura superficiale interna rispetto a quella ambientale esterna, e al ritardo di fase (f), cioè all'intervallo di tempo con cui le variazioni di temperatura esterna si trasmettono all'interno (ore).

Esistono diversi tipi di materiali isolanti, classificabili in naturali, minerali e di sintesi, come riportato nelle seguenti tabelle:

Tab. 1 - Materiali isolanti naturali riciclabili

materiale	λ[W/mK]
argilla cruda	0,132
calce espansa	0,045
canapa	0,040
canna legata	0,056
carta riciclata	0,070
cocco	0,057
fibra di legno	0,040
fibra di legno intonacabile	0,045
lana di legno mineralizzata	0,100
lana di pecora	0,040
lino	0,040
paglia	0,058
sughero espanso	0,040
sughero granulato	0,040

Tab. 2 - Materiali isolanti minerali di alto impatto ambientale

materiale	λ[W/mK]
lana di roccia	0,040
lana di vetro	0,040
lana di vetro compattat	0,040
silicato di calcio	0,050
vetro alveolare	0,045

Tab. 3 - Materiali isolanti di sintesi (ricavati dal petrolio)

materiale	λ[W/mK]
poliestere	0,040
polistirene espanso	0,035
polistirene espanso con grafite	0,031
polistirene estruso	0,035
poliuretano	0,030

2. 3. La certificazione energetica degli edifici

La necessità di regolare i flussi di energia che passano attraverso l'involucro ha influenzato la stesura delle recenti normative in materia di risparmio energetico, sia di matrice internazionale che di matrice nazionale. Isolamento termico e inerzia termica delle componenti costituenti il limite fisico tra ambiente interno ed esterno sono i parametri fondamentali su cui si basano tali riferimenti normativi. Alla luce della necessità di ridurre i carichi energetici dell'edificio è stato indispensabile individuare buone pratiche del costruire finalizzate all'implementazione delle caratteristiche tecnologiche dell'involucro edilizio, ridefinito come componente dinamica dal punto di vista energetico capace di regolare positivamente i flussi di energia entranti ed uscenti dall'ambiente edilizio.

La Direttiva europea 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia, ha dato impulso a un rinnovamento legislativo, che in Italia ha prodotto, a livello nazionale, il Decreto 19 agosto 2005 n.192, corretto e integrato dal Decreto 29 dicembre 2006, n.311.

Le tematiche centrali su cui si articolano le politiche normative di riqualificazione del pacchetto edilizio si identificano in relazione alle caratteristiche intrinseche dell'involucro edilizio e degli impianti a servizio dell'edificio, e volgono alla riduzione dell'impatto energetico del sistema architettonico.

Il Decreto Legislativo 192/2005 stabiliva una serie di misure dirette a ridurre il consumo di energia di tutti gli edifici presenti sul territorio italiano, introducendo la Certificazione energetica degli edifici, dove sono riportati i dati di riferimento che consentano ai consumatori di valutare e raffrontare il rendimento energetico dell'edificio. Successivamente il Decreto Legislativo 311/2006 modifica la disciplina della certificazione energetica e la metodologia di calcolo per il rendimento energetico degli edifici, estendendo la certificazione energetica a tutti gli edifici, sia nuovi sia esistenti.

Le direttive richiedono agli stati membri di provvedere affinché gli edifici di nuova costruzione e quelli esistenti sottoposti a ristrutturazioni importanti soddisfino requisiti minimi di rendimento energetico, monitorando “la quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio, compresi, fra gli altri, il riscaldamento e il raffreddamento”. L'Attestato di Certificazione Energetica deve essere messo a disposizione in fase di costruzione, compravendita o locazione.

Il D.Lgs. 192/2005 stabiliva la trasmittanza termica delle strutture verticali e orizzontali opache, nonché delle strutture trasparenti, in base alla zona climatica di appartenenza. Il Decreto Legislativo 311/2006, stabilisce valori ancora più bassi di trasmittanza, entrati in vigore dal 1° gennaio 2010.

Di seguito riportiamo le tabelle relative alla trasmittanza termica delle strutture verticali e orizzontali opache e delle strutture trasparenti inserite nel Decreto Legislativo 311/2006:

Tab. 4 - Valori limite, della trasmittanza termica U delle strutture opache verticali espressa in W/m^2K

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2010 U (W/m^2K)
A	0,62
B	0,48
C	0,40
D	0,36
E	0,34
F	0,33

Tab. 5 - Valori limite, della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura espressa in W/m^2K

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2010 U (W/m^2K)
A	0,38
B	0,38
C	0,38
D	0,32
E	0,30
F	0,29

Tab. 6 - Valori limite, della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento espressa in W/m²K

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2010 U (W/m²K)
A	0,65
B	0,49
C	0,42
D	0,36
E	0,33
F	0,32

Tab. 7 - Valori limite, della trasmittanza termica U delle strutture trasparenti comprensive degli infissi espressa in W/m²K

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2010 U (W/m²K)
A	4,6
B	3,0
C	2,6
D	2,4
E	2,2
F	2,0

Tab. 8 - Valori limite, della trasmittanza termica U dei vetri espressa in W/m²K

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2010 U (W/m²K)
A	3,7
B	2,7
C	2,1
D	1,9
E	1,7
F	1,3

Di seguito sono riportati alcuni esempi di strutture verticali e orizzontali opache e di strutture trasparenti che soddisfano i requisiti sopra riportati; la simulazione è stata effettuata con il software *Termus* in un edificio nella città di Palermo.

I gradi giorno del Comune dell'intervento sono 751 GG, determinati in base al D.P.R. 412 del 26/08/93 e successive modifiche ed integrazioni.

La Zona climatica in cui ricade l'opera in oggetto è "B", pertanto il periodo di riscaldamento previsto per legge è di giorni 121 e precisamente dal 1/12 al 31/3.

La temperatura minima di progetto dell'aria esterna secondo norma UNI 5364 e successivi aggiornamenti è di 5.00 °C.

Le temperature medie mensili determinate in base alla norma UNI 10349 sono le seguenti:

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
11.10	11.60	13.10	15.50	18.80	22.70	25.50	25.40	23.60	19.80	16.00	12.60

Le irradiazioni medie mensili relative al periodo di riscaldamento determinate in base alla norma UNI 10349 sono le seguenti:

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Oriz
Gen	2.40	2.80	5.80	9.50	11.90	9.50	5.80	2.80	7.70
Feb	3.20	4.30	8.10	11.40	13.30	11.40	8.10	4.30	11.10
Mar	4.30	6.70	10.90	13.10	13.40	13.10	10.90	6.70	15.70
Apr	5.90	9.80	13.80	13.90	11.70	13.90	13.80	9.80	20.80
Mag	8.40	12.90	16.10	14.10	10.10	14.10	16.10	12.90	25.20
Giu	10.30	14.70	17.50	14.00	9.30	14.00	17.50	14.70	27.90
Lug	9.50	14.40	17.70	14.60	9.80	14.60	17.70	14.40	27.90
Ago	6.80	12.10	16.60	15.80	12.00	15.80	16.60	12.10	25.20
Set	4.60	8.40	13.60	15.40	14.50	15.40	13.60	8.40	19.60
Ott	3.60	5.20	9.80	13.40	15.20	13.40	9.80	5.20	13.50
Nov	2.70	3.30	7.10	11.30	14.10	11.30	7.10	3.30	9.30
Dic	2.20	2.50	5.30	8.70	11.00	8.70	5.30	2.50	6.90

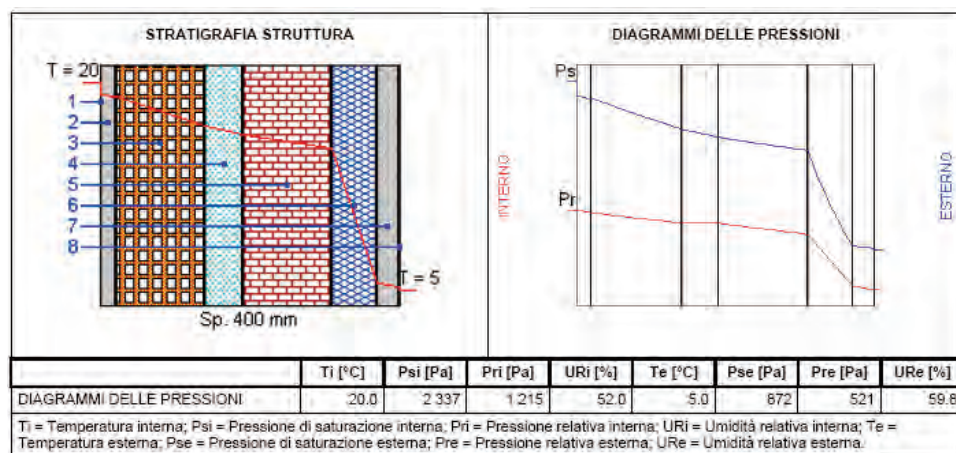
Le Umidità Relative medie mensili esterne determinate in base alla norma UNI 10349 sono le seguenti:

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
67.20	66.00	54.70	60.50	58.00	61.00	54.30	56.60	63.50	63.60	63.90	63.60

Caratteristiche termo igrometriche dei componenti opachi verticali

Tamponatura con camera d'aria, realizzata con entrambi i paramenti costituiti da mattoni forati: progettata per l'esposizione a Nord, a Est e a Ovest

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [Kg/m²]	P<50*10 ¹² [Kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Interna	0		7.700			0.130
2	Intonaco di calce e gesso.	20	0.700	35.000	28.00	18.000	0.029
3	Mattono forato di laterizio (250*120*250) spessore 120	120		3.226	86.00	20.570	0.310
4	Strato d' aria verticale - spessore tra 2 cm. e 10 cm.	50	0.550	11.000	0.07	193.000	0.091
5	Mattono pieno di laterizio (250*120*50) spessore 120	120		6.667	216.00	20.570	0.150
6	Polistirene espanso estruso (senza pelle) - mv.30	60	0.041	0.678	1.80	2.080	1.474
7	Intonaco di calce e gesso.	30	0.700	23.333	42.00	18.000	0.043
8	Adduttanza Esterna	0		25.000			0.040
RESISTENZA = 2.266 m²K/W		TRASMITTANZA = 0.441 W/m²K			TRASMITTANZA LIMITE = <nessuna>		
SPESSORE = 400 mm		MASSA SUPERFICIALE = 304 kg/m²					
s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10 ¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmissione = Valori di resistenza e trasmissione reali; Trasmissione Limite = Valore limite da normativa; Massa Superficiale = Valore calcolato							



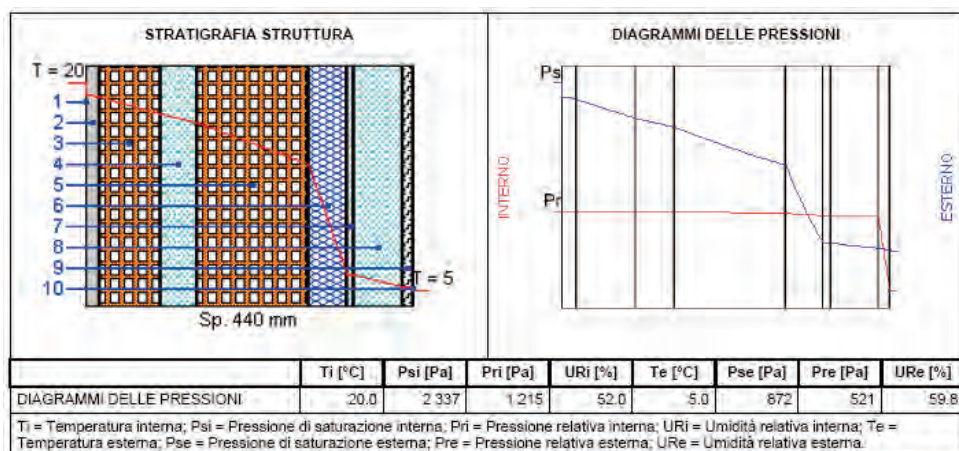
La trasmittanza termica è di 0,441 W/m²K.

Il valore limite della trasmittanza termica delle strutture orizzontali opache nella zona climatica B è: $U = 0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tamponatura con camera d'aria, realizzata con entrambi i paramenti costituiti da mattoni forati: progettata per l'esposizione a Sud

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [Kg/m²]	P<50°10¹² [Kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Interna	0		7.700			0.130
2	Malta di calce o di calce e cemento.	20	0.900	45.000	36.00	8.500	0.022
3	Mattone forato di laterizio (250*80*250) spessore 80	80		5.000	62.00	20.570	0.200
4	Strato d' aria verticale - spessore tra 2 cm. e 10 cm.	50	0.550	11.000	0.07	193.000	0.091
5	Mattone forato di laterizio (250*150*250) spessore 150	150		2.222	114.00	20.570	0.450
6	Polistirene espanso estruso (senza pelle) - mv.30	50	0.041	0.814	1.50	2.080	1.229
7	Malta di calce o di calce e cemento.	10	0.900	90.000	18.00	8.500	0.011
8	Strato d' aria verticale - spessore tra 2 cm. e 10 cm.	65	0.550	8.462	0.08	193.000	0.118
9	Marmo.	15	3.000	200.000	40.50	0.019	0.005
10	Adduttanza Esterna	0		25.000			0.040
RESISTENZA = 2.296 m²K/W		TRASMITTANZA = 0.436 W/m²K			TRASMITTANZA LIMITE = <nessuna>		
SPESSORE = 440 mm		MASSA SUPERFICIALE = 236 kg/m²					

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50°10¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmissione = Valori di resistenza e trasmissione reali; Trasmissione Limite = Valore limite da normativa; Massa Superficiale = Valore calcolato



La trasmittanza termica è di 0,436 W/m²K.

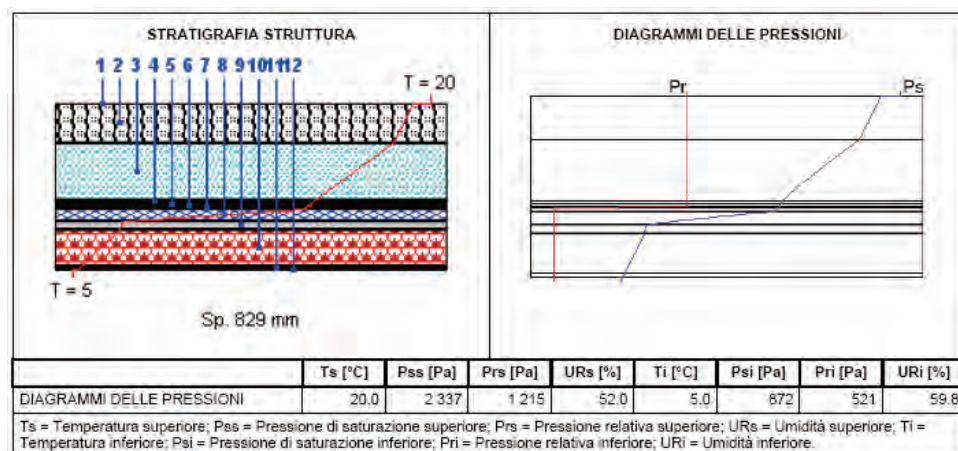
Il valore limite della trasmittanza termica delle strutture verticali opache nella zona climatica B è: $U = 0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Caratteristiche termo igrometriche dei componenti opachi orizzontali

Solaio di copertura con isolamento temico

N.	DESCRIZIONE STRATO (da superiore a inferiore)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [Kg/m²]	P<50*10 ⁻¹² [Kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Superiore	0		7.700			0.130
2	Ghiaia grossa senza argilla.	200	1.200	6.000	340.00	37.500	0.167
3	Strato d' aria orizzontale (flusso disc.) - spessore tra 2 cm e 10 cm	280	0.450	1.607	0.36	193.000	0.622
4	Piastrelle.	15	1.000	66.667	34.50	0.940	0.015
5	Malta di calce o di calce e cemento.	10	0.900	90.000	18.00	8.500	0.011
6	Bitume.	4	0.170	42.500	4.80	0.000	0.024
7	Malta di cemento.	20	1.400	70.000	40.00	8.500	0.014
8	Polistirene espanso sinterizzato, in lastre ricavate da blocchi - mv. 30	60	0.042	0.697	1.80	3.150	1.435
9	Malta di cemento.	40	1.400	35.000	80.00	8.500	0.029
10	Blocco da solaio di laterizio (495*160*250) spessore 180	180		3.333	171.00	19.000	0.300
11	Intonaco di calce e gesso.	20	0.700	35.000	28.00	18.000	0.029
12	Adduttanza Inferiore	0		25.000			0.040
RESISTENZA = 2.815 m²K/W		TRASMITTANZA = 0.355 W/m²K			TRASMITTANZA LIMITE = <nessuna>		
SPESSORE = 829 mm		MASSA SUPERFICIALE = 690 kg/m²					

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10⁻¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmittanza = Valori di resistenza e trasmittanza reali; Trasmittanza Limite = Valore limite da normativa; Massa Superficiale = Valore calcolato



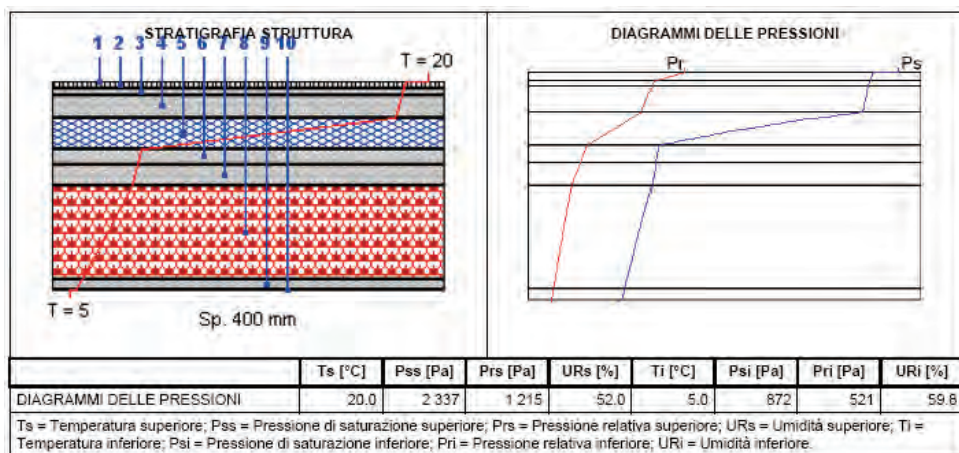
La trasmittanza termica è di 0,355 W/m²K.

Il valore limite della trasmittanza termica delle strutture orizzontali opache di copertura nella zona climatica B è: $U = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Solaio interpiano

N.	DESCRIZIONE STRATO (da superiore a inferiore)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [W/m²K]	M.S. [Kg/m²]	P<50*10 ⁻¹² [Kg/msPa]	R [m²K/W]
1	Adduttanza Superiore	0		7.700			0.130
2	Piastrelle.	15	1.000	66.667	34.50	0.940	0.015
3	Malta di calce o di calce e cemento.	10	0.900	90.000	18.00	8.500	0.011
4	Malta di cemento.	45	1.400	31.111	90.00	8.500	0.032
5	Polistirene espanso estruso (senza pelle) - mv.30	60	0.041	0.678	1.80	2.080	1.474
6	Malta di cemento.	30	1.400	46.667	60.00	8.500	0.021
7	Malta di cemento.	40	1.400	35.000	80.00	8.500	0.029
8	Blocco da solaio di laterizio (495*160*250) spessore 180	180		3.333	171.00	19.000	0.300
9	Intonaco di calce e gesso.	20	0.700	35.000	28.00	18.000	0.029
10	Adduttanza Inferiore	0		25.000			0.040
RESISTENZA = 2.081 m²K/W		TRASMITTANZA = 0.481 W/m²K			TRASMITTANZA LIMITE = <nessuna>		
SPESSORE = 400 mm		MASSA SUPERFICIALE = 455 kg/m²					

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Conduttanza unitaria; M.S. = Massa Superficiale; P<50*10⁻¹² = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmissanza = Valori di resistenza e trasmissanza reali; Trasmissanza Limite = Valore limite da normativa; Massa Superficiale = Valore calcolato



La trasmittanza termica è di 0,481 W/m²K.

Il valore limite della trasmittanza termica delle strutture orizzontali opache di pavimento nella zona climatica B è: U = 0,49 W/m²K.

Caratteristiche termiche delle strutture trasparenti comprensive degli infissi

Finestra con telaio singolo in legno ad una anta, e vetrocamera ad una intercapedine, delle dimensioni: $L = 1.20$ m; $H = 1.40$ m. progettata per l'esposizione a Sud

SERRAMENTO SINGOLO								
DESCRIZIONE	Ag [m ²]	Af [m ²]	Lg [m]	Ug [W/m ² K]	Uf [W/m ² K]	kl [W/mK]	Uw [W/m ² K]	g [-]
INFISSO	1.100	0.580	4.200	2.142	2.901	0.060	2.554	0.60
Ag = Area vetro; Af = Area telaio; Lg = Lunghezza perimetro superficie vetrata; Ug = Trasmittanza termica superficie vetrata; Uf = Trasmittanza termica telaio; kl = Trasmittanza lineica distanziatore (nulla se singolo vetro); Uw = Trasmittanza termica totale serramento; g = Coefficiente di trasmissione solare del vetro.								



COEFFICIENTE RIDUZIONE AREA TELAIO	0.6548
RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA	0.130 m ² K/W
RESISTENZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA	0.040 m ² K/W
CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE INTERNA	7.700 W/m ² K
CONDUTTANZA UNITARIA SUPERFICIALE ESTERNA	25.000 W/m ² K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	0.392 m ² K/W
TRASMITTANZA TOTALE	2.554 W/m ² K
TRASMITTANZA LIMITE DA NORMATIVA	<nessuna>
TRASMITTANZA VETRO TOTALE	2.142 W/m ² K
TRASMITTANZA VETRO LIMITE DA NORMATIVA	<nessuna>

La trasmittanza termica totale è di 2,5541 W/m²K.

Il valore limite della trasmittanza termica delle strutture trasparenti comprensive degli infissi nella zona climatica B è: $U = 3,0$ W/m²K.

Capitolo 3

Verifica del comportamento termico di un edificio con il software ECOTECH

Alberto Maria Lucchesi Palli

Scopo di questa simulazione è studiare, attraverso il software Ecotect, il comportamento termico di un modello costituito da due stanze che hanno la stessa area calpestabile ed uguale superficie finestrata.

Il modello è estrapolato da un progetto di case a schiera. Le stanze sono poste una sopra l'altra: la stanza del piano terra ha una superficie vetrata verticale, la stanza a primo piano, invece, ha tre finestre: una verticale, le altre due sono situate sul tetto spiovente (ad un terzo della distanza dalla parete interna, con lo scopo di fornire luce anche nella parte di stanza più lontana dalla finestra). La zona climatica scelta è quella di Roma.

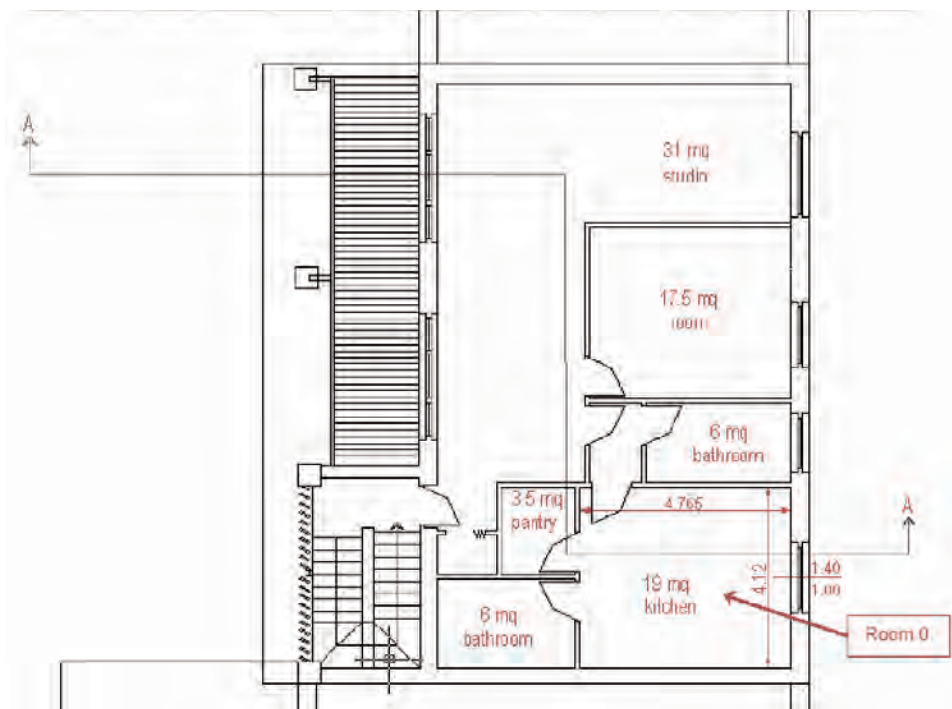


Fig. 3.1 - Pianta piano terra

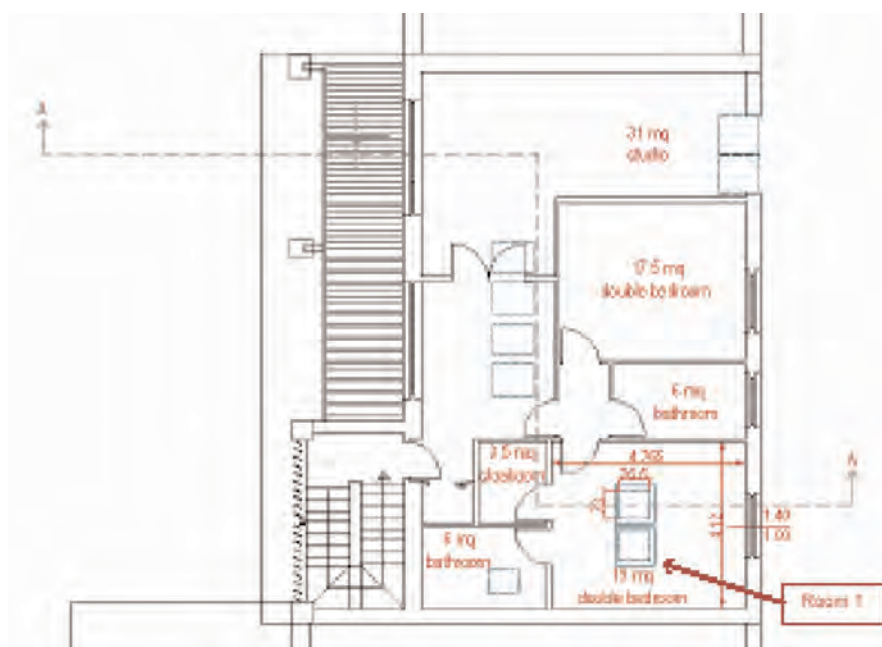


Fig. 3.2 - Pianta piano primo

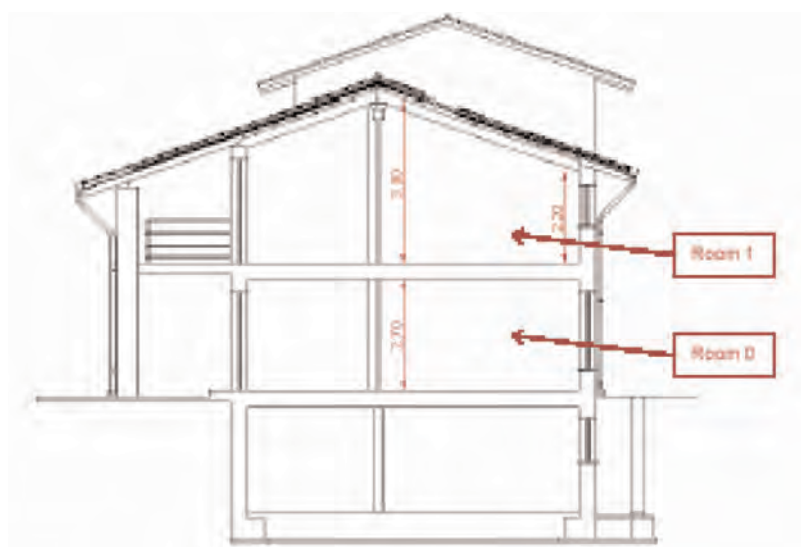


Fig. 3.3 - Sezione dell'edificio

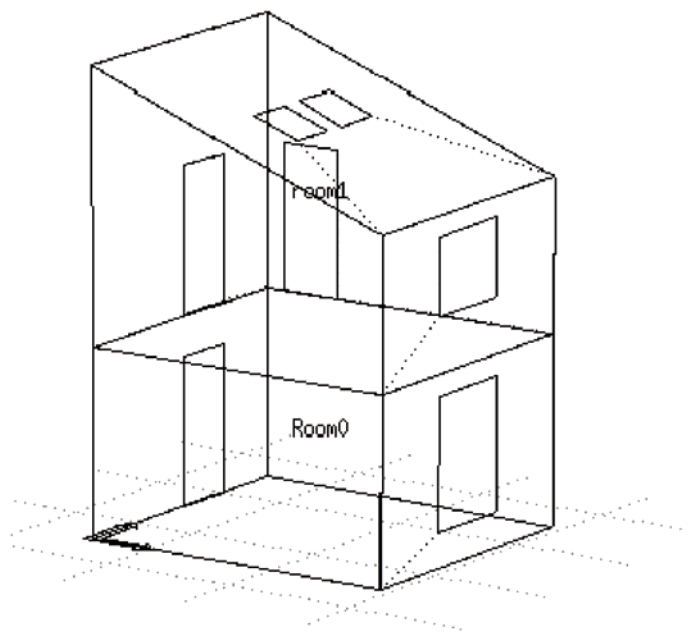


Fig. 3.4 - Costruzione degli ambienti per la simulazione con Ecotect

Dopo aver costruito il modello in Ecotect si è provveduto ad assegnare i materiali ma si è riscontrata la difficoltà di poter creare e sperimentare i pacchetti murari, le coperture e le finestrate. Per ovviare si è deciso di utilizzare delle soluzioni tecnologiche già presenti all'interno della libreria del programma che avessero caratteristiche simili a quelle previste e che rispettassero le disposizioni di legge per il risparmio energetico.

Dopo aver analizzato le varie soluzioni presenti all'interno di ecotect e dopo aver verificato ciò che prevede la normativa per la zona di roma (zona climatica D) si è deciso di utilizzare:

- | | |
|----------------------------------|---|
| - per i muri perimetrali esterni | il ReverseBrickVeneer_R15 con
trasmissione pari a 0,49 W/m ² K |
| - per i muri interni | il BrickCavityConcBlockPlaster con
trasmissione pari a 1,72 W/m ² K |
| - per il solaio di copertura | il MetalDeck_Insulated con trasmissione
pari a 0,55 W/m ² K |

- per i solai intermedi il Plaster_Insulation_Suspended con
trasmissione pari a 0,55 W/m²K
- per le finestre il DoubleGlazed_AlumFrame con
trasmissione pari a 2,7 W/m²K
- per le porte il SolidCore_PineTimber con
trasmissione pari a 2.3 W/m²K

ReverseBrickVeneer_R15		U-Value (W/m ² K): 0.490																
Timber external cladding with R1.5 (50mm) insulation and brick internal.		Admittance (W/m ² K): 4.870																
		Solar Absorption (0-1): 1																
		Transparency (0-1): 0																
		Thermal Decrement (0-1): 0.23																
		Thermal Lag (hrs): 5																
		[SBEM] CM 1: 0																
		[SBEM] CM 2: 0																
		Thickness (mm): 0.3																
		Weight (kg): 0.000																
Building Element: WALL																		
Values given per: Unit Area (m ²)																		
Cost per Unit:	64.3																	
Greenhouse Gas Emission (kg):	0																	
Initial Embodied Energy (Wh):	0																	
Annual Maintenance Energy (Wh):	0																	
Annual Maintenance Costs:	0																	
Expected Life (yrs):	0																	
External Reference 1:	0																	
External Reference 2:	0																	
LCAid Reference:	0																	
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Reflectance ▶</th> <th>Internal</th> <th>External</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Colour:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Emissivity:</td> <td>0.9</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>Specularity:</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Roughness:</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>		Reflectance ▶	Internal	External	Colour:			Emissivity:	0.9	0.9	Specularity:	0	0	Roughness:	0	0
Reflectance ▶	Internal	External																
Colour:																		
Emissivity:	0.9	0.9																
Specularity:	0	0																
Roughness:	0	0																
		Set as Default Undo Changes																

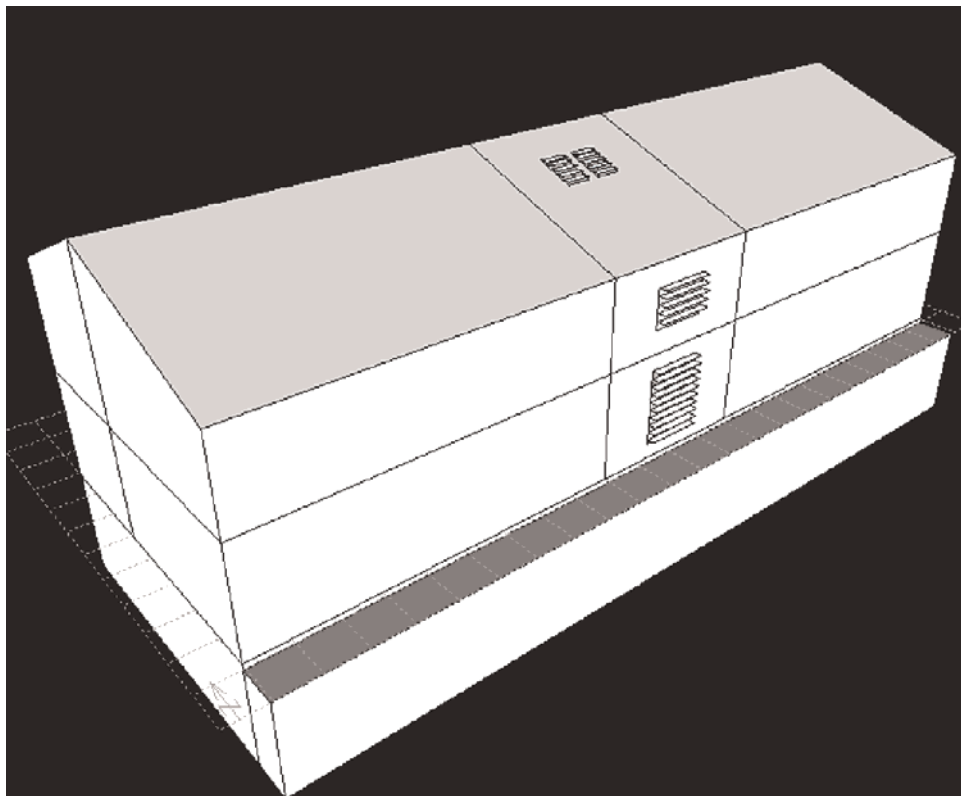
MetalDeck Insulated		U-Value (W/m ² .K): 0.550																
[No Description]		Admittance (W/m ² .K): 1.000																
		Solar Absorption (0-1): 0.5																
		Transparency (0-1): 0																
		Thermal Decrement (0-1): 0.96																
		Thermal Lag (hrs): 0.7																
		[SBEM] CM 1: 0																
		[SBEM] CM 2: 0																
		Thickness (mm): 75.0																
		Weight (kg): 13.000																
Building Element: ROOF																		
Values given per: Unit Area (m ²)																		
Cost per Unit:	82																	
Greenhouse Gas Emission (kg):	0																	
Initial Embodied Energy (Wh):	0																	
Annual Maintenance Energy (Wh):	0																	
Annual Maintenance Costs:	0																	
Expected Life (yrs):	0																	
External Reference 1:	0																	
External Reference 2:	0																	
LCAid Reference:	0																	
		<table border="1"> <tr> <th>Reflectance ▶</th> <th>Internal</th> <th>External</th> </tr> <tr> <td>Colour:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Emissivity:</td> <td>0.89</td> <td>0.89</td> </tr> <tr> <td>Specularity:</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Roughness:</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>		Reflectance ▶	Internal	External	Colour:			Emissivity:	0.89	0.89	Specularity:	0	0	Roughness:	0	0
Reflectance ▶	Internal	External																
Colour:																		
Emissivity:	0.89	0.89																
Specularity:	0	0																
Roughness:	0	0																
		Set as Default 100 Change																

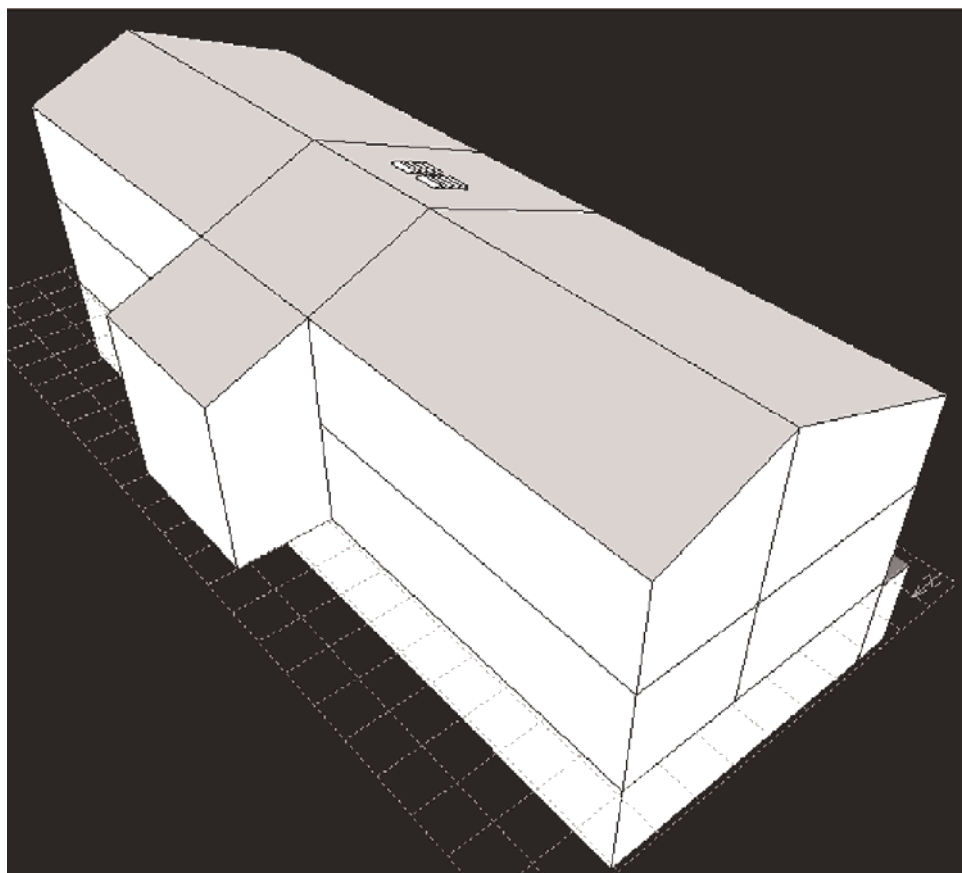
Plaster Insulation Suspended		U-Value (W/m ² .K): 0.500																
10mm suspended plaster board ceiling, plus 50mm insulation, with remainder (150mm) joists as air gap.		Admittance (W/m ² .K): 0.900																
		Solar Absorption (0-1): 0.191765																
		Transparency (0-1): 0																
		Thermal Decrement (0-1): 0.32																
		Thermal Lag (hrs): 0.7																
		[SBEM] CM 1: 0																
		[SBEM] CM 2: 0																
		Thickness (mm): 210.0																
		Weight (kg): 13.295																
Building Element: CEILING																		
Values given per: Unit Area (m ²)																		
Cost per Unit:	0																	
Greenhouse Gas Emission (kg):	0																	
Initial Embodied Energy (Wh):	0																	
Annual Maintenance Energy (Wh):	0																	
Annual Maintenance Costs:	0																	
Expected Life (yrs):	0																	
External Reference 1:	0																	
External Reference 2:	0																	
LCAid Reference:	0																	
		<table border="1"> <tr> <th>Reflectance ▶</th> <th>Internal</th> <th>External</th> </tr> <tr> <td>Colour:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Emissivity:</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Specularity:</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Roughness:</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>		Reflectance ▶	Internal	External	Colour:			Emissivity:	0	0	Specularity:	0	0	Roughness:	0	0
Reflectance ▶	Internal	External																
Colour:																		
Emissivity:	0	0																
Specularity:	0	0																
Roughness:	0	0																
		Set as Default 100 Change																

DoubleGlazed AlumFrame		U-Value (W/m2.K): 2.700																
Double glazed with aluminium frame (no thermal break).		Admittance (W/m2.K): 2.800																
		Solar Heat Gain Coeff. (0-1): 0.81																
		Transparency (0-1): 0.92																
		Refractive Index of Glass: 1.74																
		Alt Solar Gain (Heavywt): 0.42																
		Alt Solar Gain (Lightwt): 0.56																
Building Element: WINDOW		Thickness (mm): 0.0																
Values given per: Unit Area (m²)		Weight (kg): 0.000																
Cost per Unit:	0	<table border="1"> <tr> <td>Reflectance ▶</td> <td>Internal</td> <td>External</td> </tr> <tr> <td>Colour:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Emissivity:</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Specularity:</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Roughness:</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>		Reflectance ▶	Internal	External	Colour:			Emissivity:	0	0	Specularity:	0	0	Roughness:	0	0
Reflectance ▶	Internal			External														
Colour:																		
Emissivity:	0			0														
Specularity:	0			0														
Roughness:	0			0														
Greenhouse Gas Emmission (kg):	0																	
Initial Embodied Energy (Wh):	0																	
Annual Maintenance Energy (Wh):	0																	
Annual Maintenance Costs:	0																	
Expected Life (yrs):	0																	
External Reference 1:	0																	
External Reference 2:	0	Set as Default Load Changes																
LCAid Reference:	0																	

SolidCore PineTimber		U-Value (W/m2.K): 2.310																
40mm thick solid core pine timber door.		Admittance (W/m2.K): 3.540																
		Solar Absorption (0-1): 0.191765																
		Transparency (0-1): 0																
		Thermal Decrement (0-1): 0.98																
		Thermal Lag (hrs): 0.4																
		[SBEM] CM 1: 0																
		[SBEM] CM 2: 0																
Building Element: DOOR		Thickness (mm): 40.0																
Values given per: Unit Area (m²)		Weight (kg): 22.000																
Cost per Unit:	0	<table border="1"> <tr> <td>Reflectance ▶</td> <td>Internal</td> <td>External</td> </tr> <tr> <td>Colour:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Emissivity:</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Specularity:</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Roughness:</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>		Reflectance ▶	Internal	External	Colour:			Emissivity:	0	0	Specularity:	0	0	Roughness:	0	0
Reflectance ▶	Internal			External														
Colour:																		
Emissivity:	0			0														
Specularity:	0			0														
Roughness:	0			0														
Greenhouse Gas Emmission (kg):	0																	
Initial Embodied Energy (Wh):	0																	
Annual Maintenance Energy (Wh):	0																	
Annual Maintenance Costs:	0																	
Expected Life (yrs):	0																	
External Reference 1:	0																	
External Reference 2:	0	Set as Default Load Changes																
LCAid Reference:	0																	

Dopo aver assegnato i materiali si è completato il disegno aggiungendo le adiacenze dei due vani da studiare, inserendo quindi gli edifici circostanti ed il vano cantinato.





Una volta costruito il modello si è valutato il comportamento delle due stanze in estate ed in inverno, verificando l'andamento delle temperature durante il corso dell'anno. Si è così osservato che il giorno più caldo è il 7 agosto e quello più freddo l'11 febbraio.

L'analisi termica ha anche permesso di conoscere l'andamento delle temperature nell'arco di un'intera giornata e valutare l'impatto di una ventilazione naturale o forzata.

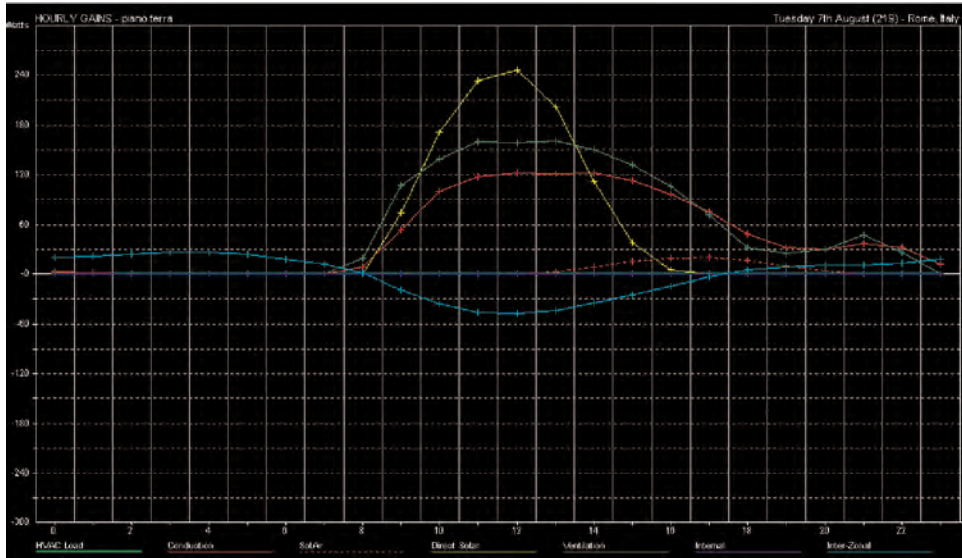
Zone: piano terra – giorno più caldo – 7 agosto

Di seguito sono riportati i valori totali

HVAC 0

FABRIC 1218

SOLAR	1080
VENT.	1358
INTERN	0

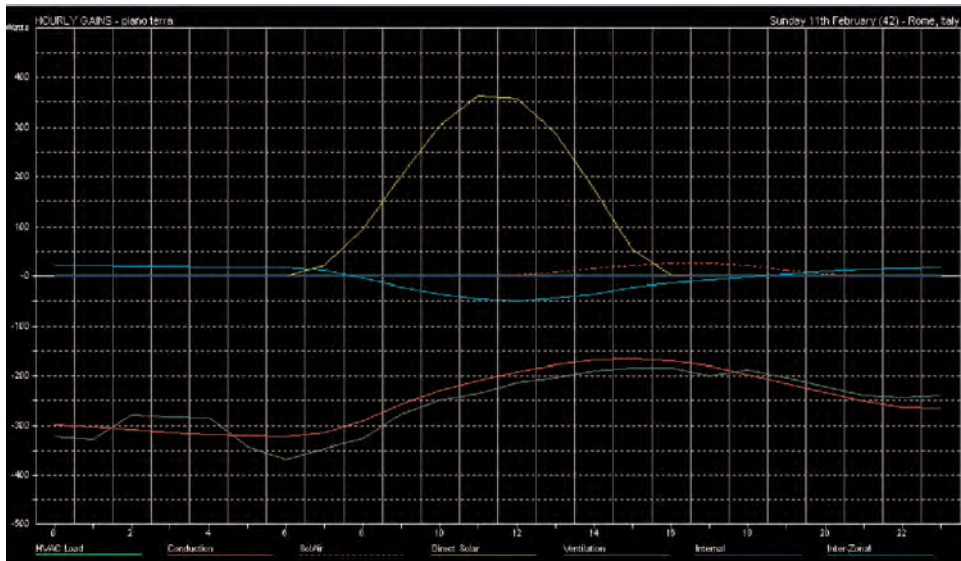


ZONAL	-31
-------	-----

Zone: piano terra giorno più freddo – 11 febbraio

Di seguito sono riportati i valori totali

HVAC	0
FABRIC	-5835
SOLAR	1857
VENT.	-6158
INTERN	0
ZONAL	-69



Altra analisi effettuata è stata quella del confort interno stabilendo in quali mesi bisognerà dare energia per riscaldare e in quali per condizionare

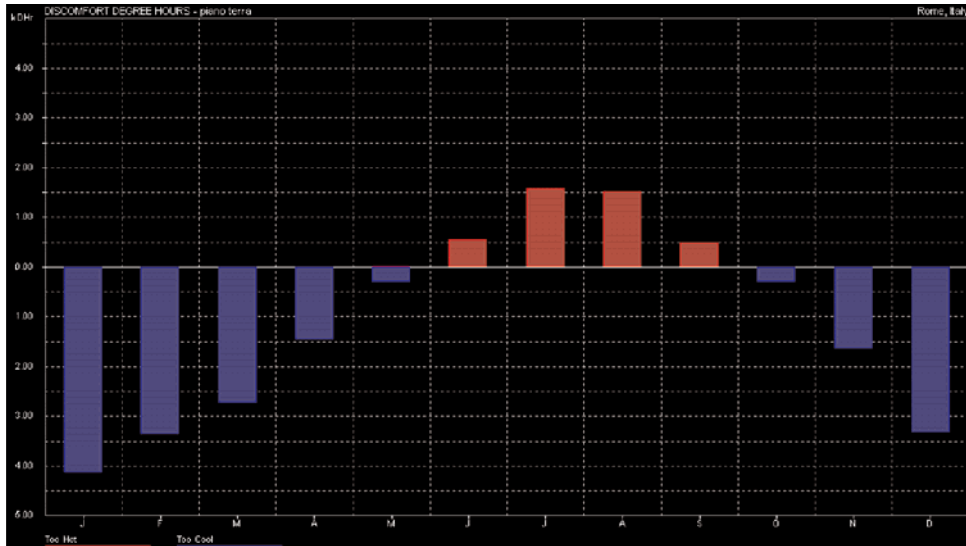
piano terra - discomfort degree hours

Occupancy: Weekdays 00-24, Weekends 00-24.

Comfort: Adaptive - Free Running (± 1.75)

MONTH	TOO HOT (DegHrs)	TOO COOL (DegHrs)	TOTAL (DegHrs)
Jan	0	4141	4141
Feb	0	3372	3372
Mar	0	2730	2730
Apr	0	1470	1470
May	12	297	309
Jun	550	0	550
Jul	1586	0	1586
Aug	1518	0	1518
Sep	493	0	493
Oct	1	302	303

Nov	0	1640	1640
Dec	0	3318	3318
-----	-----	-----	-----
TOTAL	4160	17270	21430



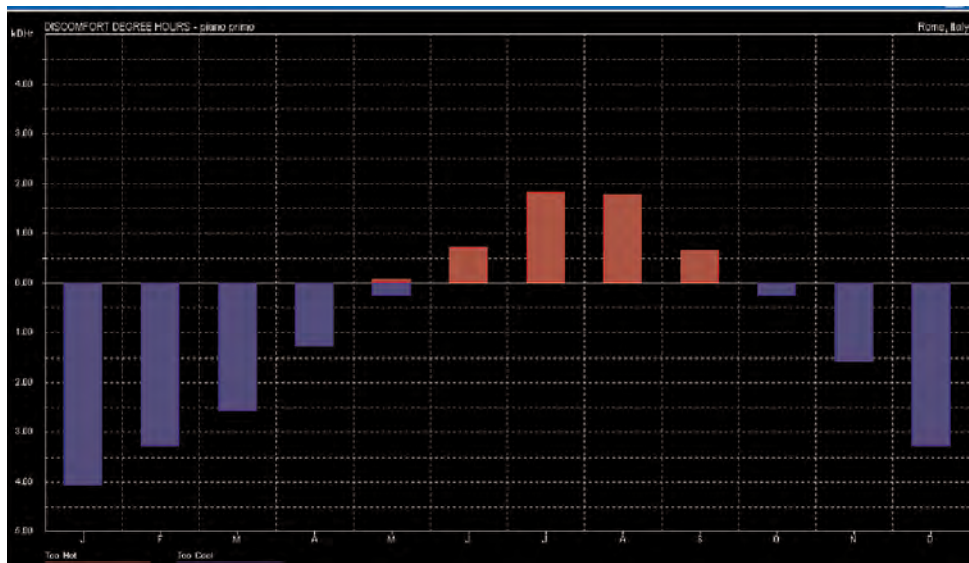
piano primo - discomfort degree hours

Occupancy: Weekdays 00-24, Weekends 00-24.

Comfort: Adaptive - Free Running (± 1.75)

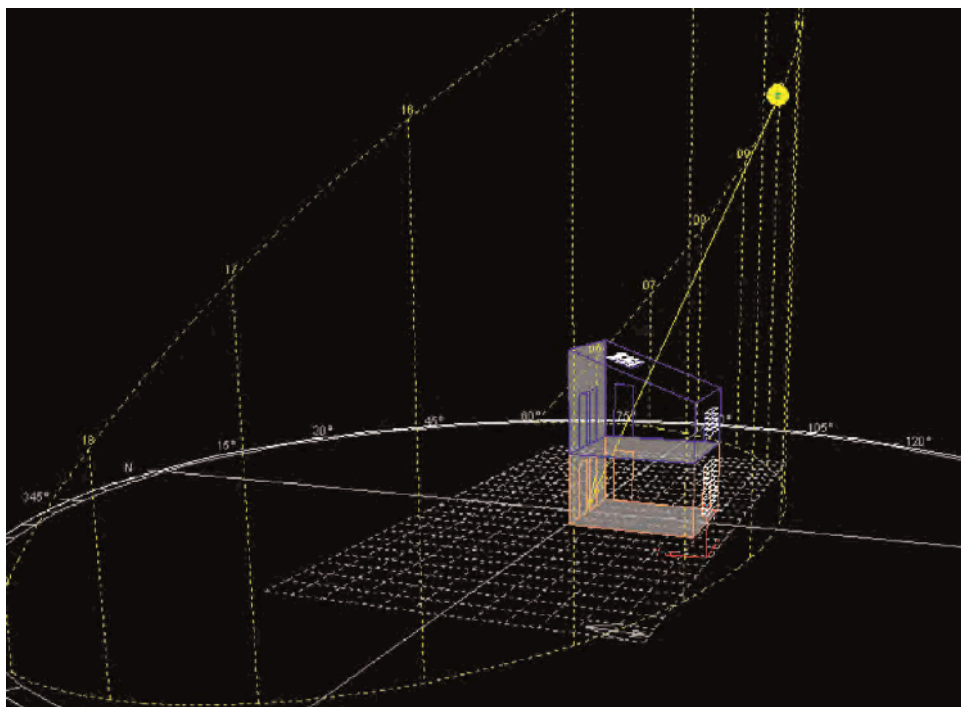
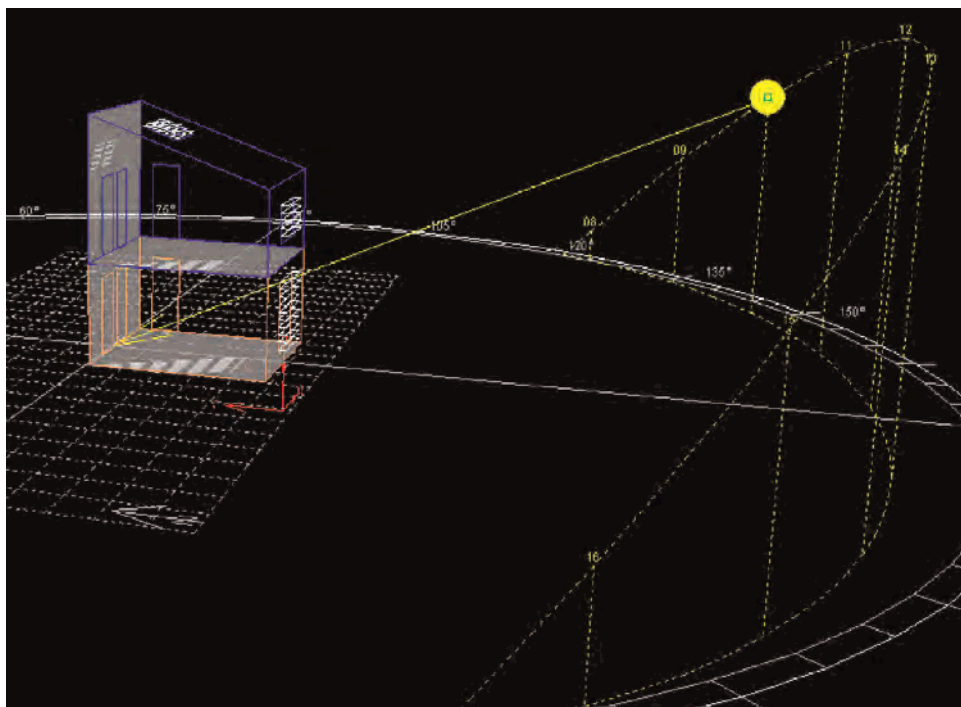
MONTH	TOO HOT (DegHrs)	TOO COOL (DegHrs)	TOTAL (DegHrs)
-----	-----	-----	-----
Jan	0	4084	4084
Feb	0	3285	3285
Mar	0	2580	2580
Apr	0	1290	1290
May	81	254	334
Jun	717	0	717
Jul	1831	0	1831
Aug	1779	0	1779
Sep	648	0	648

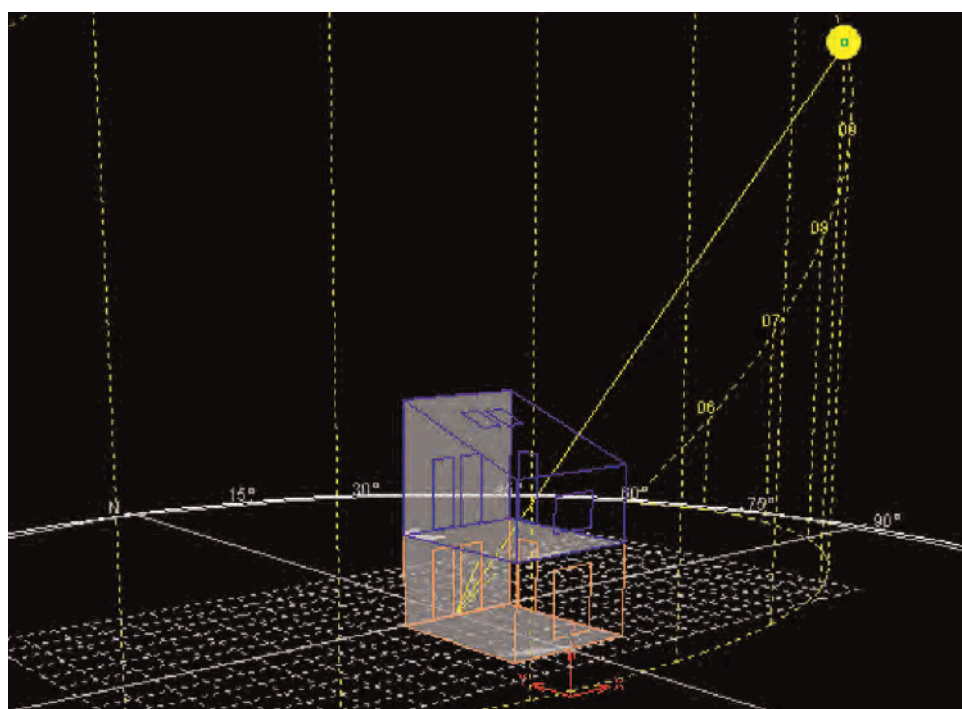
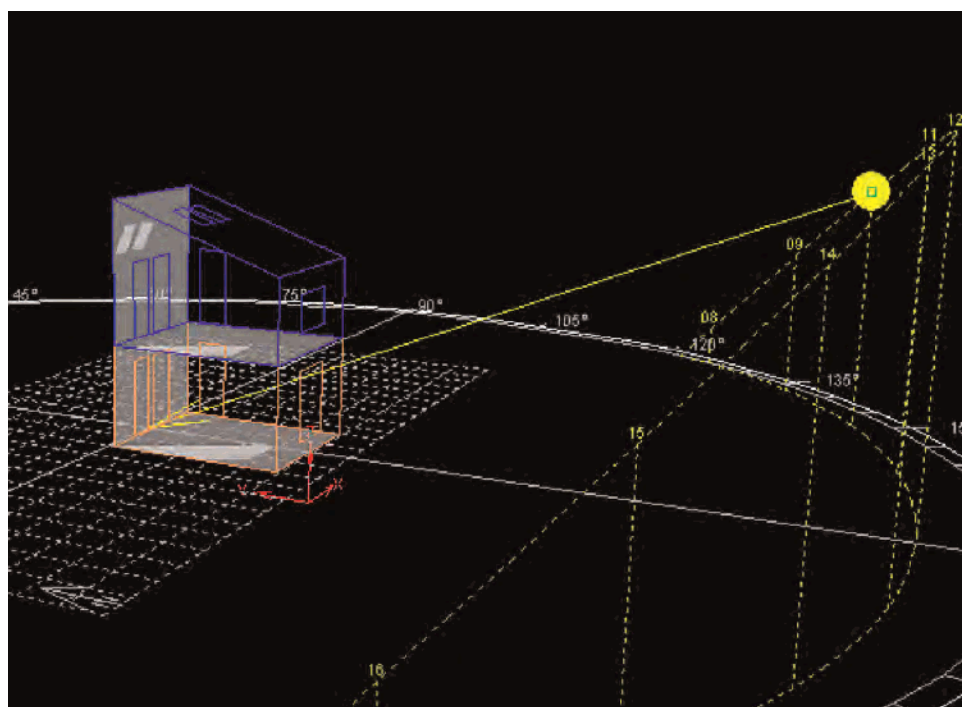
Oct	4	267	270
Nov	0	1584	1584
Dec	0	3290	3290
-----	-----	-----	-----
TOTAL	5060	16632	21692

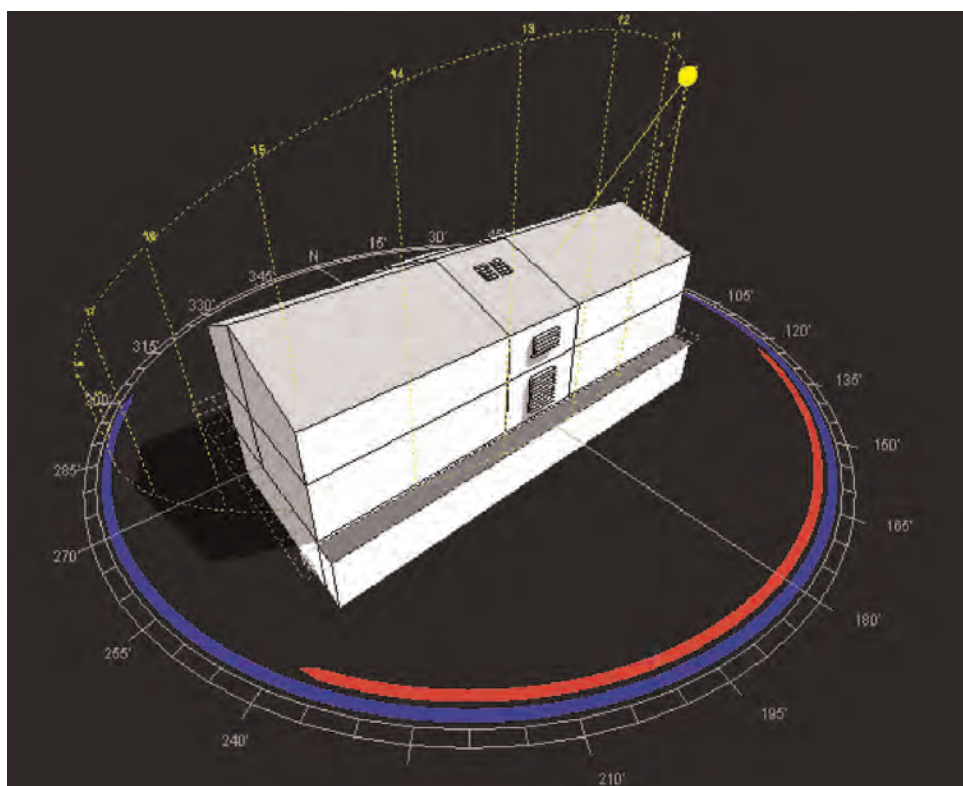
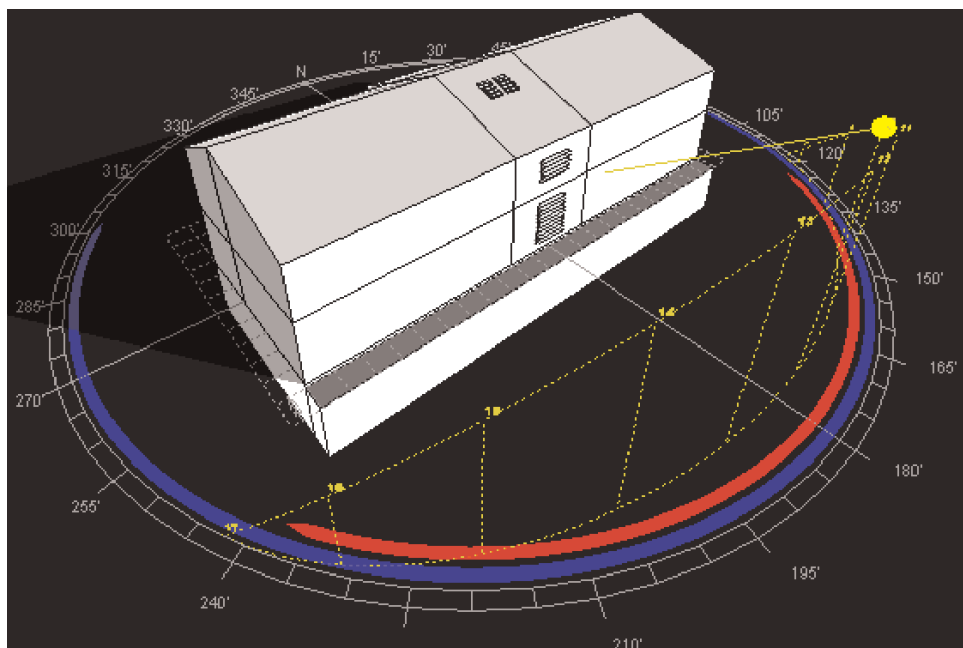


Si sono costruite delle schermature sia sulle aperture del tetto che sul quelle poste sul fronte sud.

Poiché questo modello è posizionato nell'emisfero nord per far si che le lamelle funzionino correttamente tutto l'anno, facendo passare il raggi solari in inverno e bloccandoli in estate, sono state effettuate due verifica: il 21 dicembre, ed il 21 luglio







CAPITOLO 4

L'impianto fotovoltaico

Alberto Maria Lucchesi Palli

3. 1. Introduzione

La tecnologia fotovoltaica consente di trasformare direttamente l'energia solare in energia elettrica. Negli ultimi anni, a livello mondiale, si assiste ad una crescita notevole dei volumi di produzione di moduli fotovoltaici, della loro evoluzione tecnologica e delle potenze complessive di impianti installati. Ciononostante la frazione di energia elettrica che viene attualmente prodotta tramite moduli fotovoltaici è ancora del tutto marginale. Tuttavia in un contesto internazionale caratterizzato dalla imprescindibile necessità di ridurre la dipendenza mondiale dalle fonti fossili e di ridurre le emissioni generate dalle attività umane, appare assolutamente necessario promuovere la ricerca e l'applicazione di una tecnologia in grado di produrre elettricità nel pieno rispetto di questi criteri di sviluppo.

Le applicazioni del fotovoltaico, presentano diversi vantaggi: l'energia prodotta in prossimità del carico ha un valore maggiore di quello dell'energia fornita dalle centrali tradizionali, in quanto vengono evitate le perdite di trasporto (campi elettromagnetici). Il costo d'installazione del fotovoltaico rappresenta un costo evitato che va a diminuire il costo globale dell'edificio, se si considera che i moduli diventano degli elementi costruttivi, che vanno a sostituire tegole o vetri delle facciate.

La caratteristica di modularità dei sistemi fotovoltaici consente poi vari utilizzi, anche nel settore dell'arredo urbano: coperture per parcheggi, barriere antirumore, pensiline per percorsi pedonali o per le stazioni degli autobus e dei treni, parchimetri e impianti di illuminazione.

È noto che l'impiego delle fonti energetiche tradizionali è tra le principali cause dell'inquinamento ambientale, i cui costi, in generale, vengono considerati esterni all'economia del settore energetico e per questo non possono che essere pagati dalla società, sotto forma di tasse o di una riduzione della qualità di vita.

Per riuscire a confrontare diverse tecnologie con i relativi 'costi esterni', è importante analizzare i cicli dei combustibili, allo scopo di considerare tutti i livelli del processo di produzione dell'energia: l'estrazione, la preparazione, il trasporto, la conversione, la distribuzione, l'utilizzazione, il trattamento e, infine, lo smaltimento dei rifiuti. I sistemi fotovoltaici sono completamente esenti da inquinamento durante il loro esercizio; al più potenziali rischi ambientali si hanno nel corso della loro produzione e smaltimento.

3. 2. Le celle fotovoltaiche

La conversione della radiazione solare, in parte diretta in parte diffusa, in una corrente di elettroni avviene nella cella FV: un dispositivo costituito da un sottile strato di materiale semiconduttore, molto spesso silicio, mono o policristallino, l'elemento più diffuso in natura, dopo l'ossigeno. Il silicio è un materiale semiconduttore, ovvero un materiale con caratteristiche elettriche intermedie tra quelle dei metalli (ottimi conduttori) e degli isolanti (che non conducono la corrente elettrica). Dal punto di vista della struttura atomica il silicio, nella sua struttura cristallina, presenta degli atomi disposti in modo regolare, ciascun atomo condivide 4 elettroni con altri 4 atomi circostanti.

La fetta costituita da silicio è di norma intrinsecamente drogata, mediante l'inserimento nella struttura cristallina di atomi di boro. Una faccia dello strato viene invece, drogata per diffusione ad alta temperatura con piccole quantità di fosforo.

Nella zona di contatto tra i due strati a diverso drogaggio si determina un campo elettrico; quando la cella è esposta alla luce, si generano delle cariche elettriche e, se le due facce della cella sono collegate ad un utilizzatore, si avrà un flusso di elettroni sotto forma di corrente elettrica continua.

Le celle vengono coperte da un vetro di protezione ad alta trasparenza alla radiazione solare (a basso contenuto di ferro) in modo da aumentare la quantità di luce trasmessa. Il vetro è studiato anche in modo da garantire un'altissima resistenza meccanica (urti, agenti atmosferici, garanzia di calpestabilità). Tra vetro e celle viene disposto uno strato di vinilacetato di etilene (EVA) che permette di isolare elettricamente le celle ed evitare la formazione di spazi vuoti tra silicio e superficie vetrata del modulo.

Le celle vengono disposte a matrice, ad esempio per un modulo standard a 36 celle si realizzano usualmente 9 file da 4 celle ciascuna². Al di sotto delle celle viene inserito un ultimo strato di EVA e, come base di appoggio si utilizza un foglio di polivinile fluorurato (Tedlar). Questo materiale estremamente resistente è usualmente di colorazione bianca opaca, ma è possibile averlo anche in versione trasparente, per soluzioni architettoniche in cui sia importante filtrare la luce.

Sempre per ottenere effetti di filtrazione della luce e migliori caratteristiche estetiche complessive, è possibile posizionare al posto dello strato di Tedlar, una seconda lastra di vetro ottenendo in questo modo un modulo semitrasparente, adatto per integrazioni in coperture o facciate (moduli doppio vetro). Per quest'ultima applicazione sono anche presenti nel mercato dei moduli a vetro camera, dove un'ul-

teriore lastra di vetro viene introdotta per garantire una trasmittanza termica sufficientemente bassa.

Ulteriore caratteristica dei moduli commerciali standard è la cornice di alluminio che viene posta per protezione e per facilitare le operazioni di montaggio, nei moduli doppio vetro e in altre applicazioni particolari si preferisce evitare l'applicazione della cornice (moduli frameless).

Il silicio è di gran lunga il materiale più utilizzato dall'industria fotovoltaica, copre infatti la quasi totalità del mercato internazionale. Il silicio utilizzato proviene spesso dagli scarti dell'industria informatica, in quanto ai fini della generazione elettrica è sufficiente un grado di purezza inferiore. Si utilizza il silicio in forma monocristallina, policristallina ed amorfa.

Il silicio monocristallino è ottenuto attraverso un costoso processo di formazione dei grani cristallini ai fini di ottenere una struttura molto regolare del reticolo. Il materiale viene prodotto in lingotti che vengono poi tagliati a formare le celle. Il taglio, d'altra parte, comporta una perdita del 20% circa del silicio prodotto. Il materiale così realizzato consente di ottenere una resa elettrica molto alta (12-15%) che significa che per installare 1 kWp³ di potenza elettrica dovrò installare una superficie di moduli pari a circa 7-8 metri quadri. In commercio i moduli di silicio monocristallino si trovano ad un prezzo compreso tra 4,2 e 5 €/Wp.

Il silicio policristallino è un materiale del tutto simile al precedente e si differenzia per il processo costruttivo che non comporta l'accrescimento di un unico grande cristallo, ma una solidificazione in più cristalli. In questo modo si ottiene un materiale con un aspetto molto meno uniforme e di colorazione bluastra, l'efficienza complessiva risulta ridotta a causa dell'alta probabilità di ricombinazione degli elettroni e delle lacune nel passaggio tra un cristallo e l'altro. Valori tipici di efficienza sono compresi tra il 10 e il 12%, ci sarà dunque bisogno di più spazio (8-10 metri quadri) per installare 1 kWp di potenza elettrica. Il costo del materiale risulta tuttavia più basso (intorno a 3,5 – 4 €/kWp per i moduli attualmente commercializzati). Risulta essere spesso un ottimo compromesso per costi e prestazioni.

Il silicio amorfo rientra nella promettente famiglia dei "film sottili", questi materiali vengono così chiamati perchè possono essere depositati formando spessori di 4-5 micron contro i 300 micron delle tipiche celle cristalline. Il silicio in questo caso non viene raffreddato a formare una struttura cristallina ordinata, ma viene vaporizzato su un substrato. In questo modo il materiale presenterà una struttura disordinata, penalizzando di molto l'efficienza (5-8%), al contempo tuttavia la possibilità di ottenere dei film così sottili permette di poter depositare il silicio su

supporti diversi, anche non rigidi e su superfici molto più ampie di una tradizionale cella cristallina: si possono così ottenere moduli interessanti dal punto di vista estetico, caratterizzati da una colorazione uniforme, moduli flessibili, oppure strutture fotovoltaiche adatte all'integrazione architettonica (tegole fotovoltaiche). Il processo di produzione dei moduli in silicio amorfo consente di abbattere di molto i costi finali (2,8-3,5 €/Wp); tuttavia i moduli per integrazione architettonica risultano avere un prezzo di mercato del tutto simile a quello dei moduli in silicio cristallino.

Nella scelta del silicio amorfo va tuttavia tenuto ben presente un fenomeno di deterioramento delle sue prestazioni nelle prime ore di funzionamento: nelle prime 300-400 ore il silicio amorfo perde circa il 10% della potenza nominale, ciò comporta una difficoltà non trascurabile nella capacità di predire la producibilità dell'impianto.

L'energia sfruttabile dipende, in maniera preponderante dalle caratteristiche del materiale di cui è costituita la cella. Una cella FV 10x10 cm, nelle condizioni di soleggiamento tipiche dell'Italia (1kW/m²), alla temperatura di 25° fornisce una potenza pari a 1,5 - 1,7 Watt di picco (Wp). L'energia elettrica prodotta sarà, proporzionale all'energia solare incidente, che come è noto varia durante il corso della giornata.

In pratica una tipica cella FV commerciale ha uno spessore complessivo compreso tra 0,25 e 0,35 mm ed è costituita da silicio, mono o multi cristallino.

La cella solare, generalmente quadrata, ha una superficie compresa tra 100 e 225 cm². Il monocristallino ha un rendimento del 15-17%, il policristallino 12-14%.

Altra tecnologia è quella del "film sottile", che sfrutta la deposizione di un sottilissimo strato di materiali semiconduttori, in pratica il silicio amorfo ed altri semiconduttori (materiali composti).

A differenza della tecnologia cristallina, le celle fotovoltaiche a film sottile sono composte da strati di materiale

semiconduttore (non sempre è presente il silicio) depositati generalmente su una miscela di gas su supporti a basso costo - come vetro, polimero o alluminio - che danno consistenza fisica alla miscela.

La deposizione di un gas consente l'immediato beneficio di un utilizzo minore di materiale attivo: lo spessore si riduce dai 300 micron della cella cristallina, a 4-5 micron di quella a film sottile.

3. 3. Il rendimento di conversione dell'impianto

Il rendimento di conversione complessivo di un impianto sarà il risultato di una serie di rendimenti, che, a partire da quello della cella, passando per quello del modulo, delle stringhe, del sistema di controllo della potenza e di quello di conversione, ed eventualmente di quello di accumulo, determinano il rendimento complessivo dell'impianto. Quindi l'energia elettrica utile giornaliera per l'utilizzazione al carico, cioè disponibile per le apparecchiature e i dispositivi da alimentare, risulta dall'energia solare incidente sulla superficie captante, "decurtata" da una serie di rendimenti o di fattori geo-climatici, i più importanti dei quali sono:

- latitudine del sito
- orientamento ed inclinazione della superficie dei moduli (azimut ed angolo di tilt);
- temperatura delle celle;
- grado di pulizia dei moduli;
- soleggiamento della località;
- rendimento energetico dell'inverter.

3. 4. La capacità di produzione

Una valutazione della capacità produttiva di un impianto FV in relazione al sito di installazione, si potrà fare ragionando su di un valore di soleggiamento, che chiameremo "ore di generazione" equivalenti - *heg*" che possono essere definite come il numero di ore tale che, con irraggiamento pari a un kW/m^2 , si ottiene la stessa energia raccolta nelle condizioni reali di irraggiamento. La valutazione dell'energia fornita dall'impianto partirà da quella resa dai moduli e terrà conto di:

- perdite per accoppiamento elettrico dei moduli;
- perdite per accoppiamento di stringa;
- perdite per riscaldamento e sporcamento dei moduli;
- perdite all'accoppiamento impianto-rete elettrica;
- perdite per conversione c.c. in c.a 20-25 %

3. 5. Gli impianti fotovoltaici

Gli impianti fotovoltaici si dividono in due categorie fondamentali: connessi alla rete e isolati (stand alone). A differenza di altri sistemi di produzione elettrica, gli impianti fotovoltaici sono caratterizzati dalla produzione dipendente dalla radiazione solare incidente. Pertanto si presenta come esigenza indispensabile la possibilità di avere un accumulo di energia durante le ore di produzione che sia in grado di immagazzinarla per renderla disponibile all'utenza nei tempi richiesti, indipendentemente dalla presenza o meno della radiazione solare. L'accumulo viene realizzato negli "impianti isolati" con una serie di batterie (di solito della tipologia Piombo-Acido), mentre negli impianti connessi alla rete elettrica (i tipici impianti dei "tetti fotovoltaici") il ruolo dell'accumulo viene svolto dalla rete stessa, che opera come un'immensa batteria, in grado di assorbire la produzione elettrica in eccesso, così come poter restituire energia nelle ore di scarsa o nulla insolazione; tale tipologia di sistema FV opera sempre, ed esclusivamente, in connessione alla rete.

3. 6. Componenti del sistema: moduli e stringhe

La parte più importante degli impianti fotovoltaici è rappresentata dai moduli, che sono costituiti dalla connessione elettrica in serie delle singole celle. Per raggiungere livelli di tensione elettrica adatti alla connessione con gli inverter è necessario tuttavia connettere in serie anche i singoli moduli, così come avviene normalmente con le batterie dei nostri piccoli apparecchi elettrici. Si ottengono in questo modo le stringhe, ovvero serie di un numero variabile di moduli fotovoltaici. La scelta del numero di moduli da connettere e come poi riunire l'energia prodotta dalle stringhe medesime è frutto dell'esperienza del progettista, ma è dettata principalmente dal tipo di inverter che si desidera adottare (comunemente si cerca di fare in modo che la massima tensione in ingresso all'inverter sia di poco inferiore alla massima tensione ammissibile dall'inverter stesso).

3. 7. Il B.O.S. e le strutture di supporto

Il BOS (Balance of system) è un termine che indica tutto ciò che fa parte del-

L'impianto ad esclusione dei soli moduli FV e comprende dunque gli inverter, le strutture di supporto dei moduli, i cavi e i quadri elettrici, gli interruttori e quant'altro necessario per il funzionamento dell'impianto. Le strutture di supporto più diffuse per gli impianti tradizionali si dividono in due grandi categorie: strutture per impianti a terra o su tetto piano e strutture per impianti su tetto a falda.

La prima categoria comprende delle strutture a cavalletto che consentono di collocare i moduli inclinati realizzando di solito più linee in successione, in questo modo si possono collocare i moduli secondo la migliore inclinazione e il migliore orientamento. Naturalmente il criterio di progetto fondamentale è quello di evitare che le singole linee di moduli possano produrre dell'ombreggiamento sulle file successive. Il fissaggio di queste strutture avviene o tramite imbullonamento o tramite delle zavorre di cemento (mattoni fotovoltaici) cui le strutture vengono fissate. Il peso complessivo di queste strutture è estremamente variabile a seconda della tipologia di fissaggio utilizzata, per un calcolo approssimativo si possono preliminarmente considerare circa 150-200 kg per kWp installato. La seconda grande categoria di strutture comprende una grande varietà di soluzioni che consentono di fissare dei profilati in alluminio anodizzato sulle falde inclinate, con o senza la presenza di tegole. Queste strutture consentono di ottenere gradevoli effetti estetici in quanto i moduli risultano disposti

parallelamente al tetto e quasi complanarmente. Ovviamente in questa seconda ipotesi i moduli saranno obbligatoriamente inclinati e orientati seguendo la superficie del tetto a disposizione, pertanto queste caratteristiche della copertura vanno attentamente analizzate per valutare le possibilità di produzione elettrica

dell'impianto. Il fissaggio di queste strutture avviene tramite imbullonamento, il peso complessivo si può approssimativamente stimare in circa 80-100 kg per kWp installato.

3. 8. Manutenzione di un impianto fotovoltaico

Tale manutenzione è riconducibile a quella di un impianto elettrico. I moduli, che rappresentano la parte attiva dell'impianto che converte la radiazione solare in energia elettrica, sono costruiti da materiali inattaccabili dagli agenti atmosferici. Annualmente è necessario constatare l'integrità dei vetri che incapsulano le celle FV.

3. 9. Dimensionamento preliminare di un impianto

Per dimensionare un impianto fotovoltaico occorre:
analisi della irradiazione annua disponibile al suolo;
valutazione del fabbisogno elettrico dell'utenza che si vuole dotare del sistema fotovoltaico;
valutazione dell'effettiva producibilità dell'impianto;
valutazione dell'effettiva quantità di energia che si riuscirà a produrre;
valutazione dell'impegno finanziario, mettendo in evidenza il tempo di ritorno dell'investimento e il vantaggio derivante da eventuali finanziamenti.

3. 10. I dati solari

La prima valutazione indispensabile per poter valutare la producibilità di un impianto FV è naturalmente quella relativa alla quantità di energia solare incidente sulla superficie dei moduli che si vogliono installare. La radiazione incidente varia a seconda della latitudine del sito in cui sorgerà l'impianto, dell'orientamento dei moduli (azimut rispetto al nord) e dalla loro inclinazione rispetto all'orizzontale (angolo di tilt).

3. 11. Analisi della superficie a disposizione

I fattori da valutare, sin da un'analisi preliminare, sono sicuramente: l'area a disposizione per i moduli, le ombre che vanno ad incidere sulla superficie nel corso della giornata nell'arco di un anno, la presenza di ostacoli, la resistenza meccanica. Una volta che si sia stabilito che l'orientamento e l'inclinazione di una falda di tetto, ad esempio, sono ottimali per la produzione FV, si tratterà di considerare quanta superficie risulta a disposizione per l'installazione (tenendo presente l'efficienza del sistema: per un impianto al silicio policristallino dovremo valutare circa 10 mq per ogni kWp), se vi sono lucernai o comignoli che impediscono il fissaggio dei moduli o possono gettare delle ombre sull'impianto, così pure dovremo valutare l'accessibilità del tetto stesso (un tetto agevolmente raggiungibile semplifica le operazioni di manutenzione). Altro parametro non trascurabile risulta essere senz'altro la resistenza meccanica della superficie: per un'installazione su tetto piano,

ad esempio, dovremo valutare la resistenza del solaio, capendo se la struttura che abbiamo ipotizzato, e dunque il maggior carico che la struttura edilizia si troverà a sopportare, risultano adeguate. Per quanto riguarda le ombre risultano spesso molto utili dei software di simulazione che riescono a valutare l'andamento dell'ombra nell'arco dell'anno.

3. 12. Analisi del fabbisogno elettrico

Per dimensionare il nostro impianto dovremo attentamente valutare il fabbisogno di energia elettrica dell'utenza che vogliamo dotare del sistema FV. Nel caso di edifici esistenti e abitati la via più semplice per stimare il fabbisogno annuo è naturalmente l'analisi delle bollette elettriche dell'utenza, si consiglia di prendere in considerazione almeno 3 anni di bollette, se possibile. Per le utenze nuove ovviamente la cosa è più complessa, per un'abitazione privata si possono considerare 1.000 kWh per ciascun abitante, i consumi medi annui di

una famiglia italiana si stimano in 3.500 kWh. Per altre realtà ci si dovrà consultare con il progettista elettrico dell'edificio, o comunque valutare gli apparecchi elettrici installati e stimare il loro utilizzo.

3. 13. Analisi dell'investimento Payback

L'analisi del tempo di ritorno dell'investimento (payback semplice) si effettua considerando il costo totale dell'impianto previsto, e considerando in quanto tempo i risparmi economici derivati dall'energia risparmiata permettono di rientrare dell'investimento. Per valutare la spesa iniziale bisogna tenere in considerazione: eventuali finanziamenti pubblici in conto capitale, la possibilità di usufruire del regime agevolato per l'IVA (10%), la detraibilità dell'investimento dall'IRPEF (nella misura del 36%).

Per quanto riguarda i costi dell'impianto variano naturalmente da caso a caso ma per una stima iniziale è possibile considerare un costo complessivo (compresa fornitura e montaggio del materiale) di circa 6500 €/kWp. Ovviamente impianti che prevedano installazioni complesse o integrazioni architettoniche di grande pregio avranno dei costi molto superiori e andranno attentamente valutate nello specifico.

3. 14. Benefici ambientali

Un'analisi che spesso risulta interessante e molto semplice da effettuare è quella che considera il beneficio ambientale dell'impianto fotovoltaico, ovvero quantifica i kg di anidride carbonica (CO₂) che permetteremo di evitare (la CO₂ è un gas che seppur innocuo per l'uomo è considerato uno dei principali responsabili dell'effetto serra). Considerando che in Italia si bruciano soprattutto combustibili fossili per produrre energia elettrica mediamente si può valutare un'emissione di 650 gr di CO₂ per ogni kWh. Ciò significa che per quantificare la CO₂ "risparmiata" ogni anno grazie al nostro impianto basterà moltiplicare il valore della produzione annua per 650 gr e si otterranno spesso valori molto interessanti.

3. 15. Il Progetto

La tecnologia fotovoltaica offre l'opportunità di produrre energia elettrica, utilizzando l'energia solare. Ciò rende il fotovoltaico un tema di particolare interesse per la pianificazione urbana locale e la valutazione delle disponibilità di fonti rinnovabili sul territorio. Pertanto la tecnologia fotovoltaica può contribuire in modo rilevante allo sviluppo sostenibile del territorio a livello locale. Per favorire la diffusione e l'applicazione della tecnologia fotovoltaica in architettura è necessario sviluppare il settore dei sistemi fotovoltaici integrati, che grazie ad una continua ed avanzata ricerca industriale, sta risultando una valida alternativa, ad alcuni componenti edilizi, realizzati con materiali tradizionali. Da qui la necessità di sviluppare l'integrazione architettonica del fotovoltaico come strumento tecnologico progettuale con la duplice valenza, sia architettonica che di risparmio energetico negli edifici.

3. 16. Lo stato di fatto

L'edificio oggetto dell'intervento è un fabbricato industriale sito a Palermo (Radiazione media giornaliera 5,43; Latitudine 38.1; Inclinazione 31°; Azimut 180).

Esso si sviluppa su una pianta rettangolare le cui dimensioni sono di m 28 x 12, per due elevazioni.

La struttura dell'edificio è in acciaio. I pilastri perimetrali lungo l'asse maggiore sono ad un interasse di m 7,00, mentre il lato minore è diviso da un pilastro in due parti da m 6,40 e m 4,90. in corrispondenza di quest'ultimo si trova un pilastro a m 14, praticamente al centro dell'intero edificio.



3. 17. Descrizione dell'intervento

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico di 20 kWp ed è composto da n° 125 moduli fotovoltaici, con una potenza di picco di 160 W/cadauno, suddivisi in cinque stringhe da 4000 Wp ciascuno. I moduli fotovoltaici sono inclinati a 31° sul piano orizzontale ed orientati a Sud. L'integrazione dell'impianto fotovoltaico con l'edificio esistente sfrutta le caratteristiche della struttura prolungando i pilastri oltre la copertura utilizzando profilati in acciaio ad I da mm 40 saldate fra loro a crociera.

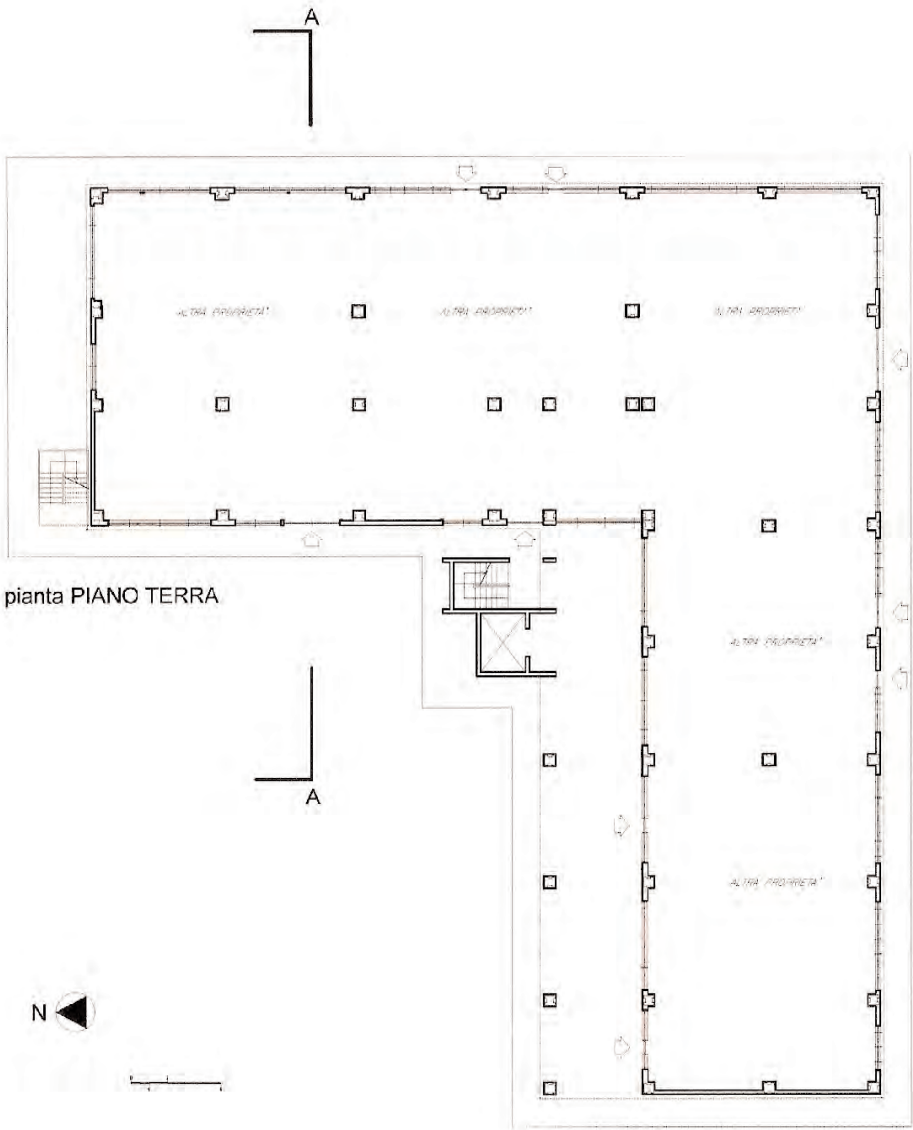
I profilati che fungeranno da pilastri saranno collegati perimetralmente fra loro da travi di bordo realizzate con profilati IPE da mm 200, della lunghezza di circa m 7,00.

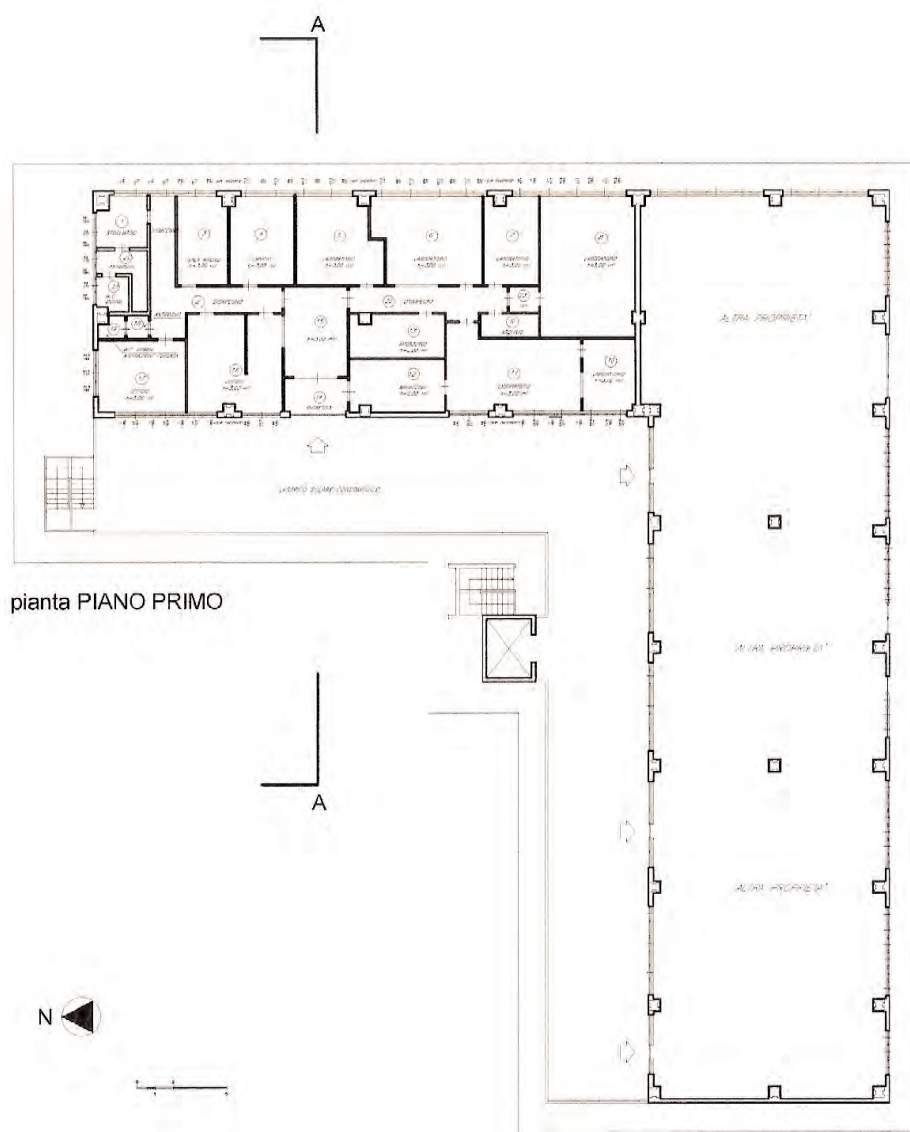
In mezzzeria si troveranno due travi reticolari da mm 40, della lunghezza di m 14,00 cadauna, poste in continuità, che si poggeranno sui pilastri mediani e saranno collegate alle travi di bordo mediante profilati IPE da mm 15.

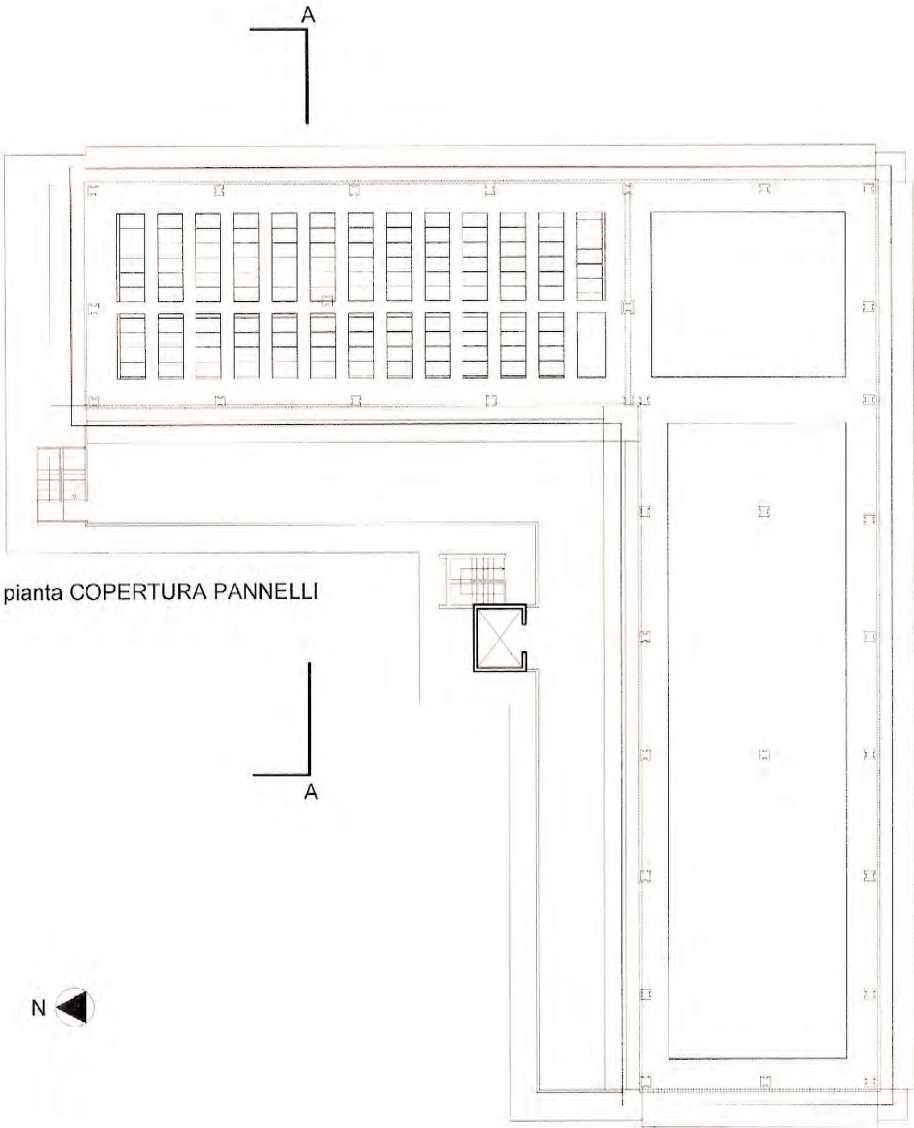
In questo modo si otterrà una struttura a maglia regolare perfettamente complanare sulla quale poggiare la passerella perimetrale (principale), che aggetterà di m 1,00 rispetto alla sagoma dell'edificio, le passerelle interne (secondarie) e le strutture portanti dei pannelli. La passerella principale non soltanto garantirà l'accesso perimetrale ai pannelli, ma fungerà da coronamento dell'edificio esistente. La soluzione di coronamento garantisce anche la schermatura delle finestre dalle radiazioni solari estive.

Le passerelle saranno formate da una struttura portante in acciaio e da pannelli di orsogril per il calpestio. Le guide che sorreggeranno le strutture dei pannelli sono costituite da travi IPE mm 15 collegate alla trave reticolare e alle travi di bordo.

I pannelli saranno montati su una struttura portante trapezoidale che assicurerà un'inclinazione di 31°. Saranno disposti su 10 file poste ad una disatnza di m 2,20 l'una dall'altra ed intervallate dai corridoi di servizio per la manutenzione. Inoltre ogni fila, composta da 10 pannelli è stata suddivisa in due settori, uno da 6 pannelli e uno da 4 pannelli, separati da una passerella centrale che corre sulla trave reticolare ed assicura un rapido intervento ai pannelli.







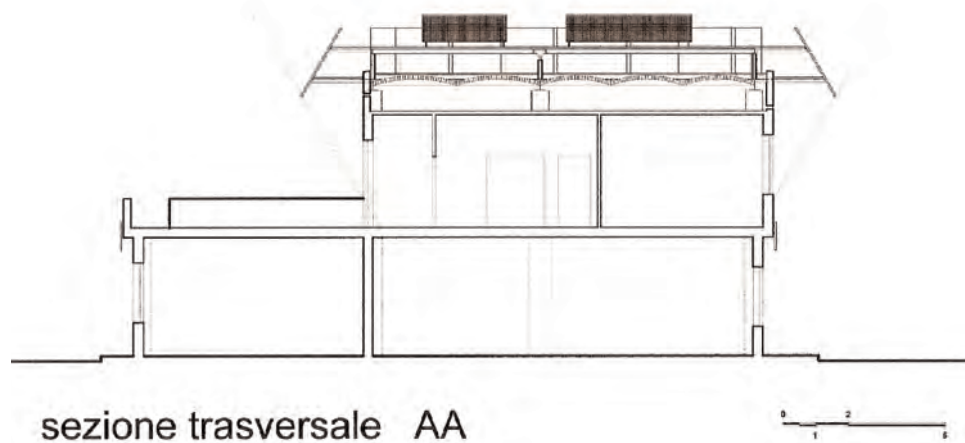
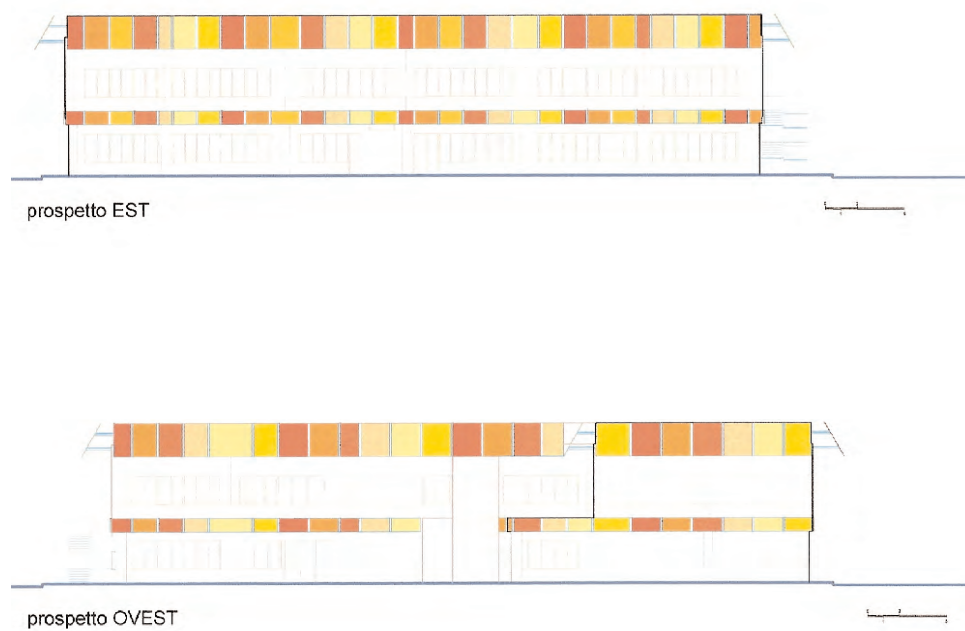
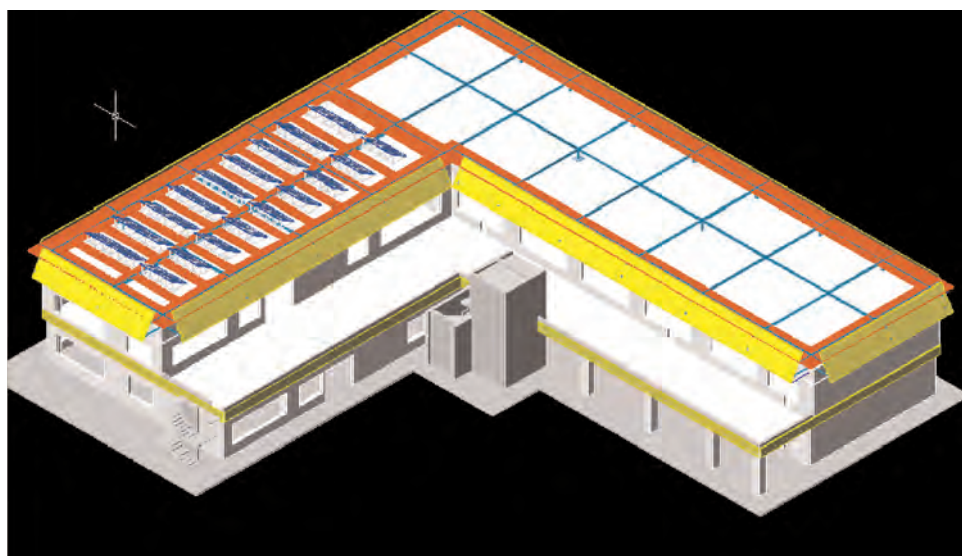
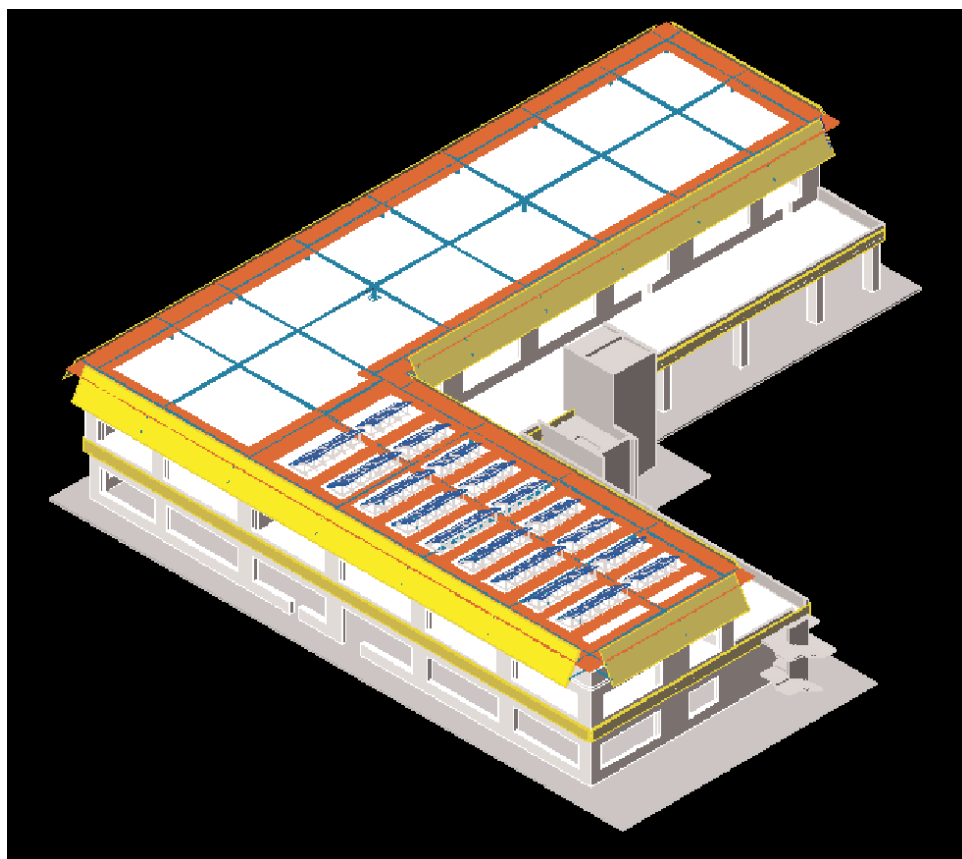


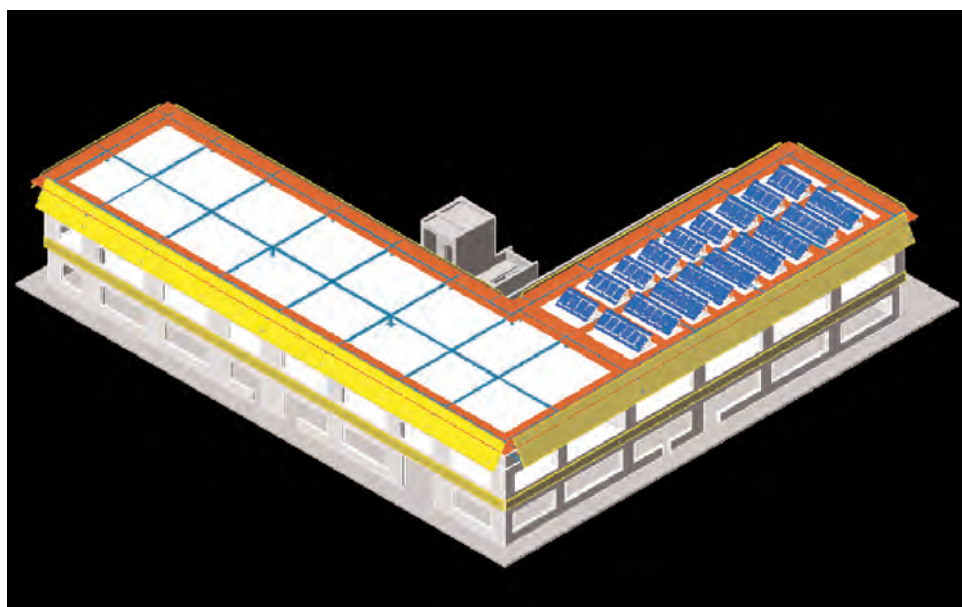
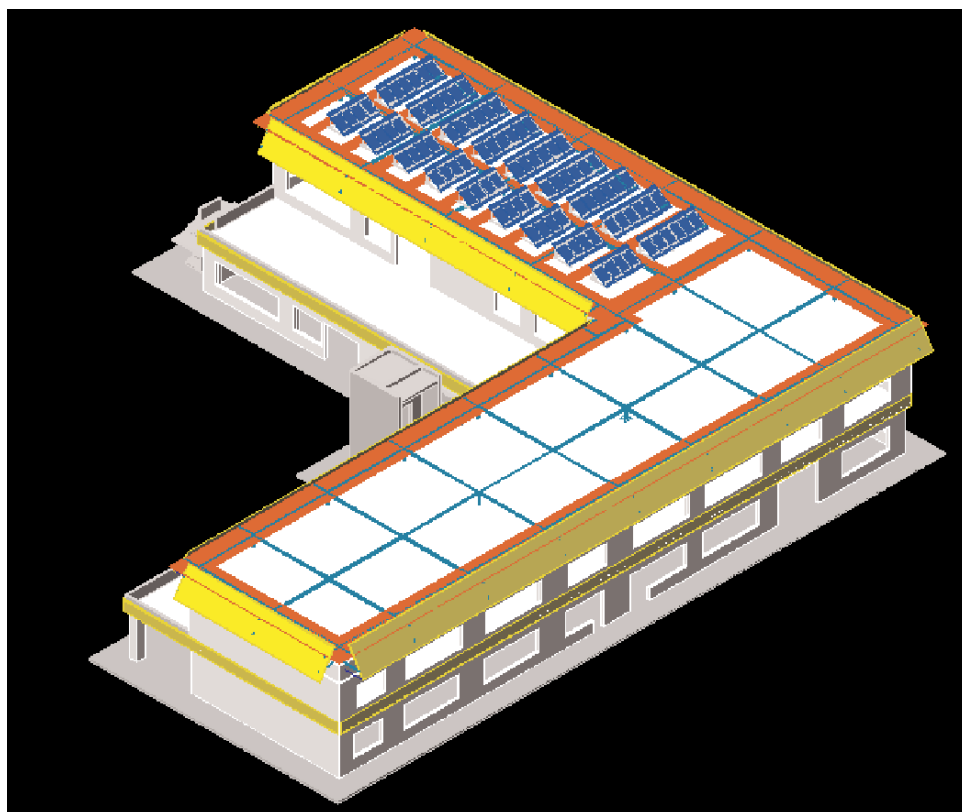
Fig. 4. 5 - Sezione trasversale con l'inserimento dei pannelli fotovoltaici

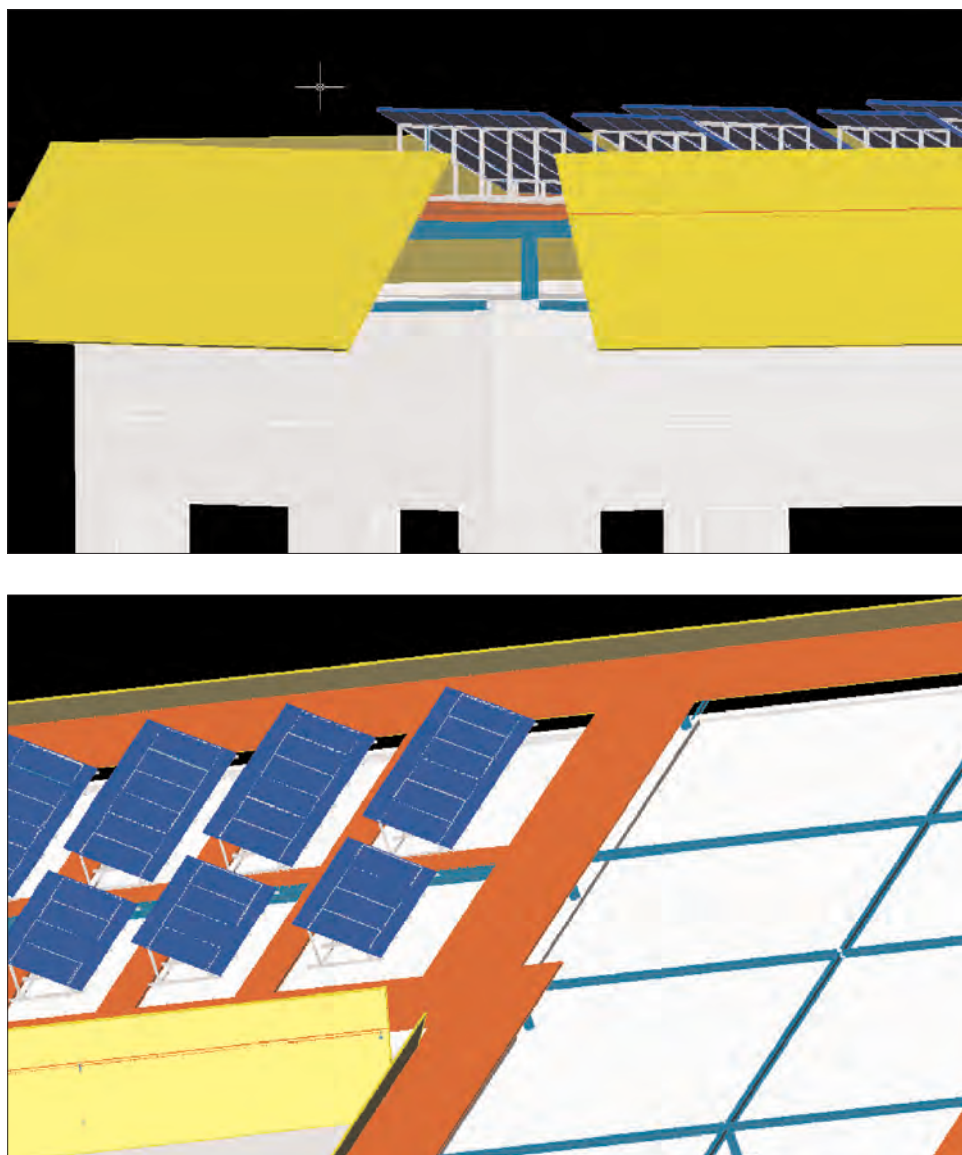




Figg. 4. 6 - Prospetti con l'inserimento dei pannelli fotovoltaici







Figg. 4. 7 - Visione d'insieme dell'edificio con l'inserimento dei pannelli fotovoltaici

3. 18 Disposizione dei moduli

Per quanto riguarda la disposizione dei moduli fotovoltaici, li consideriamo posizionati con un'inclinazione di 31° rispetto all'orizzontale. Il triangolo che ne deriva avrà l'ipotenusa data dal lato maggiore del modulo fotovoltaico, cioè m 1,622 e l'angolo α pari a 31° , l'altezza del triangolo sarà uguale a: $1,622 \sin 31 = 0,84$, mentre la base sarà uguale a: $1,622 \cos 31 = 1,39$.

La distanza minima tra un pannello e l'altro, per evitare che si proietti l'ombra, sarà data da: $d=h/\alpha \arctg$.

Dato che il pannello sarà posizionato ad una distanza di m 0,15 dal piano di calpestio della copertura, l'altezza da considerata sarà pari a $0,84+0,15=0,99$ e quindi $d=99/31 \arctg = 72,7$.

3. 19 Descrizione del sistema

Impiego di n. 125 moduli fotovoltaici del tipo Shell SQ160-C e di n. 5 inverter del tipo Fronius IG 40

Il modulo Shell SQ160-C contiene 72 celle solari di silicio monocristallino PowerMax da mm 125x125 collegate in serie

Specifiche meccaniche

Struttura in alluminio anodizzato resistente alla torsione e alla corrosione

• Dimensioni esterne (mm)	1622 x 814
• Spessore (mm)	40
• Peso (kg)	17,2
• Lunghezza del cavo (- maschio) (mm)	1300
• Lunghezza del cavo (+ femmina) (mm)	1000

Caratteristiche elettriche

Parametri validi in condizioni standard di collaudo (STC – Standard Test Conditions): livello di irradiazione 1000W/m², spettro AM 1,5 e temperatura della cella di 25°C

• Potenza nominale	Pr	160 W
• Potenza di picco	Pmpp	160W
• Tensione al punto mpp	Vmpp	35V
• Corrente della potenza di picco	Impp	4,59V
• Tensione a circuito aperto	Voc	43,5V
• Corrente di corto circuito	Isc	4,9A
• Limite impiego fusibile di serie		15A
• Potenza minima	Pmpp min	152W

Parametri tipici in condizioni di Temperatura Nominale Operativa della cella (NOCT): livello di irradiazione 800W/m², spettro AM 1,5; velocità del vento 1m/s, Tamb 20°C

• Temperatura	TNOCT	46°C
• Potenza Mpp	Pmpp	115W
• Tensione Mpp	Vmpp	32V
• Tensione a circuito aperto	Voc	40V
• Corrente di corto circuito	Isc	3,95A

Specifiche tipiche a basso irradimento

La diminuzione relativa di rendimento del modulo con un irradimento di 200W/m² su 1000W/ m² ,entrambi a una temperatura della cella di 25°C e uno spettro di 1,5 AM, è del 8%.

Inverter Fronius IG 60

Dati generali

• Dimensioni	610x344x220 mm
• Peso	16 kg
• Raffreddamento	ventilazione forzata regolata
• Gamma temperatura ambientale	da -20 a 50°C
• Umidità dell'aria ammessa	da 0 a 95%

Dati entrata

• Gamma tensione MPP	150-400V
• Tensione max entrata (a 1000W/ m ² ; -10°C)	500V

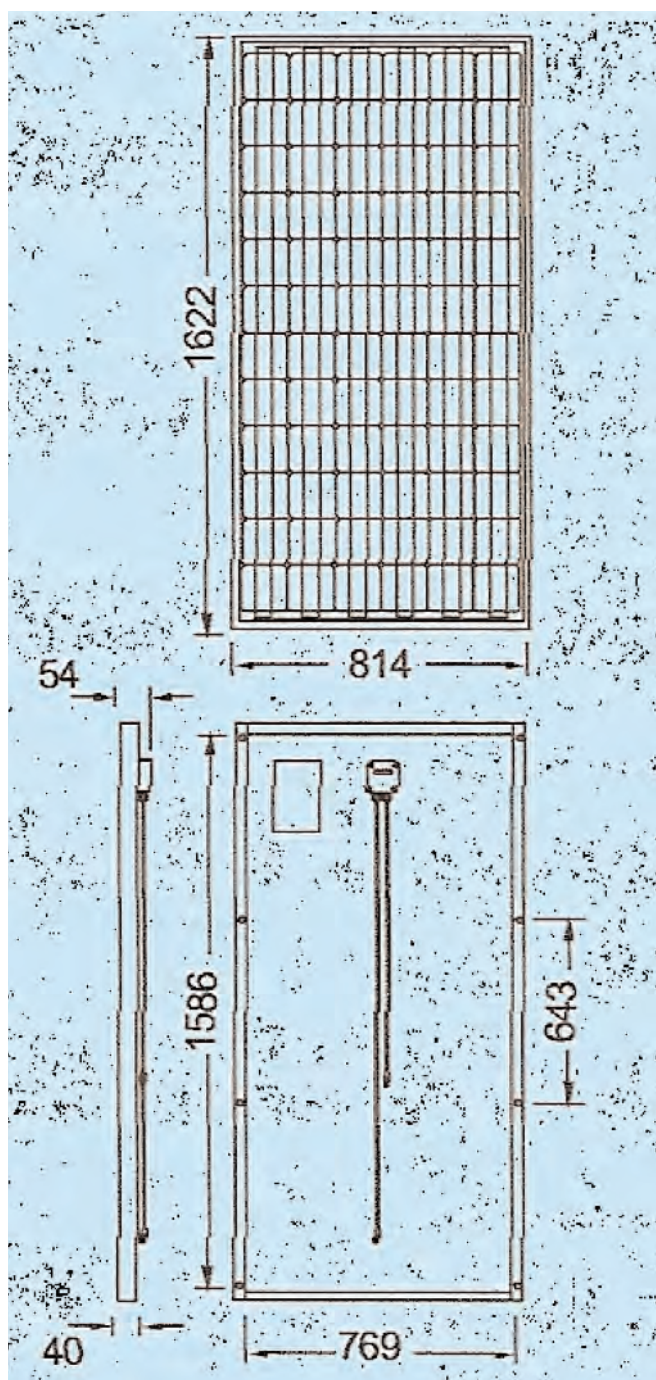


Fig. 4. 8 - Il pannello fotovoltaico Shell SQ 160-C

- | | |
|-------------------------|-------------|
| • Potenza impianto FV | 4600-6700Wp |
| • Corrente max. entrata | 29,5A |

Dati uscita

- | | |
|------------------------------|-----------|
| • Potenza nominale | 5000W |
| • Potenza max. uscita | 5000W |
| • Grado max efficacia | 94,3% |
| • Grado efficacia | 93,5% |
| • Tensione di rete/frequenza | 230V/50Hz |
| • Fattore di distorsione | <3,5% |
| • Fattore potenza | 1 |

Dispositivi di protezione

- | | |
|--|------------------------------|
| • Misurazione isolamento DC | avviso se RISO <500k Ohm |
| • Protezione inversione polarità | integrata |
| • Comportamento in condizioni di sovraccarico DC | spostamento punto del lavoro |

Per verificare la correttezza dell'impianto occorre che:

potenza nominale dell'inverter < potenza di picco della stringa.

Nel nostro caso abbiamo: potenza nominale inverter 5000W < potenza di picco della stringa 4000W.

3. 20 Produttività del sistema

La produttività del sistema è data da: irraggiamento medio giornaliero x potenza (in kWh) x 365, il risultato moltiplicato per 0,75, in quanto, in media si possono considerare delle perdite del 25%. Quindi nel nostro caso avremo:
 $(5,43 \times 20 \times 365) \times 0,75 = 29.729,25 \text{ kWh/anno}$



Fig. 4.9 - L'inverter Fronius IG 40

3. 21 Analisi economica

Il nostro intervento avrà un costo complessivo di € 155.000,00 così ripartito:

- costo dei moduli fotovoltaici € 100.000,00, ricavato dal costo di ogni singolo modulo pari a € 800,00, moltiplicato per il numero complessivo dei moduli, cioè 125;
- costo degli inverters €16.000,00, ricavato dal costo di ogni singolo inverter pari a € 3.200,00, moltiplicato per il numero complessivo degli inverters, cioè 5;
- costo della struttura architettonica utile ai fini dell'integrazione dell'impianto € 39.000,00

Per impianti da da 1 a 20 kWp l'energia prodotta verrà remunerata con una tariffa pari a 0,445 €/kWh per un periodo di 20 anni. Inoltre si potrà detrarre dai consumi elettrici complessivi la quota prodotta dall'impianto.

La tariffa incentivante verrà ridotta del 30%, e sarà quindi di 0,3115 €/kWh nel caso si usufruisca della detrazione IRPEF del 36%.

Utilizzando la tariffa incentivante di 0,445 €/kWh, avremo:

$\text{€ } 0,445 \times 29.729,25 \text{ kWh/anno} + \text{€ } 0,1342 \text{ (costo dell'energia)} \times 29.729,25 \text{ kWh/anno} = \text{€ } 13.230 + \text{€ } 3.990 = \text{€ } 17.220.$

Il rientro dell'investimento avverrà in 10 anni, così come si evince dall'analisi di seguito riportata:

Utilizzando la tariffa incentivante di 0,3115 €/kWh, avremo:

$€ 0,3115 \times 29.729,25 \text{ kWh/anno} + € 0,1342 \text{ (costo dell'energia)} \times 29.729,25 \text{ kWh/anno} = € 9261 + € 3.990 = € 13.251$, ma detraiamo dal costo di € 155.000 il 36% dell'Iperf, il costo iniziale considerato sarà di € 99.200. Il rientro dell'investimento avverrà in 8,49 anni, così come si evince dall'analisi di seguito riportata:

CON INCENTIVI € 0,445				
Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)
0	-€ 155.000,00	€ 0,00	-€ 155.000,00	-€ 155.000,00
1		€ 17.220,00	€ 17.220,00	-€ 137.780,00
2		€ 17.220,00	€ 17.220,00	-€ 120.560,00
3		€ 17.220,00	€ 17.220,00	-€ 103.340,00
4		€ 17.220,00	€ 17.220,00	-€ 86.120,00
5		€ 17.220,00	€ 17.220,00	-€ 68.900,00
6		€ 17.220,00	€ 17.220,00	-€ 51.680,00
7		€ 17.220,00	€ 17.220,00	-€ 34.460,00
8		€ 17.220,00	€ 17.220,00	-€ 17.240,00
9		€ 17.220,00	€ 17.220,00	-€ 20,00
10		€ 17.220,00	€ 17.220,00	€ 17.200,00
11		€ 17.220,00	€ 17.220,00	€ 34.420,00
12		€ 17.220,00	€ 17.220,00	€ 51.640,00
13		€ 17.220,00	€ 17.220,00	€ 68.860,00
14		€ 17.220,00	€ 17.220,00	€ 86.080,00
15		€ 17.220,00	€ 17.220,00	€ 103.300,00
16		€ 17.220,00	€ 17.220,00	€ 120.520,00
17		€ 17.220,00	€ 17.220,00	€ 137.740,00
18		€ 17.220,00	€ 17.220,00	€ 154.960,00
19		€ 17.220,00	€ 17.220,00	€ 172.180,00
20		€ 17.220,00	€ 17.220,00	€ 189.400,00
		VAN	€ 98.242,83	
		TIR	9,20%	
		PBP	10,00	

Al termine dei 20 anni, anche se non si usufruirà più dell'incentivo, si potrà comunque continuare a godere della detrazione dai consumi elettrici complessivi della quota prodotta dall'impianto, e questo per tutta la vita utile dell'impianto, stimabile tra i 25 e i 30 anni.

CON IRPEF E INCENTIVO € 0,3115				
Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)
0	-€ 99.200,00	€ 0,00	-€ 99.200,00	-€ 99.200,00
1		€ 13.251,00	€ 13.251,00	-€ 85.949,00
2		€ 13.251,00	€ 13.251,00	-€ 72.698,00
3		€ 13.251,00	€ 13.251,00	-€ 59.447,00
4		€ 13.251,00	€ 13.251,00	-€ 46.196,00
5		€ 13.251,00	€ 13.251,00	-€ 32.945,00
6		€ 13.251,00	€ 13.251,00	-€ 19.694,00
7		€ 13.251,00	€ 13.251,00	-€ 6.443,00
8		€ 13.251,00	€ 13.251,00	€ 6.808,00
9		€ 13.251,00	€ 13.251,00	€ 20.059,00
10		€ 13.251,00	€ 13.251,00	€ 33.310,00
11		€ 13.251,00	€ 13.251,00	€ 46.561,00
12		€ 13.251,00	€ 13.251,00	€ 59.812,00
13		€ 13.251,00	€ 13.251,00	€ 73.063,00
14		€ 13.251,00	€ 13.251,00	€ 86.314,00
15		€ 13.251,00	€ 13.251,00	€ 99.565,00
16		€ 13.251,00	€ 13.251,00	€ 112.816,00
17		€ 13.251,00	€ 13.251,00	€ 126.067,00
18		€ 13.251,00	€ 13.251,00	€ 139.318,00
19		€ 13.251,00	€ 13.251,00	€ 152.569,00
20		€ 13.251,00	€ 13.251,00	€ 165.820,00
		VAN	€ 95.088,76	
		TIR	12%	
		PBP	8,49	

3. 22 Benefici ambientali

L'installazione di un impianto fotovoltaico determina dei benefici ambientali, quantificabili in kg di emissioni di CO₂ evitata. Possiamo valutare che per ogni kWh c'è un'emissione di 650 gr di CO₂. nel nostro caso il risparmio annuale di CO₂ sarà pari a:

$$0,650 \times 29.729,25 = 19.324 \text{ kg}$$

Dobbiamo anche considerare che sul mercato mondiale l'emissione di CO₂ ha un costo pari a € 27,00 a tonnellata, quindi nel nostro caso avremo un risparmio dato da:

$$\text{t } 19,324 \times \text{€ } 27,00 = 521,748.$$

CAPITOLO 5

L'impianto solare termico

Alberto Maria Lucchesi Palli

Il pannello solare termico, usa l'energia del Sole per riscaldare l'acqua o un altro fluido, generalmente per il riscaldamento dell'abitazione o dell'acqua sanitaria della casa, rappresentando un efficace sostituto allo scaldabagno elettrico o alla caldaia a gas. Un pannello solare termico (o collettore solare) è composto da un radiatore in grado di assorbire il calore dei raggi solari e trasferirlo al serbatoio di acqua. La circolazione dell'acqua dal serbatoio al rubinetto domestico è realizzata mediante circolazione naturale o forzata, in quest'ultimo caso il pannello solare integra una pompa idraulica con alimentazione elettrica.

In Italia godiamo di un'insolazione media di 1500 kWh/m² ogni anno. Anche ipotizzando un rendimento medio dei pannelli solari termici, 160.000 mq di pannelli solari installati in una qualsiasi regione italiana farebbero risparmiare in bolletta circa 8 milioni di metri cubi di metano altrimenti utilizzati per alimentare le caldaie a gas o circa 80 Gwh di energia elettrica degli scaldabagni elettrici.

Un pannello solare termico impiega circa 10 ore per riscaldare l'acqua del serbatoio. Il periodo di tempo necessario varia in base all'esposizione solare, alla stagione, alle condizioni meteorologiche e alla latitudine. Quando il cielo è coperto e in inverno il rendimento dei pannelli solari cala dagli 80° ai 40°. Nelle ore notturne è soltanto possibile utilizzare l'acqua riscaldata precedentemente nelle ore del giorno che viene mantenuta in serbatoi coibentati per garantire un'autonomia per molte ore. Una volta esaurita occorrerà attendere di nuovo il sorgere del giorno e le ore necessarie per riscaldare nuovamente l'acqua. Per queste ragioni è consigliabile abbinare il pannello solare termico a una caldaia a gas. I pannelli solari termici non sono un sostituto della caldaia ma un sistema complementare per ridurre il consumo di gas necessario per il riscaldamento dell'acqua sanitaria.

Un pannello termico della dimensione di un metro quadro riesce a soddisfare in media 80-130 litri d'acqua calda al giorno alla temperatura media di 40°. Il consumo medio di acqua calda per persone è di circa 30-50 litri al giorno, pertanto un metro quadro di pannello dovrebbe soddisfare le esigenze d'acqua calda di 1-2 persone.

I principali modelli di pannelli solari termici (o collettori solari) sono distinti in tre gruppi diversi: pannelli solari vetrati, pannelli solari sottovuoto, pannelli solari scoperti

Il presente intervento di integrazione architettonica di pannelli solari, riguarda una palazzina di nuova costruzione nel centro storico di Palermo, orientata a Sud. La palazzina è costituita da un piano terra adibito a ristorante e da altri tre piani con due appartamenti ciascuno, occupati da famiglie costituite da n.4 persone.

La copertura dell'edificio è, sui fronti stradali, a falde, con una inclinazione di 30°, mentre la parte centrale è piana.

La copertura a falde rivolta a Sud sarà in parte coperta con le tegole ed in parte adibita a lucernario: i collettori solari troveranno posto in questa falda inclinata a Sud, in entrambe le parti sopra citate.

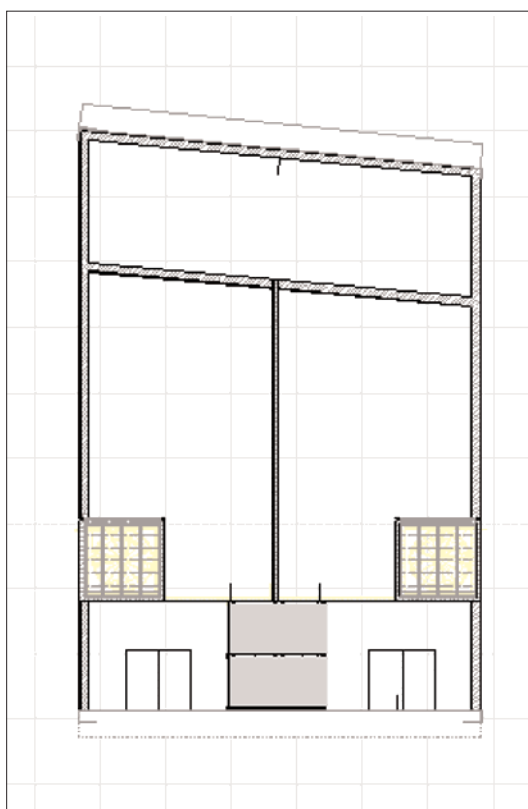
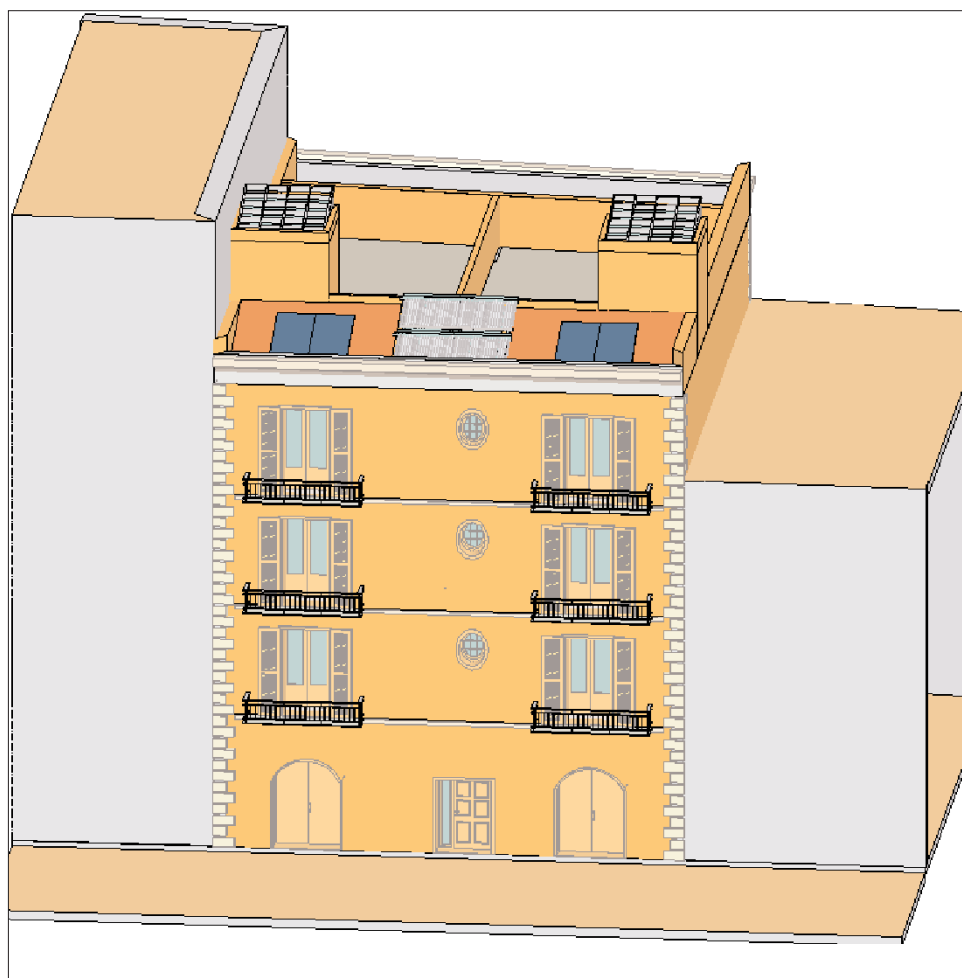
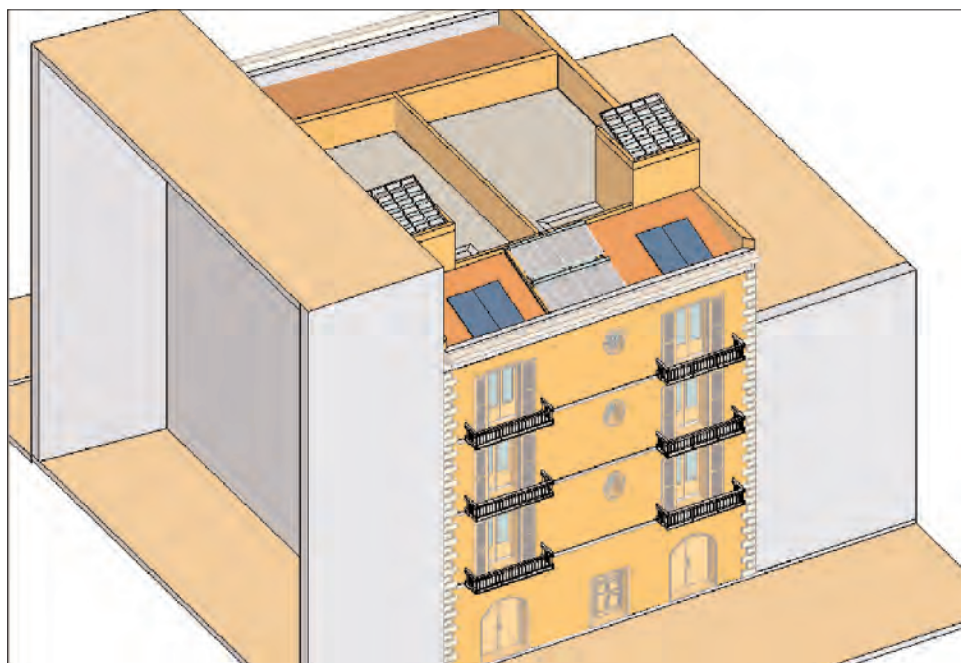
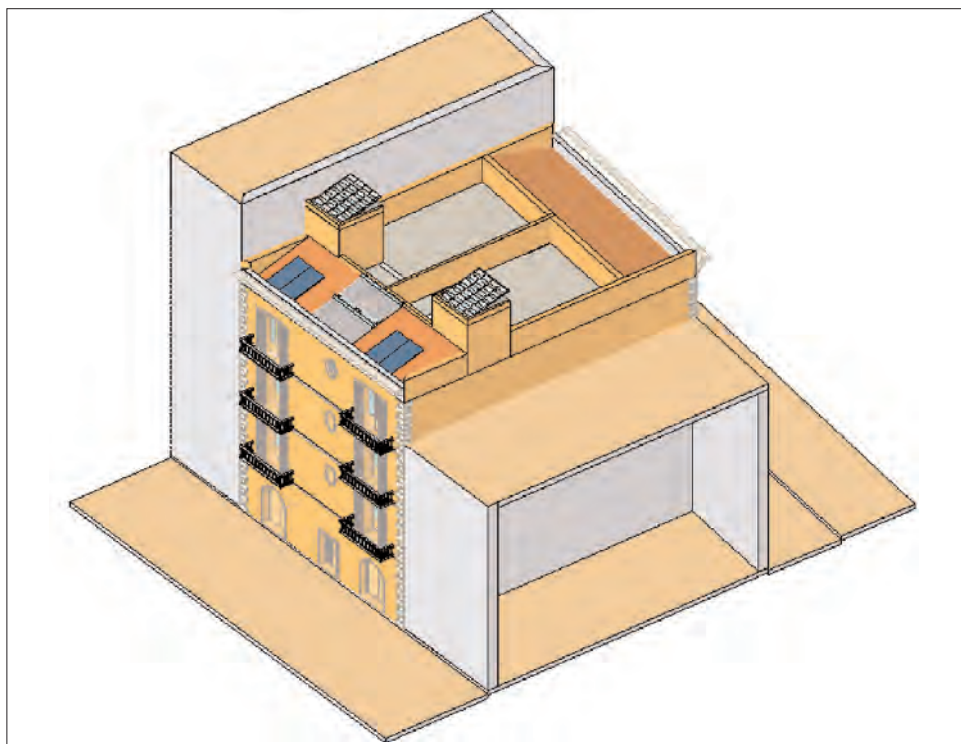
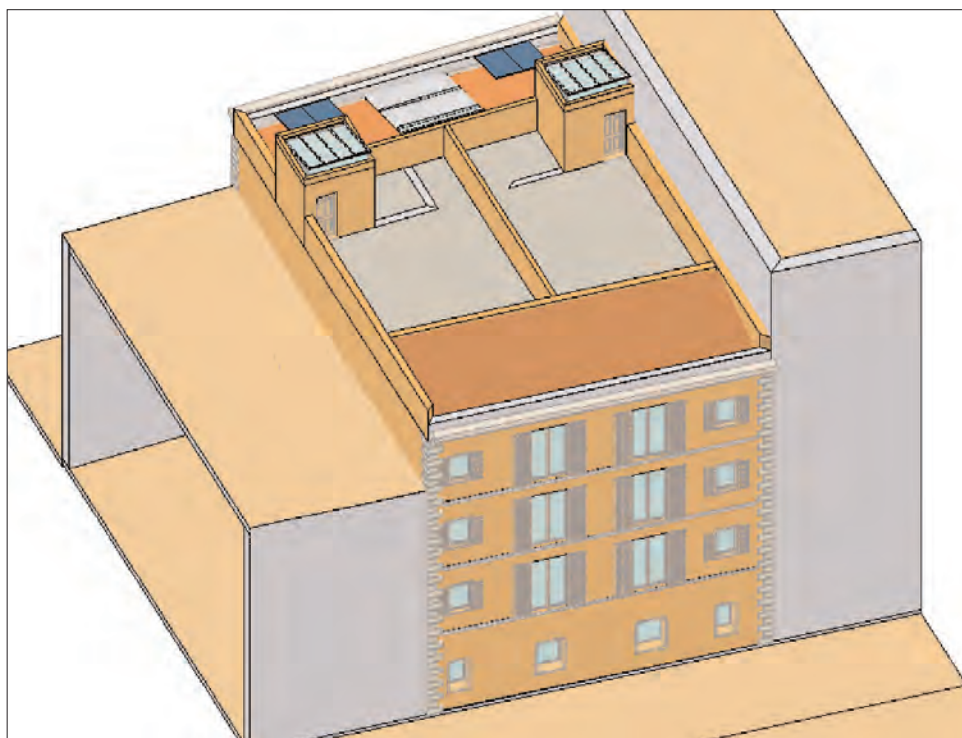
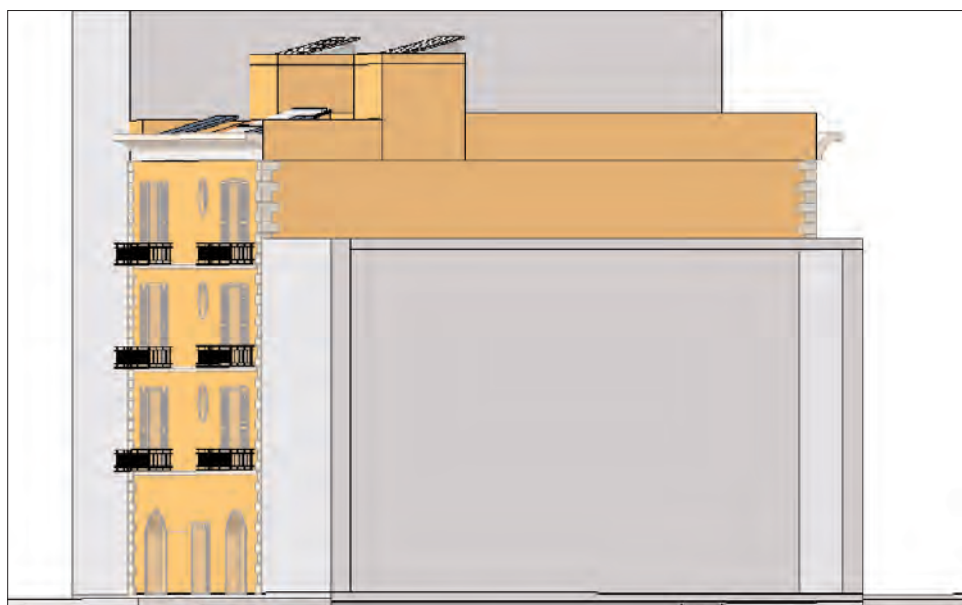


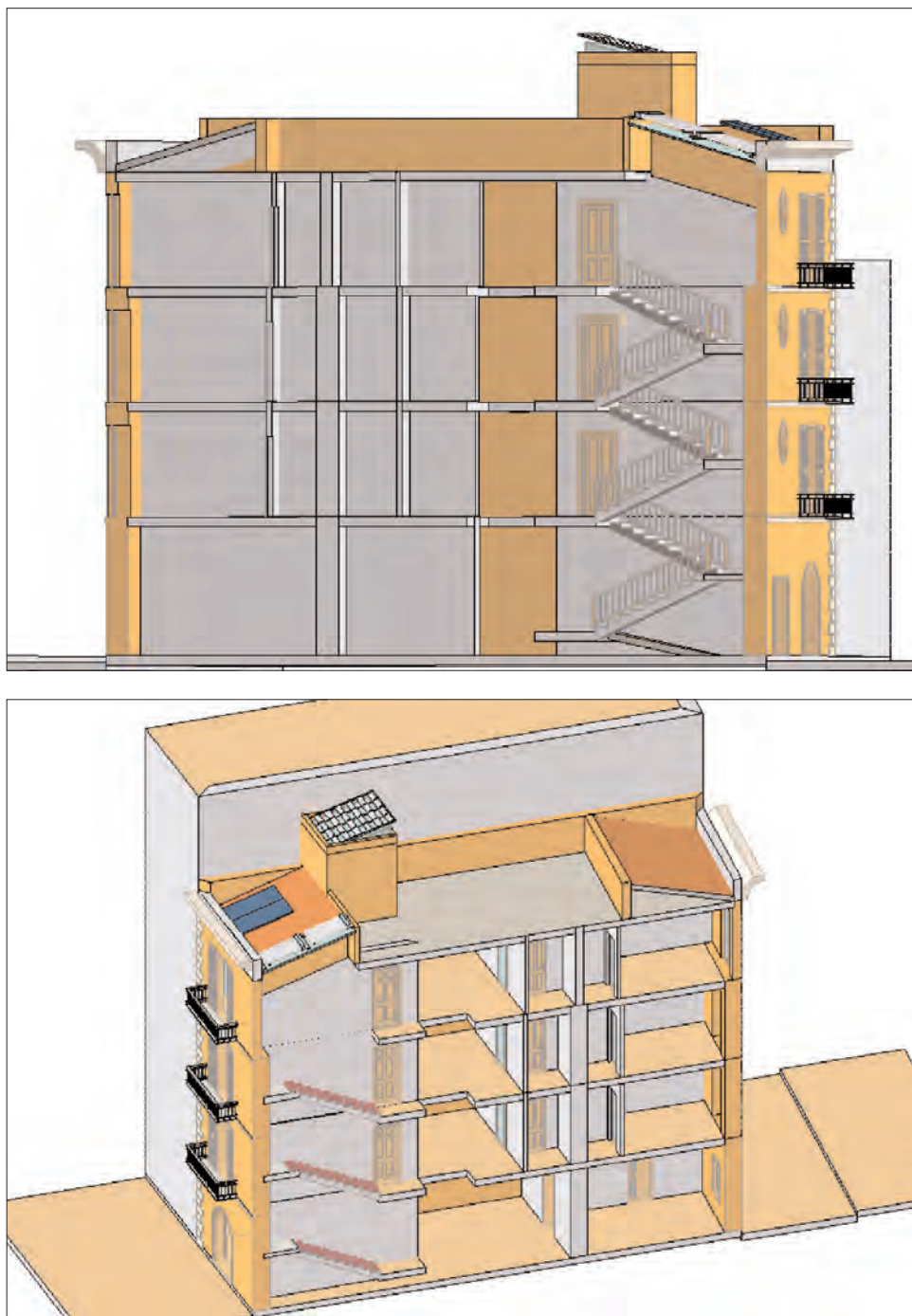
Fig. 5.1 - Pianta delle coperture











Figg. 5. 2 - Veduta d'insieme dell'edificio con l'integrazione dei pannelli solari

Ogni appartamento avrà un sistema autonomo per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria con i collettori solari. Per quanto riguarda le dispersioni lungo le tubazioni che raggiungeranno i piani inferiori, non sono state considerate, in quanto si tratta di dispersioni che si aggirano intorno allo 0,0033.

Si è calcolato che in una abitazione privata bisogna considerare un consumo di acqua di litri 80 a persona, considerando una famiglia di n 4 persone, il fabbisogno giornaliero sarà di circa litri 320.

Di seguito sono riportati i dati relativi ad una singola abitazione:

Località: Palermo

Latitudine: 38,07° Nord

Produzione: 321 Litri/giorno a 45°C

Energia totale dal sole: 3924 kWh/anno

Inclinazione: 30°

Orientamento: Sud

FCS (Fattore di Contribuzione Solare): 80%

Per quanto riguarda, invece, il ristorante, bisogna considerare un consumo di litri 8 a coperto. Considerando che il ristorante è di circa 35 coperti, il fabbisogno giornaliero sarà di circa litri 284

Di seguito sono riportati i dati relativi al ristorante:

Località: Palermo

Latitudine: 38,07° Nord

Produzione: 284 Litri/giorno a 45°C

Energia totale dal sole: 3695 kWh/anno

Inclinazione: 30°

Orientamento: Sud

FCS (Fattore di Contribuzione Solare): 83,9%

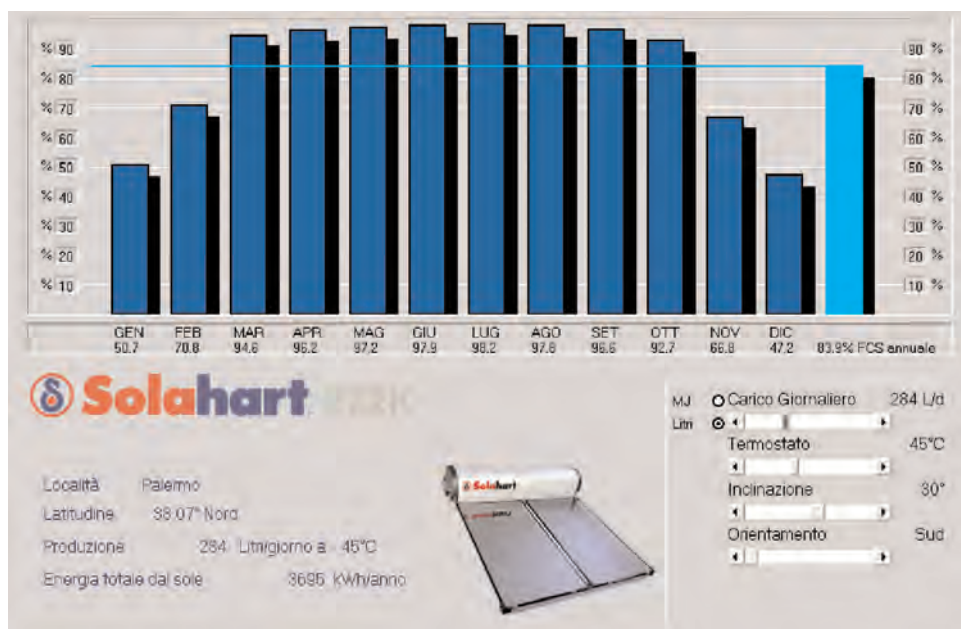


Fig. 5. 3 - Il pannello solare Solahart utilizzato

Sulla copertura troveranno posto quindi n 7 collettori solari, uno per ciascuna delle sei famiglie presenti nello stabile, ed uno per il ristorante, che occuperanno circa m2 14,00.

I collettori utilizzati saranno di due tipi: Solahart modello 222 KF e Acquisol AQS 20. Il primo è un collettore solare piano e ne verranno posizionati n. 4 sulle falde laterali con manto di copertura con tegole; gli altri n. 3 collettori saranno del tipo tubolare sottovuoto e saranno posizionati sul lucernario.

Entrambi sono a circolazione naturale, ma il serbatoio di accumulo sarà posizionato nel sottotetto, ma ad una altezza maggiore rispetto al pannello, condizione necessaria perché possa esserci la circolazione naturale. Questo perché, trovandoci nel centro storico, è preferibile disporre il serbatoio di accumulo nel sottotetto, e garantire così una integrazione architettonica idonea al contesto. Questa logica ha anche condizionato lo sfruttamento del lucernario per il posizionamento dei collettori, in modo tale che si abbia una “mimetizzazione” maggiore dell’intervento, consentendo tra l’altro l’illuminazione del vano scala, appunto coperto dal lucernario, i cui vetri sono appunto stati sostituiti da collettori solari di tipo sottovuoto.

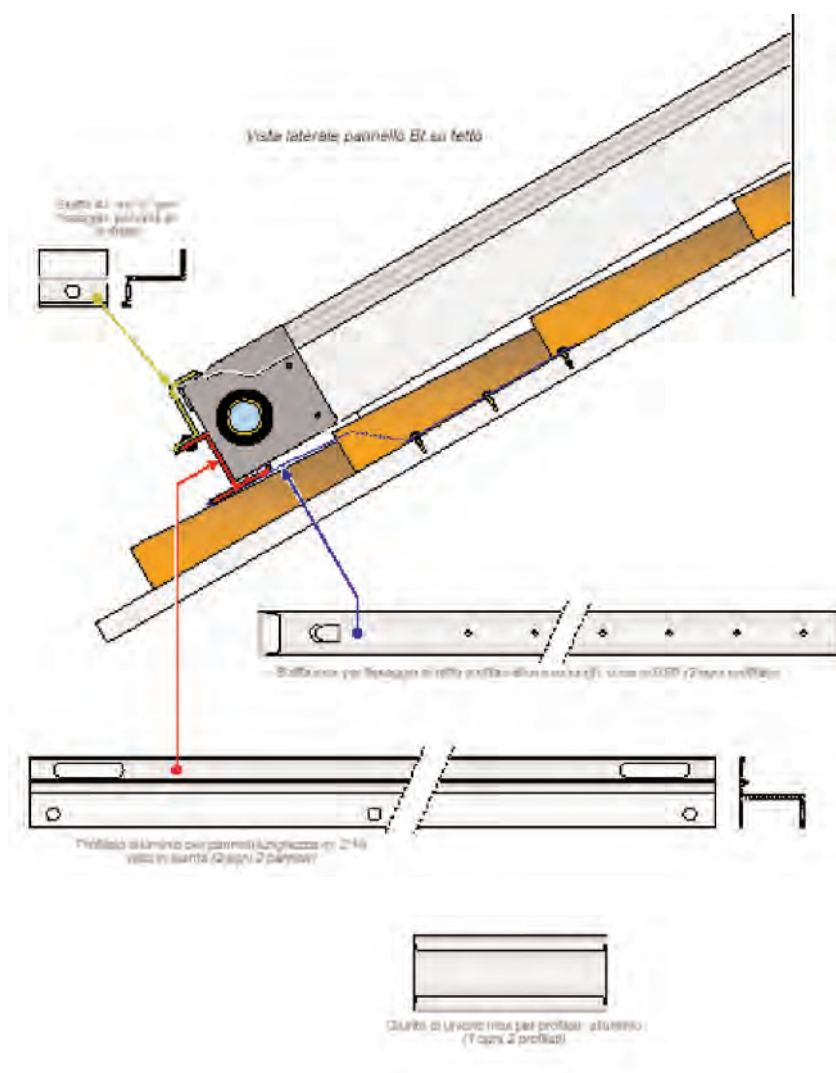
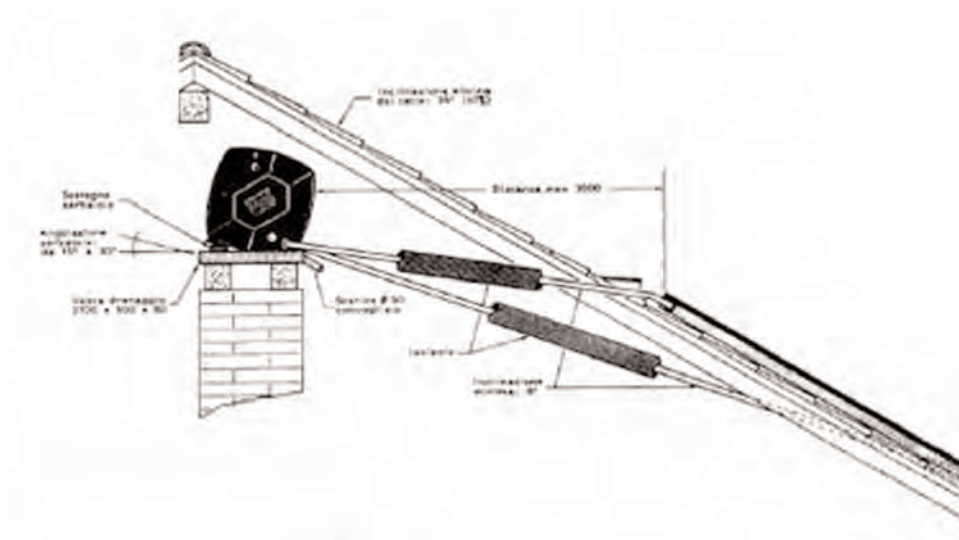


Fig. 5. 4 - Il pannello solare Solahart utilizzato



I dati tecnici relativi al modello Solahart 222 KF sono i seguenti:

Serbatoio accumulo	
Capacità totale acqua sanitaria	litri 220
Capacità circuito chiuso	litri 11,5
Peso a vuoto	Kg 80,4
Peso in esercizio	Kg 302
Dimensioni	mm. 1.760x510x510
Pressione di prova - lato circuito sanitario	atm 20
Pressione di esercizio - lato acqua sanitaria	atm 6
Pressione di prova - lato circuito chiuso	atm 2,06
Pressione di esercizio - lato circuito chiuso	atm 0,65
Valvola di sicurezza	atm 10
	T 95°
Resistenza elettrica integrativa	watt 1.800
Settaggio termostato	gradi 60°
Temperatura massima di esercizio nominale	gradi 99°
Anodo al magnesio	(mm) 2
	Lungh. (mm) 1.127
Materiale serbatoio: acciaio, con stampo a secco a basso tenore di carbonio	
Protezione interna. Vetrificazione a 860°	

Isolamento: poliuretano senza CFC iniettato a pressione

Rivestimento: lega di alluminio resistente all'ambiente marino

Collettore (n. 2)

Superficie nominale	m ² 2
Capacità	litri 3,8
Peso a vuoto	Kg 42
Peso a pieno	Kg 45,8
Dimensioni	mm 1.937x1.022x80
Pressione di prova	atm 0,8
Pressione di esercizio	atm 4,5

Superficie captante: selettiva "Chromonix Black Chrome" elettrolitica

Isolamento: lana di vetro ecologica; chimicamente non aggressiva

Cassa: lega di alluminio resistente all'ambiente marino

Vetro. Di sicurezza temperato a basso contenuto di ferro (0,04%)-trasmissione: 89%

Sistema completo

Peso a vuoto	Kg 172
Peso in esercizio	Kg 410
Dimensioni	mm 2.320x2.460x510

Certificazioni

ITW

Kit solare Solahart 222Kf a circolazione naturale con scambio termico composto da:

1 - scambiatore di calore solare ad intercapedine cilindrica con serbatoio da 220 litri di accumulo in acciaio a basso contenuto di carbonio, con doppia vetrificazione interna "Primaglaze", realizzata ad una temperatura di 860 °C. Anodo al magnesio contro la corrosione $\varnothing=21$ mm lungh.= 1.127 mm.

Resistenza elettrica integrativa da 1,8/2,4 kWh 240 Vac con bitermostato a contatto. Copertura esterna in alluminio "marine grade" da 0,4 mm e calotte laterali nere in polipropilene stabilizzato ai raggi UV. Isolamento in poliuretano iniettato ad alta pressione senza CFC.

2 - N. 2 collettori da 2 m² isolato termicamente (lana di vetro ecologica da 38 mm); assorbitore multicanale fototermico (superficie selettiva "Chromonix Black

Chrome”) in acciaio nichelato a basso contenuto di carbonio; cassa d’alluminio “marine grade” resistente all’ambiente marino. Vetro solare di sicurezza a micro-prismi da 3,2 mm a basso contenuto ferroso e temperato.

3 - Raccorderia di corredo completa in rame/ottone e attacchi a tenuta metallica conica in ottone Xylan 1010/nero.

4 - Valvola di sicurezza a 10 atm, per il sanitario a doppia funzione (pressione e temperatura).

5 - Valvola di sicurezza a pressione (0,8 atm) per il circuito chiuso.

6 - Sistema di staffaggio completo per la posa su falda in alluminio e acciaio inox.

7 - Liquido antigelo atossico ed anticorrosivo specifico per gli impianti solari Solahart, secondo formulazione della casa madre.

I dati tecnici relativi al modello Acquasol AQS 20 sono i seguenti:

Sistema ACQUASOL	
Tecnologia costruttiva	Pannello solare tubolare sottovuoto con speciale tubo di calore heat pipe
Tubi numero	20
Telaio	Acciaio inox opaco
Superficie lorda	m ² 2,2
Superficie assorbente	m ² 1,5
Peso	Kg 48
Materiale della superficie assorbente	Speciale lega nitrato alluminio (AL-N/AL)
Colore	Grigio-azzurro
Coefficiente di assorbimento	< 92% Air Mass 1,5
Coefficiente di emissione	> 0,07-0,08 a temperature superiori a 80°C
Materiale del vetro	Vetro ai silicati di boro pregiati
Resistenza tubi	8 Kg/cm ²
Sovrapressione di riempimento	6 bar
Sovrapressione max di esercizio	10 bar
Temperatura di inattività	190°C
Tecnologia di trasferimento di calore	Heat pipe
Materiale del tubo di calore	Rame C 12200
Fluido termovettore	Liquido bassobollente non tossico
Scambiatore	Acciaio inox opaco spessore mm 0,5
Dimensioni scambiatore	mm. 1500 x 160 x 150
Isolamento scambiatore	Strato di lana di vetro mm. 50
Capacità liquido scambiatore	Lt.1
Collegamenti	Tubo rame mm.22
Inclinazione consigliata	50° sud
Contrassegno della tecnologia costruttiva	Aqs20pri

I tubi di vetro sottovuoto sono la componente chiave del collettore solare con tubi sottovuoto. Ogni tubo sottovuoto consiste di 2 tubi di vetro. Il tubo esterno è composto di vetro borosilicato estremamente duro, capace di resistere ad una grandine maggiore di mm.25 di diametro. Il tubo interno è anche fatto di vetro borosilicato, ma rivestito con uno speciale rivestimento selettivo (AL – N \ AL) con eccellenti caratteristiche di assorbimento e proprietà minima di riflessione di calore. L'aria è aspirata tra i due vetri fino a formare il sottovuoto col quale si eliminano le perdite di calore conduttivo e convettivo. Per ottenere il sottovuoto tra i due strati di vetro, è utilizzato un anello di bario (lo stesso dei tubi catodici delle televisioni). Durante la produzione questo anello è esposto ad alte temperature che causano nel fondo del tubo una copertura con uno strato puro di bario. Lo strato attivo di bario assorbe ogni particella di ossido di Carbonio (CO), Anidride Carbonica (Co₂), Azoto (N₂), Ossigeno (O₂), Acqua (H₂O), Idrogeno (H₂), consentendone la fuoriuscita durante la costruzione del tubo, ed aiutando così a mantenere il sottovuoto. Il colore argentato dello strato di bario assicura la permanenza del sottovuoto; la comparsa di un alone bianco sul fondo indica la perdita del sottovuoto. Ciò consente di determinare il corretto funzionamento del tubo.

Caratteristiche tecniche dei tubi sottovuoto:

Lunghezza	1500mm
Diametro esterno	47mm
Diametro interno	37mm
Spessore del vetro	1.6mm
Espansione termica	3.3x10 ⁻⁶ oC
Materiale	Vetro Borosilicato 3.3
Materiale assorbente	Al-N/Al
Capacità d'assorbimento	> 92% (AM 1.5)
Emissività	< 8% (80° C)
Sottovuoto	P < 5x10 ⁻³ Pa
Temperatura di stagnazione	> 200oC
Perdita di calore	< 0,8 W / (m ² 0C)
Massima resistenza	0.8 MPa
Garanzia	5 anni

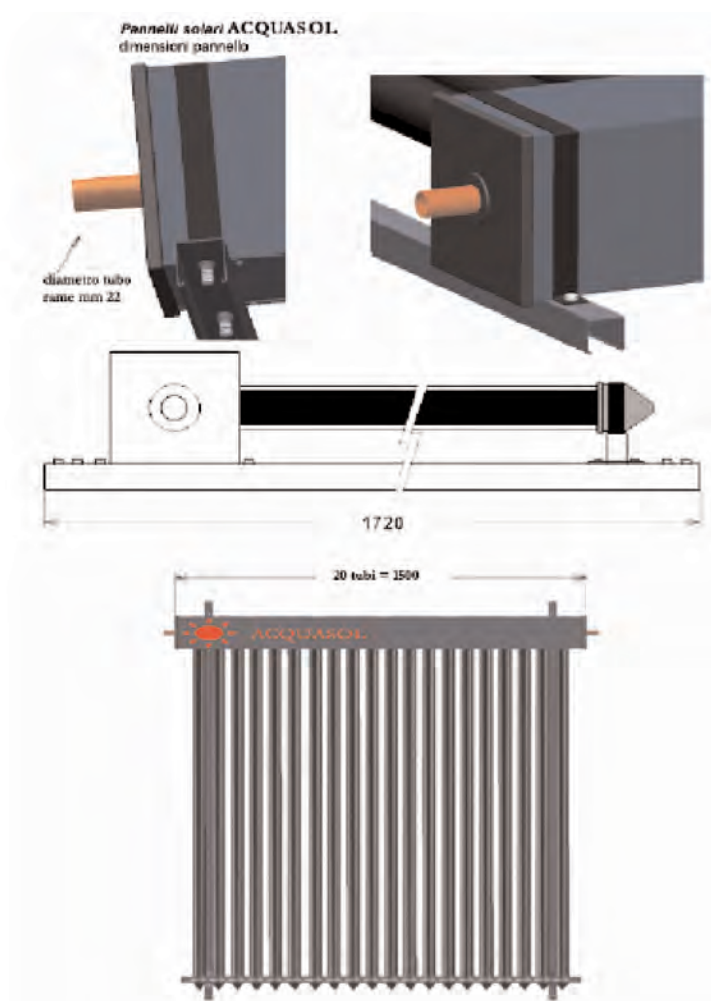


Fig. 5. 5 - Il pannello Acquasol utilizzato

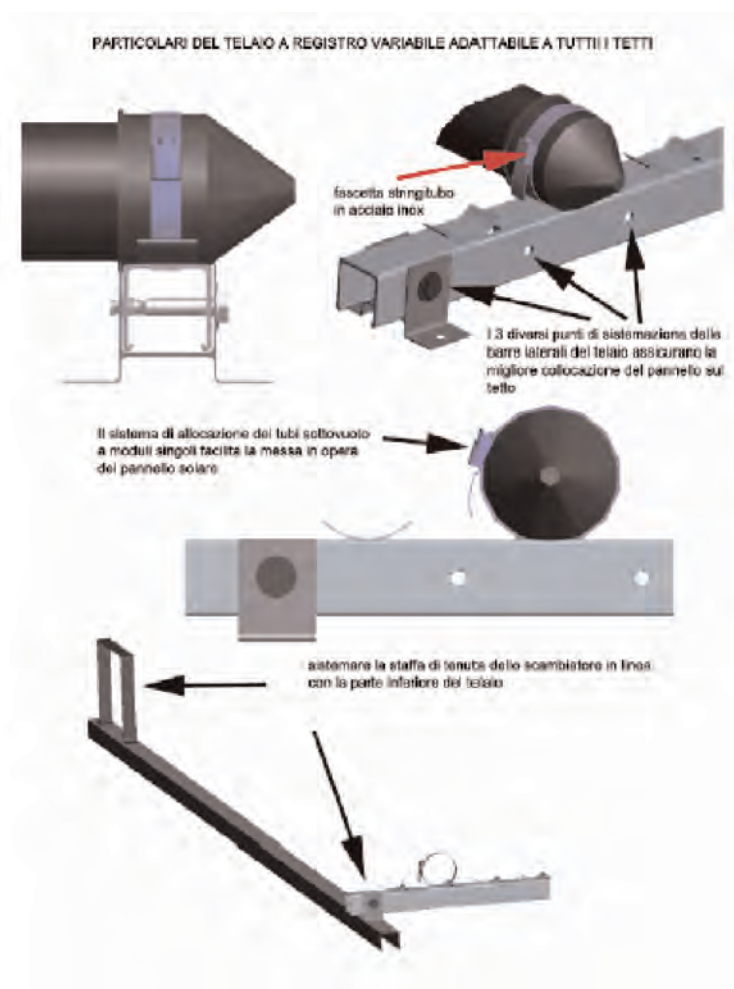


Fig. 5. 6 - Il pannello Acquasol utilizzato

CAPITOLO 6

Il pavimento radiante

Alberto Maria Lucchesi Palli

6. 1. I pannelli radianti

I pannelli radianti sono sistemi di riscaldamento che utilizzano il calore proveniente da tubazioni collocate dietro le superfici dell'ambiente da riscaldare.

Si suddividono generalmente in pannelli radianti a pavimento e pannelli radianti a parete. Il principio si basa sulla circolazione di acqua calda a bassa temperatura, fra i 30° e i 40 °C, in un circuito chiuso, che si sviluppa coprendo una superficie radiante molto elevata. Le disposizioni possibili delle tubazioni sono tre:

a spirale (o *chiocciola*), dove i tubi di mandata viaggiano paralleli a quelli di ritorno,

a serpentina, dove i tubi vengono posati a zig-zag

a griglia, con tubi paralleli compresi tra due grossi collettori

Nel settore residenziale sono usati solo i primi due sistemi; mentre il terzo, ormai in disuso, è applicabile per riscaldare grosse aree (es. capannoni).

6. 2. I pavimenti radianti a pavimento

Vi sono diversi tipi di struttura di pavimenti radianti: la *norma UNI EN 1264* ne distingue tre:

Tipo A: Impianti con tubi annegati nello strato di supporto

Tipo B: Impianti con tubi sotto lo strato di supporto

Tipo C: impianti annegati in uno strato livellante, in cui lo strato aderisce ad un doppio strato di separazione.

Nella versione più semplice (tipo A), il sistema viene realizzato inserendo un isolante sopra la soletta portante del pavimento; il materiale più diffuso è il polietilene espanso in lastre, lisce o con sagomature particolari, ma sono presenti sul mercato anche la fibra di legno, il sughero e altri. Al di sopra dell'isolante vengono posate le tubazioni o i conduttori scaldanti, che vengono annegate completamente nello *strato di supporto* (il "massetto"), generalmente costituito da calcestruzzo. Infine, si ricopre il massetto con il *rivestimento finale*: solitamente piastrelle, ma anche parquet, linoleum, moquette, ecc.

Le tubazioni previste dalla norma per impianti ad acqua, sono di polietilene reticolato (PE-X), polibutilene (PB), polipropilene (PP), rame; l'uso dell'acciaio è

stato abbandonato, sebbene i primissimi impianti fossero eseguiti con questo materiale. Il passo di posa è variabile, perfino all'interno dello stesso locale: il progettista può scegliere di infittire i passi laddove è necessaria una maggiore emissione termica, cioè vicino alle pareti esterne. Per impianti realizzati con conduttori elettrici specifici, il sistema di installazione non varia, ma essendo essi di più facile lavorabilità, la realizzazione di un impianto risulta più semplice e veloce.

Per gli impianti ad acqua, le tubazioni in materiale plastico, in particolare quelle in PE-X, sono le più comuni: essendo flessibili e leggere, hanno una maggiore *facilità di posa*; esse devono essere dotate di uno strato barriera all'ossigeno, per proteggere l'impianto dalla corrosione. Seppure meno diffuse sul mercato, vengono installate anche tubazioni in rame. Il vantaggio di queste consiste nella loro altissima conduttività termica ($390 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$), che permette una *efficienza* altrimenti non raggiungibile; il rame ha passi più ampi (in genere 20–25 cm), è impermeabile all'ossigeno e presenta una dilatazione termica più vicina a quella del massetto in cui è immerso.

Vantaggi - Rispetto ai tradizionali radiatori, il pavimento radiante ha i seguenti vantaggi:

minori costi di esercizio, in quanto è un sistema a bassa temperatura, con tubazioni o conduttori elettrici che lavorano a circa 28–40 °C (nei comuni caloriferi: 70–80 °C). Nel caso di impianti ad acqua, è possibile collegare l'impianto ad un pannello solare, riducendo ulteriormente i costi del riscaldamento (la cui entità dipende dall'impianto e dalla tipologia di locali). I costi ed i consumi si riducono ulteriormente accoppiando il sistema ad una moderna caldaia a condensazione.

Svantaggi - Analogamente, il sistema a pannelli radianti presenta alcuni svantaggi da tenere presenti:

i pannelli radianti richiedono uno spessore supplementare di 7–10 cm sul pavimento, che possono risultare problematici durante le ristrutturazioni. Questo sistema andrebbe realizzato contestualmente alla fase costruttiva dell'abitazione. Esistono comunque dei sistemi radianti a secco che contengono gli spazi di installazione e sono adatti alle ristrutturazioni.

Costi di realizzazione superiori: sono più elevati poiché è presente più materiale e maggiore risulta la relativa manodopera.

6. 3. I pannelli radianti a parete

Questi pannelli radianti vengono installati nelle pareti del locale rivolte verso l'esterno: con questo accorgimento si *limitano le dispersioni termiche*, dal momento che sotto le tubazioni vengono inseriti gli isolanti, e vengono annullate o ridotte le differenze di temperatura tra pareti calde e pareti fredde. La superficie occupata dalla parte radiante delle pareti dipende dalla temperatura di progetto (*più alta rispetto ai sistemi a pavimento*), ma in genere varia da 1/3 a 1/2 della superficie calpestabile. Le tubazioni non si estendono oltre i 2 metri d'altezza.

Un sistema di riscaldamento simile è quello *a battiscopa*. All'interno di uno speciale battiscopa circolano piccole tubazioni (spesso di rame con alettature in alluminio) in cui scorre acqua calda. L'aria che entra in contatto con il tubo si surriscalda, esce da una fessura superiore del battiscopa e sale lambendo la parete; quest'ultima a sua volta si scalda e irradia calore verso l'interno della stanza.

La posa dei pannelli radianti a parete è più semplice rispetto a quelli a pavimento, anche se ne ricalca i principi fondamentali. Sopra la parete viene posato l'isolante su cui vengono fissati i tubi; su questi vengono stesi strati di intonaco cementizio, che li ricoprono completamente. Una rete portaintonaco e la realizzazione della finitura superficiale completano l'opera.

Vantaggi - Il riscaldamento a parete presenta alcuni vantaggi rispetto a quello a pavimento:

Installazione più semplice: sono addirittura disponibili sul mercato moduli pre-assemblati o pre-piegati.

minore inerzia termica : una volta messe in funzione, le pareti radianti cominciano a riscaldare prima, essendoci meno spazio tra tubo e parete, e circolando acqua a temperatura più alta.

Benessere più elevato: il corpo umano si sviluppa in verticale e riceve meglio il calore da una parete.

Possibilità di raffrescamento: i pannelli a parete, con opportune modifiche possono essere predisposti per il raffrescamento estivo, facendo scorrere acqua fredda all'interno delle tubazioni. Per evitare fenomeni di condensa, è necessario tenere sotto controllo l'umidità del locale.

Svantaggi - Bisogna tenere conto anche di alcuni svantaggi:

Limiti nell'arredamento: ovviamente non si possono mettere mobili voluminosi contro le pareti radianti. Bisogna conoscere il percorso delle tubazioni quando si ef-

fettuano interventi sulle pareti.

Insufficienza negli ampi spazi: se il locale è relativamente grande, lontano dalle pareti radianti il calore percepito può risultare insufficiente.

6. 4. Il progetto di un pavimento radiante

Scopo del Progetto è il corretto dimensionamento di un pavimento radiante all'interno di una villetta unifamiliare e la conseguente scelta del tipo di impianto da adoperare utilizzando il software HT 2000 della Eurotherm spa di Bolzano.

L'edificio prescelto è una villetta unifamiliare di mq 80 circa, situato a Palermo, composto da quattro vani abitabili (cucina soggiorno, due camere da letto, uno studio), un servizio ed un disimpegno.

Per realizzare un pavimento radiante si installa una serpentina collegata alla caldaia, all'interno della quale passa l'acqua ad una temperatura di circa 25°-26°C. Il riscaldamento a pavimento è composto da un pannello isolante sul quale vengono installati dei piccoli tubicini, attraverso i quali passerà l'acqua sotto il pavimento. I tubi sono costruiti con un materiale resistente ai perossidi e alle alte pressioni. Al di sopra di questo sistema si getta uno strato di cemento e sabbia, miscelato con un fluido termoconduttore, dove sarà possibile montare qualsiasi pavimento.

L'impianto di riscaldamento a pavimento ha noti vantaggi dal punto di vista energetico:

1. il pavimento aumenta la temperatura dell'aria interna omogeneamente e non crea movimenti d'aria eccessivi alzando polveri pericolose e dando un comfort di calore omogeneo in ogni punto dell'appartamento;
2. l'acqua che viene convogliata nell'impianto ha una temperatura più bassa di circa 20/25 gradi rispetto ai tradizionali sistemi di riscaldamento. Questo perché il riscaldamento degli ambienti è diffuso, e quindi serve una temperatura d'esercizio minore nell'impianto. Mentre il riscaldamento a termosifoni è basato sull'acqua molto calda (circa 65/75gradi) che scalda il termosifone in un punto della stanza, il quale deve scaldare l'aria vicina al termosifone stesso che scalda anche l'aria dall'altra parte della stanza.

Prima di effettuare, quindi, il dimensionamento dell'impianto sono stati presi in considerazione i requisiti che un impianto di riscaldamento deve avere :

- soddisfare le esigenze di comfort termico dell'utente finale;
- essere efficiente e consentire quindi un risparmio energetico.

Dopo aver analizzato i vari tipi di impianto della Eurotherm e considerando la forma, la dimensione e la localizzazione dell'edificio si è deciso di adoperare il **Sistema "Eurotop"** con un massetto tradizionale di mm 45 posto sopra il tubo in polietilene dell'impianto. Questo sistema garantisce un ottimo isolamento verso il basso grazie all'uso del poliuretano con doppio alluminio come isolante, ed anche

ottimi i risultati per l'isolamento acustico. Inferiormente è caratterizzato da uno strato di sughero e gomma dello spessore di 3 mm

Un volta disegnata la pianta dell'edificio si è proceduto con il calcolo del fabbisogno energetico degli ambienti, si sono verificate le superfici e si è fatto un primo dimensionamento di massima per stabilire quanti anelli occorre e conseguentemente quanti collettori utilizzare.

Si è così stabilito di utilizzare due collettori ognuno dei quali capace di alimentare cinque anelli.

Il numero dei collettori con il relativo numero di anelli, è stato determinato in base alla superficie da riscaldare. Infatti ogni anello può avere una lunghezza massima di ml 120, se il tubo utilizzato ha un $\varnothing$ di mm 12, o di ml 100, se si adopera un $\varnothing$ di mm 10; considerando le superfici dei nostri ambienti e trasformandoli in ml, si ottiene che, tranne il bagno e il disimpegno, tutti gli altri ambienti superano i 120 ml, quindi è necessario considerare due anelli per le camere da letto e lo studio, tre per il soggiorno/cucina.

L'impianto per funzionare correttamente e soddisfare i requisiti richiesti avrà una temperatura di mandata di circa 48°C, mentre il passo degli anelli (distanza tra i tubi che formano la serpentina di un anello) all'interno delle stanze varia dai 10 ai 20 cm, in rapporto alle dimensioni e al fabbisogno di ogni ambiente.

I collettori utilizzati sono del tipo Rafting completo a cinque vie con una portata complessiva di 656 Kg/h, in grado di alimentare correttamente gli anelli assegnatigli.

Il primo collettore, denominato 101, serve le due camere da letto e il bagno; il secondo collettore, denominato 102, alimenta il soggiorno/cucina e lo studio.

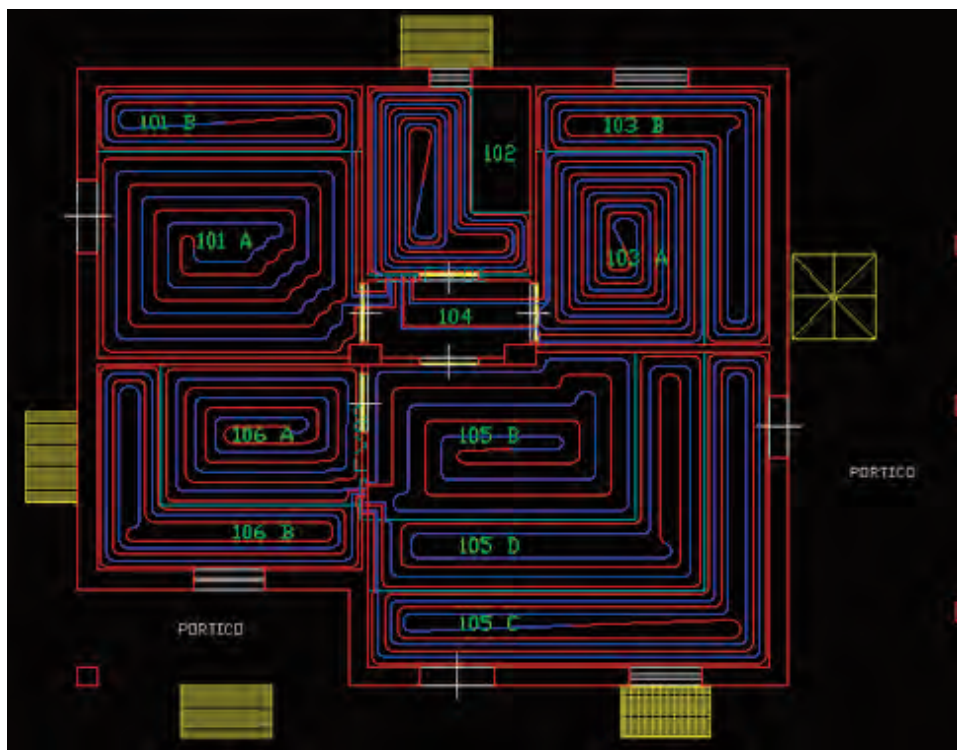
Sono infine stati inseriti dei giunti di dilatazione per delimitare i massetti dei singoli anelli, per evitare che si possano danneggiare per effetto delle differenze di temperatura.

I giunti di dilatazione partono dai punti del locale in cui si originano variazioni della superficie o da angoli interni della superficie stessa. e interrompono il massetto e il rivestimento del pavimento. In questo progetto, per la conformazione della pianta, è stato sufficiente inserire i giunti soltanto in corrispondenza delle soglie delle porte interne. Non è stato necessario inserirne altri, poiché:

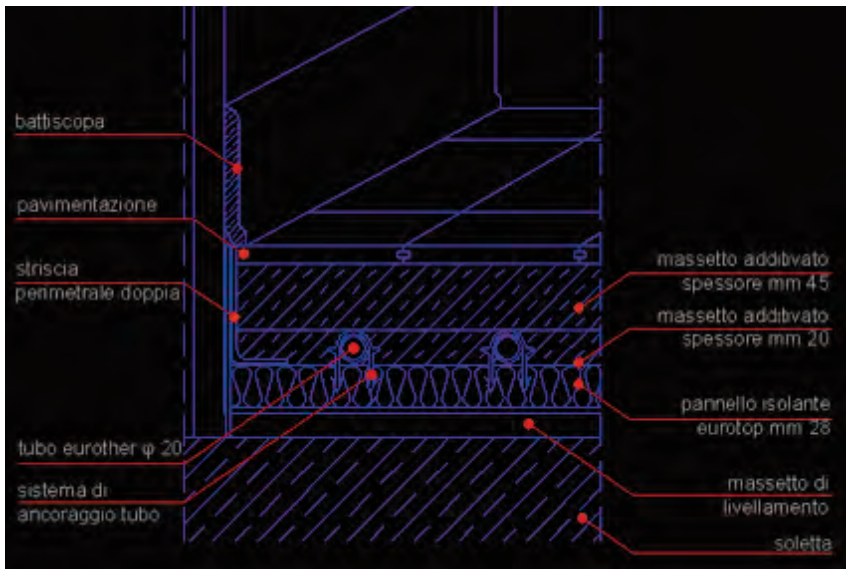
- non sono presenti giunti di dilatazione del fabbricato;
- ogni locale non supera i mq 40,00;
- il rapporto dei lati di ogni locale non supera 2 a 1;
- non vi sono locali con lati la cui dimensione supera gli 8 metri;

non vi sono significativi angoli interni.

Di seguito vengono riportati gli elaborati grafici di progetto e i dati di calcolo.



Pianta dell'edificio con l'impianto a pavimento radiante



Sezione del pavimento

Tab. 1. COLLETTORE 101

COLLETTORE RAFTING COMPLETO, 5 ANELLI, PORTATA COMPLESSIVA: 656 KG/H

QUANTITÀ DI CALORE DA FORNIRE ALL'AMBIENTE:

Camera doppia 1410 W

Bagno 755 W

Camera singola 1290 W

Numero- Locale	Descrizione- locale	ti[°C]	F _{avR} h _f [m ² K/W]	q _{spec} [W/m ²]	Q- Reid. R _{Pav} [W]	tm-rt [K]	In [cm]	Area riscald. [m ²]	t _{sup} [°C]	Area adduz. [m ²]
101A	Camera	20	0,100	76	0	6	20	13,10	27,0	0,4
101B	doppia	20	0,100	100	0	3	10	4,1	29,0	0,0
102	Bagno	20	0,100	137	-107	11	7,5	5,5	34,4	0,0
103A	Camera	20	0,100	81	0	8	15	7,4	27,4	0,4
103B	singola	20	0,100	100	0	3	10	6,6	29,0	0,0

Numero locale	Zona	Numero anelli	Lunghezza adduzione [m]	Lunghezza anello-tot. [m]	Portata compl. [kg/h]	Perdita press- tot. [mbar]	Perdita press- val. [mbar]	v [m/s]	Impedim. valvola R1-R2	Port-di- carico [l/min]
101A	2a	1	2,2	65,9	160	49	9	0,22	2,25---2,25	2,7
101B	2a	1	6,3	47,2	140	31	7	0,19	2,25---2,00	2,3
102	2a	1	0,4	73,6	57	6	1	0,08	1,25---1,00	1,0
103A	2a	1	5,9	55,4	71	10	2	0,10	1,25---1,25	1,2
103B	2a	1	9,9	75,8	228	104	17	0,32	5,00---3,25	3,8

Tab. 2. COMPOSIZIONE DELLE ADDUZIONI

Numero Locale	Descrizione locale	Lung. [m]	Attraverso il locale	Passo	Potenza dell'adduzione [%]
101A	Camera doppia	1,6	104	7,5	50
		0,2	101A	7,5	100
		0,5		10,0	50
101B		4,7	101°	7,5	100
		1,0	104	7,5	50
		0,2	101B	7,5	100
		0,5		10,0	50
102	Bagno	0,2	102	7,5	100
		0,2		10,0	50
103A	Camera singola	5,4	104	7,5	50
		0,1	103A	7,5	100
		0,4		10,0	50
103B		4,9	103°	7,5	100
		4,3	104	7,5	50
		0,2	103B	7,5	100
		0,5		10,0	50

Tab. 2. COLLETTORE 102

COLLETTORE RAFTING COMPLETO, 5 ANELLI, PORTATA COMPLESSIVA: 706 KG/H

QUANTITÀ DI CALORE DA FORNIRE ALL'AMBIENTE:

soggiorno + cucina 2335 W

Studio 1170 W

Numero Locale	Descrizione locale	ti [°C]	P _{av.R. Ib.} [m²K/W]	q _{spec} [W/m²]	Q-Resid. RPav. [W]	tm-fx [K]	In [cm]	Area riscald. [m²]	t _{sup} [°C]	Area adduz. [m²]
105B	Soggiorno + cucina	20	0,100	54		11	25	10,2	25,1	0,1
105C		20	0,100	89		szp 4	15	11,0	28,1	0,0
105D		20	0,100	94		szp 6	10	8,6	28,5	0,2
106A	Studio	20	0,100	80		9	15	6,7	27,3	0,1
106B		20	0,100	100		szp 3	10	6,3	29,0	0,0

Numero locale	Zona	Numero anelli	Lunghezza adduzione [m]	Lunghezza anello tot. [m]	Portata compl. [kg/h]	Perdita press. tot. [mbar]	Perdita press. val. [mbar]	v [m/s]	Impostaz. valvola R1 R2	Port. di carico [l/min]
105B	za	1	0,4	41,2	50	3	1	0,07	1,00 1,00	0,8
105C	szp	1	3,2	76,4	253	126	21	0,35	5,00 5,00	4,2
105D	za	1	1,3	85,6	132	43	6	0,18	2,00 2,00	2,2
106A	za	1	0,5	45,4	61	7	1	0,08	1,25 1,25	1,0
106B	szp	1	1,0	63,8	210	78	15	0,29	2,75 2,75	3,5

Tab. 4 COMPOSIZIONE DELLE ADDUZIONI:

Numero Locale	Descrizione locale	Lung. [m]	Attraverso il locale	Passo	Potenza dell'adduzione [%]
105B	Soggiorno + cucina	0,2 0,2	105B	7,5 10,0	100 50
105C		2,2 0,2 0,3 0,5	105D ^a 105C 105B	7,5 7,5 7,5 10,0	100 100 100 50
105D		1,0 0,1 0,2	105B 105D	7,5 7,5 10,0	100 100 50
106A	Studio	0,2 0,3	106A	7,5 10,0	100 50
106B		0,5 0,2 0,3	106A 106B	7,5 7,5 10,0	100 100 50

BILANCIO

Temperatura di mandata	48,0 °C
Temperatura media di ritorno	43,0 °C
Fabbisogno termico totale	6960 Watt
Potenza totale	7915 Watt
Portata complessiva	1362 kg/h
Perdita massima di pressione	126 mbar
Contenuto acqua	127 l
Totale area riscaldata RPav	80,1 mq
Totale area locale	81,9 mq

Tab. 5. DATI RELATIVI AI DUE COLLETTORI

Collettore	Numero anelli	Portata compl. [kg/h]	Perdita press. tot. [mbar]	Lunghezza tubo [m]	Numero radiatori collegamenti
101	5	656	104	318,0	
102	5	706	126	312,0	

Tab. 6. LOCALI CON FABBISOGNO TERMICO RESIDUO

Numero locale	Descrizione locale	Q-Resid. [W]	Q-Resid. % dal Fabb. termico
102	Bagno	107	14,2

Tab. 7. QUANTITATIVI

Quantità	Descrizione	Prezzo unitario	Prezzo totale
82 mq	LASTRA ISOLANTE EUROSUPER 33 mm	26,96	2210,72
720 m	TUBO MIDI COMPOSITE 20/2 PEOC SYSTEM	2,14	1540,80
100 m	STRISCIA PERIM. DOPPIA - MOD. H: 150 MM SPESS: 6+2 MM	1,45	145,00
92 mq	RETE ELETTROSALDATA ZINCATA - MOD. 5x5 con filo da 2 mm	3,52	323,84
181 mq	FOGLIA in PE - spessore: 0,2 mm	0,98	177,38
20 m	GUAINA ISOLANTE	1,36	27,20
6 m	GIUNTO DI DILATAZIONE	4,18	25,08
20 kg	ADDITIVO EUROPLAST	5,92	118,40
4 rot.	NASTRO ADESIVO COPRIGIUNTO EU- ROTHERM	3,92	15,68
2 l	SENTINEL XI00 INIBITORE	45,47	90,94
2100 nr.	CLIPS SISTEMA TACKER	0,18	378
	TOTALE		5053,04
2 nr.	COLLETTORE RAFTING- MOD. 05+05 COMPLETO	245,80	491,60
2 nr.	CASSETTA A MURARE - MOD. DA 04 A 05 ATTACCHI	129,50	259,00
20 nr.	CURVA GUIDA 90° PER TUBO FINO ø 20	2,28	45,60
1 nr.	SPIROVENT JUNIOR 1"	128,50	128,50
	TOTALE		5977,74
	20 % Iva		1195,55
	TOTALE		7173,29

CAPITOLO 7

L'illuminazione naturale e artificiale

Francesca Scalisi

7. 1. Introduzione

L'illuminazione è un fattore molto importante per il benessere abitativo e lavorativo ed è anche un rilevante fattore economico, visto che l'illuminazione artificiale richiede molta energia che deve essere pagata. Il controllo dell'illuminamento naturale è uno dei requisiti che concorrono al mantenimento dell'equilibrio omeostatico dell'uomo ed in particolare al soddisfacimento dell'esigenza di benessere visivo. I fattori che assicurano ad un ambiente illuminato naturalmente un adeguato grado di comfort visivo sono:

- ottimale livello di illuminamento in tutti i posti all'interno del campo della visione;
- assenza di grandi variazioni di luminanza nel campo della visione per non interferire sulla normale capacità di adattamento dell'occhio;
- adeguati contrasti di luminanza e di colore tra gli oggetti e lo sfondo;
- protezione dell'occhio dall'abbagliamento dovuto a luce diretta o riflessa;
- assenza di forti ombre sulle superfici di lavoro

Al fine di valutare l'illuminazione degli ambienti occorre, in prima istanza, quantificare la luce che investe superfici e oggetti. La quantità di lumen per ogni metro quadrato, lux^1 , di superficie investita dai raggi luminosi rappresenta il livello di illuminamento, o più genericamente l'*illuminamento*² presente in ogni ambiente, relativo ad un piano orizzontale, verticale o inclinato che si ritiene essere il luogo in cui risiedono i principali compiti visivi. La quantità di illuminazione naturale di un interno può essere, quindi, espressa in lux, ma per renderla indipendente dal livello di illuminamento esterno viene più correttamente espressa come fattore di luce diurna: lo si può definire come il rapporto fra il livello di illuminamento, espresso in lux, in un punto posto su un piano orizzontale all'interno del locale e il livello di illuminamento in un punto posto su di un piano orizzontale sotto l'intero emisfero celeste in assenza di ostruzioni e di irraggiamento solare diretto con misure fatte nello stesso momento.

Così nel progetto dell'illuminazione di un ambiente destinato ad ospitare attività di ufficio, il piano di riferimento principale sarà quello orizzontale delle scrivanie, a circa 80 cm dal pavimento; nel caso di una pinacoteca, viceversa, l'interesse sarà rivolto ai piani verticali delle pareti che ospitano le opere d'arte³.

Nella seguente Tabella sono elencanti i Livelli di illuminamento raccomandati

per luoghi di attività e di compiti visivi, secondo la Norma UNI 10380:

Illuminanti (lux) min. medio max	Tipi di compiti visivi o luoghi di attività
20 - 30 - 50	Aree esterne adiacenti agli ingressi
50 - 75 - 100	Aree di transito o per soste di breve periodo
100 - 150 - 200	Lavori saltuari come, per esempio, sorveglianza; luoghi di deposito, atri, corridoi, scale, guardaroba
150 - 200 - 300	Lavori occasionali in industrie automatizzate
200 - 300 - 500	Lavori con esigenze visive semplici come, per esempio lavorazioni grossolane a macchina
300 - 500 - 750	Lavori con esigenze visive medie come, per esempio su macchine utensili, sale di controllo, uffici
500 - 750 - 1000	Lavori con elevate esigenze visive come, per esempio, cucitura, ispezione e prova materiali; sale da disegno
750 - 1000 - 1500	Compiti visivi con dettagli critici come, per esempio, lavori di meccanica fine ed esame dei colori
1000 - 1500 - 200	Compiti visivi con speciali requisiti come, per esempio, incisione a mano e verifica di lavori di alta precisione
> 2000	Compiti visivi di eccezionale difficoltà come, per esempio, assemblaggio di componenti elettronici miniaturizzati

Negli spazi per attività principale il livello del fattore di luce diurna medio deve essere: $FLDm \geq 2\%$. Negli spazi per attività principale destinati a funzioni plurime il livello di fattore luce diurna medio deve essere $FLDm \geq 1\%$; la superficie vetrata può essere collocata in parte a soffitto, fermo restando che va garantita la visione di elementi del paesaggio dai punti fissi di lavoro. Inoltre, deve essere assicurato un livello di $FLDm \geq 2\%$ in uno spazio di 9 mq attorno ai punti fissi di lavoro individuati sui disegni di progetto e per almeno 6 mq per ogni addetto⁴.

Gli edifici, qualsiasi sia l'uso cui debbono essere adibiti, devono essere progettati nel rispetto delle specifiche normative vigenti in materia di illuminazione. Negli edifici di nuova costruzione tutti i locali di abitazione permanente devono usufruire di illuminazione naturale diretta. Ciascun vano deve avere superfici finestrate in misura non inferiore a $1/8$ della superficie del pavimento $S_f > 1/8 S_p$. Detto rapporto potrà essere ridotto ad $1/12$ per i locali sottotetto (lucernari o finestre in falda). Nel caso in cui la profondità del locale superi 2,5 volte l'altezza dell'architrave della fi-

nestra, la superficie finestrata deve essere aumentata di una quota pari ad $1/10$ della superficie della porzione di locale posta oltre detta profondità. Non sono ammessi locali di abitazione permanente che presentino profondità oltre 3,5 volte l'altezza dell'architrave della finestra. Le superfici vetrate devono avere coefficienti di trasparenza $t > 0,7$; per finestre con superficie trasparente ostruita da balconi o aggetti di profondità superiore a 1 m, la dimensione della superficie illuminante dovrà essere aumentata di $0,05 \text{ m}^2$ ogni cm 5 di ulteriore aggetto oltre 1 m. Tali prescrizioni trovano applicazione anche per gli edifici esistenti, fatta eccezione per gli interventi da eseguirsi su edifici di valore storico-architettonico, per i quali l'adeguamento non è richiesto ogni qualvolta ciò risulti non compatibile con la conservazione delle caratteristiche ambientali ed architettoniche del manufatto, fermo restando che anche in tali edifici gli interventi non possono comunque comportare peggioramento igienico sanitario.

Il fabbisogno energetico di un edificio dipende in modo decisivo dalla scelta delle lampade. L'efficienza luminosa espressa in lumen per Watt di potenza allacciata può essere anche molto variabile; si possono verificare situazioni di scarsa efficienza accompagnata da notevole riscaldamento delle sorgenti, con conseguenze immediate sul carico termico dell'edificio. Un altro aspetto molto importante è rappresentato dalla durata utile degli apparecchi che incide inevitabilmente sulla valutazione economica ed ecologica dell'impianto. Un parametro molto indicativo del fabbisogno energetico per l'illuminazione artificiale è rappresentato dal rapporto tra la potenza luminosa installata e la superficie utile degli ambienti (indicato in W/m^2), anche se nella realtà il valore è soggetto a variazioni notevoli. Il livello di potenza luminosa installata incide in modo ragguardevole sul fabbisogno energetico, soprattutto nelle ore di massimo carico. La sua riduzione al livello minimo necessari contribuisce alla riduzione non solo del fabbisogno energetico, ma anche dei costi di costruzione.

Eseguire calcoli illuminotecnici a mano è di fatto improponibile: la luce che raggiunge una superficie, infatti, non dipende solamente dalla lampada che è posta al di sopra di essa, ma è la sommatoria di tutti i fotoni che vengono emessi da tutti i corpi illuminanti e poi riflessi da tutti i materiali che si trovano all'interno di un ambiente. Per calcolare correttamente il valore di illuminamento di una superficie, dunque, bisogna conoscere come è fatto l'ambiente, di che materiale e di che colore sono fatte le pareti, i mobili, il soffitto e il pavimento. Esiste, infatti, la possibilità di illuminare un ambiente esclusivamente con luce indiretta, ovvero con luce proiettata solo sul soffitto o sulle pareti che poi, riflessa, ricade sulla nostra

superficie di calcolo: questo tipo di calcolo a mano è troppo impreciso per essere accettabile in sede di progettazione. Esistono dei software di calcolo che permettono di studiare il comportamento della luce simulando, nella realtà virtuale, tutte le superfici con la loro capacità di riflettere la luce e, soprattutto, la caratteristica di emissione delle lampade prescelte. Esistono diversi programmi, anche distribuiti gratuitamente, che permettono di effettuare questo calcolo in modo rapido ed efficace: tra questi citiamo il software *Relux*, utilizzato per la realizzazione della simulazione di seguito riportata.

Note

¹ 1 lux=L'illuminamento di una superficie di 1 m² che riceve un flusso luminoso di 1 lumen uniformemente ripartito

² ILLUMINAMENTO (**lux = lumen / mq**)=È il flusso luminoso che colpisce una superficie unitaria, ovvero il rapporto tra il flusso incidente e l'area della superficie illuminata. Altre grandezze illuminotecniche sono: *Flusso luminoso* (f) [lumen, lm]=Quantità di energia luminosa emessa nell'unità di tempo da una sorgente. *Intensità luminosa* (I) [candela, cd = lm / sr]=Flusso luminoso emesso all'interno dell'angolo solido unitario (steradiano) in una direzione data. *Luminanza* (L) [candela / m², cd / m²]=Rapporto tra intensità luminosa emessa da una superficie in una data direzione e l'area apparente di tale superficie.

³ Si tenga presente che il dato ottenuto con la misura o con il calcolo dell'illuminamento non consente di giudicare appieno la validità di una soluzione illuminotecnica. I lux presenti su un piano di riferimento riguardano la luce che investe l'oggetto e non ancora l'energia luminosa che sollecita il nostro apparato visivo. Dal livello di illuminamento, tuttavia, è possibile ricavare, analizzando tutti i processi di rimando della luce verso l'occhio dell'osservatore, la distribuzione delle luminanze nel campo visivo e quindi la luce effettivamente ricevuta dall'occhio, in tutte le sue modulazioni.

⁴ Qualora non si raggiungano i livelli previsti per le nuove costruzioni e non sia possibile, per vincoli oggettivi, intervenire sul numero e sulla dimensione delle aperture, il progettista dovrà dimostrare il valore del fattore luce diurna medio FLDm nella situazione esistente e di progetto, fermo restando che i livelli di prestazione di progetto non devono essere peggiorativi dell'esistente.

7. 2. Descrizione del progetto

Il presente intervento riguarda la simulazione della luce artificiale e naturale in alcuni ambienti ad uso ufficio, con il software Relux Professional. Il progetto preso in considerazione si compone di 3 ambienti: una sala riunioni, un ufficio e un open space. Esso è ubicato a Basilea (Latitudine 47.50°, Longitudine 7.60°) ed è orientato Nord-Sud.

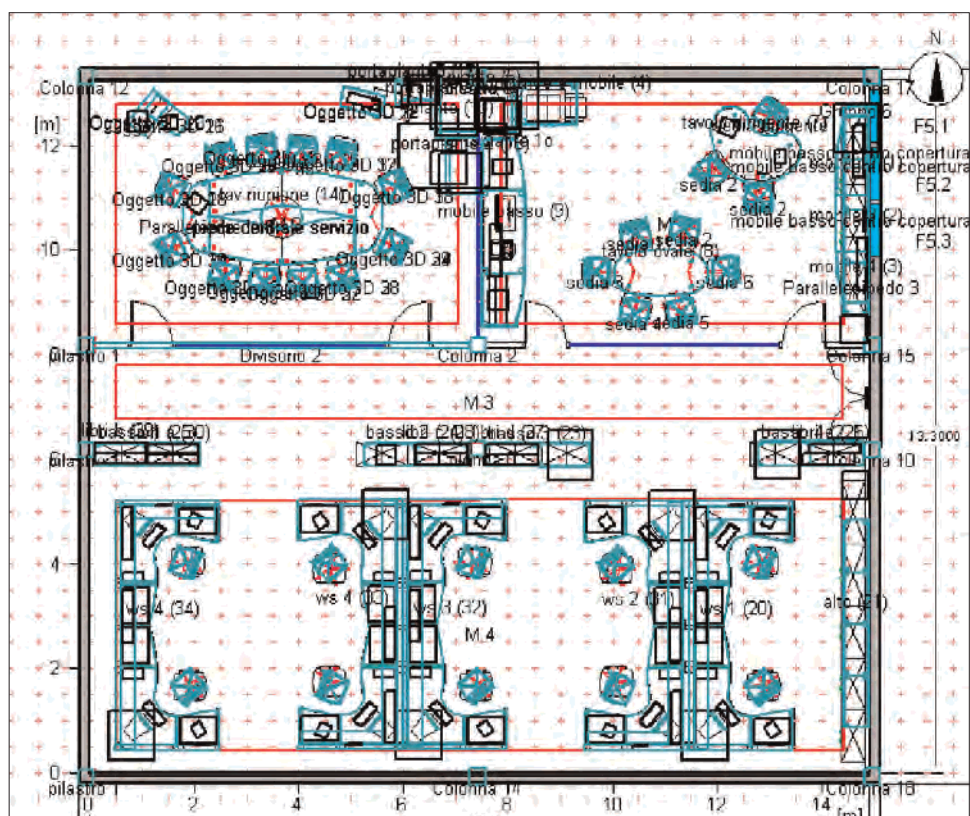


Fig. 7.1 - Pianta dei tre ambienti

Di seguito vengono riportate le caratteristiche dei singoli ambienti:

- La **sala riunioni** ha una superficie di m² 37,40, con una superficie vetrata di m² 15,00, quindi soddisfa il rapporto $S_f \geq 1/8 S_p$. Infatti le finestre occupano due intere pareti, quella esposta a Nord e quella a Ovest. L'ambiente presenta il pavi-

mento in parquet, le pareti divisorie vetrate, ed è arredato con un tavolo ovale in legno, una serie di sedie di colore blu, e qualche ornamento, come piante e un piccolo tavolo.

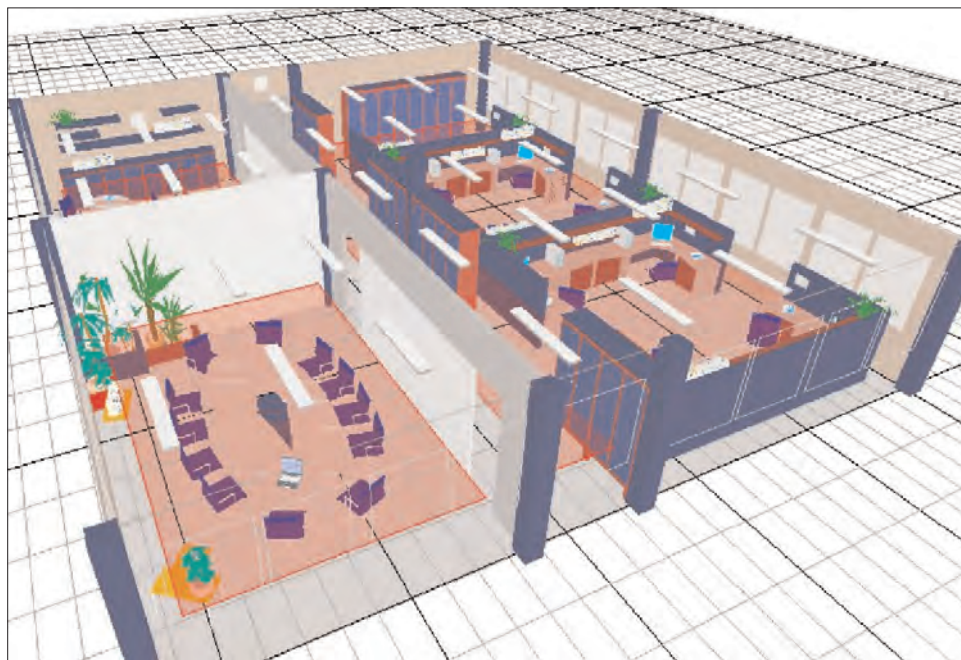


Fig. 7. 2 - Visione d'insieme dei tre ambienti

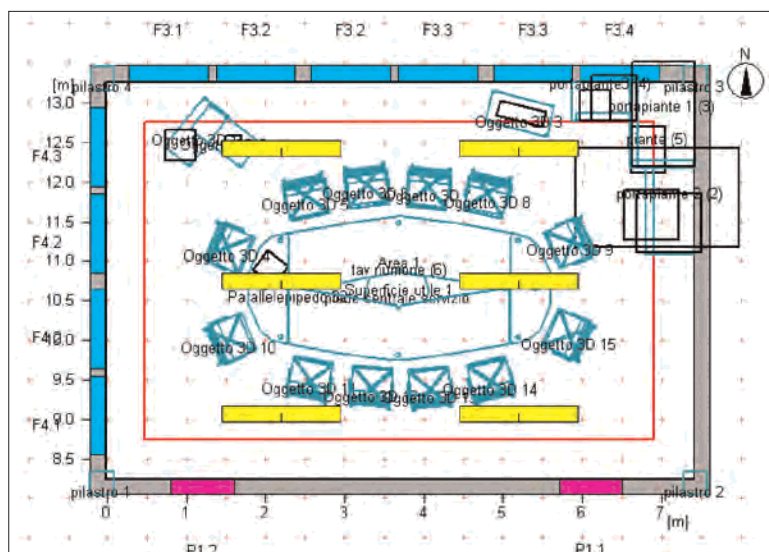


Fig. 7. 3 - Pianta della sala riunioni



Fig. 7. 4 - Visione d'insieme della sala riunione

L'ufficio h una superficie di m² 37,65, con una superficie vetrata di m² 9,00, quindi soddisfa il rapporto $Sf \geq 1/8$ Sp. Le finestre occupano l'intera parete esposta a Nord. L'ambiente presenta il pavimento in parquet, le pareti divisorie vetrate, ed è arredato con due tavoli in legno e delle librerie basse appoggiate alle pareti.

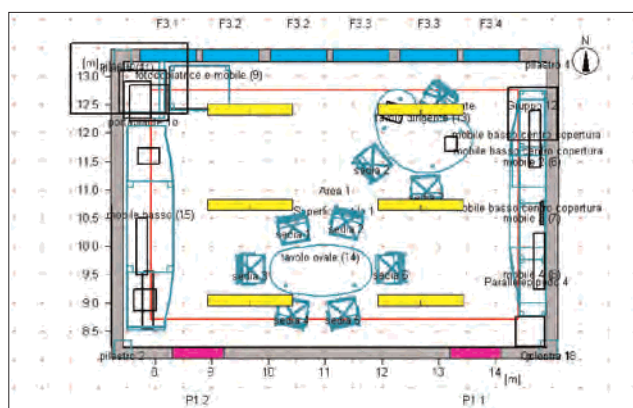


Fig. 7. 5 - Pianta dell'ufficio

- L'**open-space** è un unico grande ambiente di lavoro: in realtà in questo progetto si dovrebbe fare una distinzione fra corridoio e open-space vero e proprio, ma dato che i due ambienti sono separati soltanto da mobili, quindi la luce delle finestre dell'open-space penetra anche nel corridoio, abbiamo deciso di processare i due ambiente come un unico spazio; quindi tutte le informazioni (misure ed altro), si riferiscono all'unione di questi due spazi. L'open-space ha una superficie di m^2 122,00, con una superficie vetrata di m^2 27,75, quindi soddisfa il rapporto $Sf \geq 1/8 Sp$. Le finestre occupano due intere pareti, quella esposta a Sud e quella esposta a Ovest. L'intero ambiente presenta il pavimento in parquet, il corridoio, come già accennato, è diviso dall'open-space vero e proprio da armadi alti m 1,80, mentre nell'open-space vi sono una serie divisori alti più di un metro, che creano degli ambienti dove trovano posto le scrivanie.

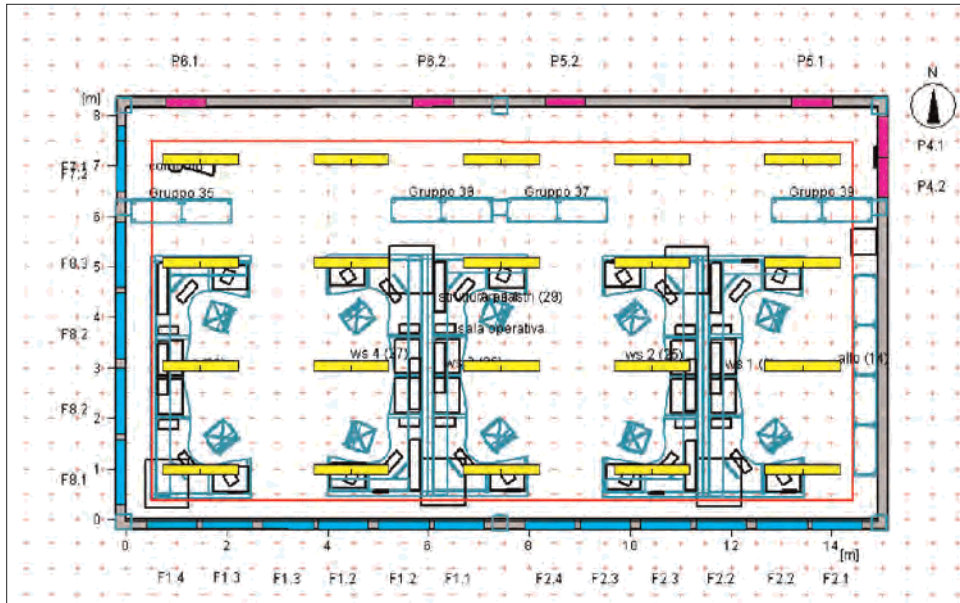
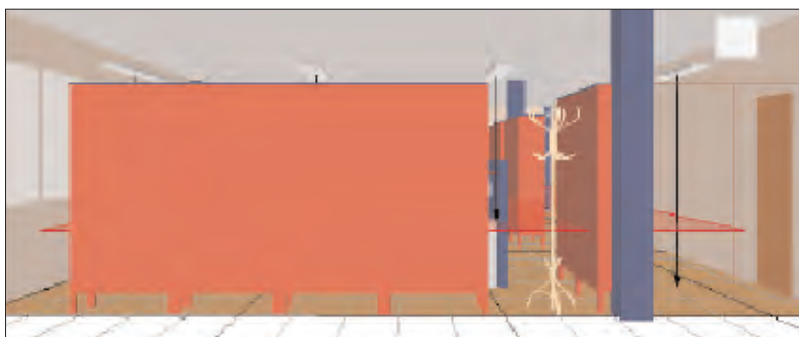


Fig. 7. 6 - Pianta dell'open space





Figg. 7. 7 - Visione d'insieme dell'open-space

La simulazione dei tre ambienti è avvenuta separatamente: si è proceduto ad avviare una simulazione per ciascun ambiente sia per la luce artificiale sia per quella naturale.

Per quanto riguarda la **luce artificiale**, si è provveduto al progetto di un impianto di illuminazione che garantisca un illuminamento medio di 500 lux, il minimo prescritto dalla Normativa per gli ambienti ad uso ufficio. Per quanto riguarda l'open-space, inoltre, è stata predefinita la posizione di un osservatore, nel nostro caso lungo il “corridoio”, in quanto la presenza di lampade poste in fila può provocare l'abbagliamento dei fruitori.

Il punto luce selezionato è un TARGETTI - ROLLER (1T0196).

Nella sala riunioni e nell'ufficio sono presenti n. 6 punti luce che assicurano un illuminamento medio di 549 lux nella sala riunioni e di 571 lux per l'ufficio (sul piano di lavoro, posto a m 0,75 da terra). Nell'open space sono presenti n. 20 punti

luce che assicurano un illuminamento medio di 597 lux (sul piano di lavoro, posto a m 0,75 da terra).

Per quanto riguarda la **luce naturale**, per la sala riunioni e per l'ufficio sono state effettuate delle simulazioni il giorno 21 Giugno alle ore 10.00 e alle ore 17.00. I risultati hanno evidenziato delle differenze minime nei valori ottenuti alle diverse ore del giorno: per l'ufficio 517 lux e per la sala riunioni 1050 lux sul piano di lavoro, posto a m 0,75 da terra.

La simulazione dell'open-space è stata effettuata il giorno 21 Giugno alle ore 12.00, con 415 lux (sul piano di lavoro, posto a m 0,75 da terra). Notiamo che non è stato raggiunto il minimo di 500 lux, perciò nell'open space si dovrà integrare con la luce artificiale anche nei periodi più soleggiati.

Inoltre, è stata eseguita una simulazione di **luce artificiale-naturale** soltanto nell'ufficio, in un periodo in cui si ha maggiormente bisogno di luce artificiale. Inizialmente tale simulazione è stata effettuata a Febbraio, e i risultati non davano alcun apporto per quanto riguarda la luce naturale.

Ciò comunque si poteva già dedurre dalle Curve Iso-Lux, in cui si vedono in quali mesi è necessaria la luce artificiale (vedi file allegato). Abbiamo effettuato quindi una simulazione nel mese di aprile, con un illuminamento medio di 1160 lux.

Quindi le simulazione ci aiutano a capire quando la luce naturale deve essere integrata con quella artificiale e di conseguenza ci aiutano nel corretto dimensionamento dell'impianto di illuminazione. Tutto ciò aiuta a migliorare il comfort visivo dell'ambiente di lavoro a assicurandoci che:

- gli ambienti siano ben illuminati
- non si verifichino fenomeni di abbagliamento
- risparmio energetico e economico

Infine, con **Relux Vision**, sono stati creati dei foto-render dei tre ambienti, resi più realistici creando le caratteristiche dei materiali in Radiance.

Lo stesso procedimento è stato usato per l'intero progetto, anche se, per semplicità di elaborazione, alcuni elementi di arredo sono stati eliminati.



Fig. 7. 8 - Simulazione con Relux Vision: open-office



Fig. 7. 9 - Simulazione con Relux Vision: sala riunioni



Fig. 7. 10 - Simulazione con Relux Vision: ufficio



Fig. 7. 11 - Simulazione con Relux Vision: l'intero progetto

7. 3. L'open-space: il progetto di luce artificiale

7. 3.1 I dati dei punti luce

Il punto luce selezionato per l'impianto di illuminazione è il TARGETTI - ROLLER (1T0196) della ditta Targetti Group.

Modulo a sospensione con luce diretta e indiretta per lampade fluorescenti lineari T16 2x54W. Corpo in lamiera di ferro. Griglia antiabbagliamento in alluminio anodizzato ad alto rendimento (CIBSE LG3 Cat.2). Gruppo di alimentazione elettronico integrato nel corpo dell'apparecchio. Completo di kit di sospensione, basetta e tappi terminali. Questa versione non può essere installata in sequenza.

Rendimento punto luce :	63.5
Reattore/Alimentatore :	nessun alimentatore
Potenza del sistema :	108 W
Lunghezza :	1500 mm
Larghezza :	204 mm
Altezza :	50 mm

Sorgenti:

Numero :	2
Nome :	FDH-Ø16
Potenza :	54 W
Temp. Di Colore :	3000
Flusso luminoso :	5000 lm

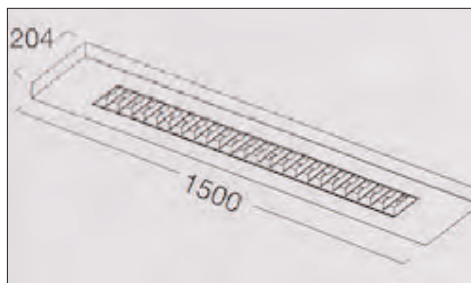


Fig. 7.12 - Disegno dell'apparecchio luminoso



Fig. 7.13 - Foto dell'apparecchio luminoso

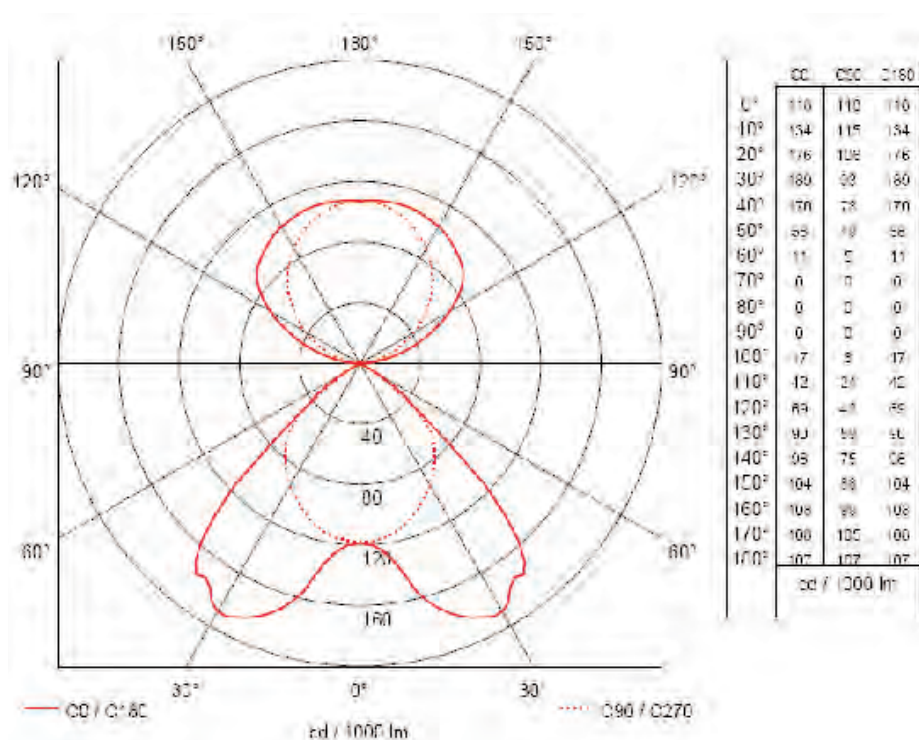
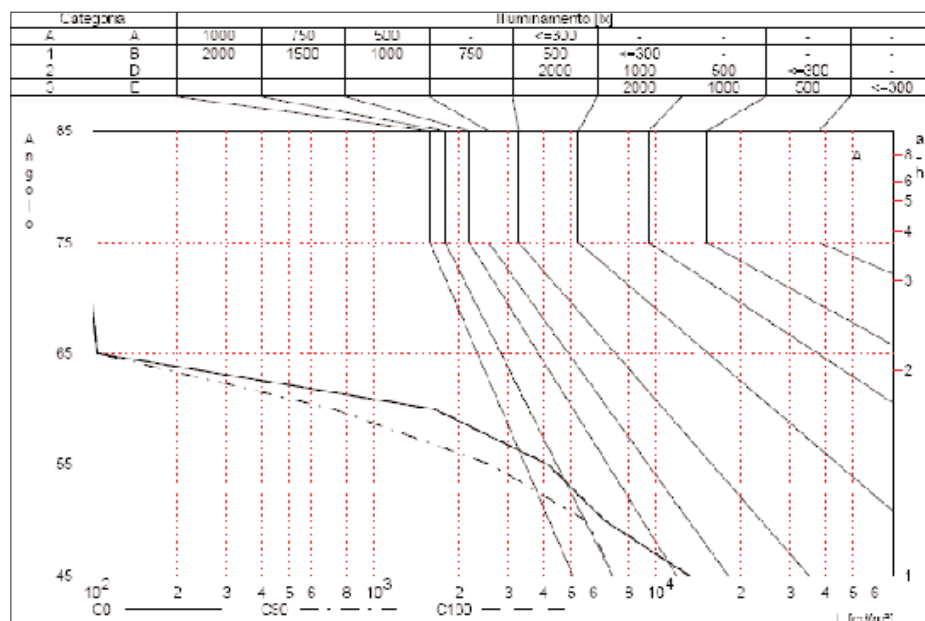


Tabella luminanza

Diagramma polare



	C0	C15	C30	C45	C60	C75	C90	C105	C120	C135	C150	C165
65°	[104]	[104]	[104]	[104]	[104]	[104]	[104]	[104]	[104]	[104]	[104]	[104]
70°	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
75°	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
80°	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
85°	0	2	9	21	75	82	84	82	75	63	9	2

	C180	C195	C210	C225	C240	C255	C270	C285	C300	C315	C330	C345
65°	[104]	[104]	[104]	[104]	[104]	[104]	[104]	[104]	[104]	[104]	[104]	[104]
70°	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
75°	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
80°	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
85°	0	2	9	21	75	82	84	82	75	63	9	2

Luminanza [cd/m²]

Riflessione		0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3
Soffitto		0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3
Pareti		0.5	0.3	0.5	0.3	0.3	0.5	0.3	0.5	0.3	0.3
Suolo		0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Dimensioni ambiente		Vista in direzione C90					Vista in direzione C0				
	x y										
2H	2H	14.4	15.2	15.4	16.2	17.5	11.6	12.4	12.6	13.4	14.7
	3H	14.2	14.9	15.3	15.9	17.3	11.4	12.1	12.4	13.1	14.4
	4H	14.1	14.0	15.2	15.0	17.1	11.3	11.9	12.3	13.0	14.3
	6H	14.1	14.6	15.1	15.7	17.0	11.2	11.8	12.3	12.8	14.2
	8H	14.0	14.5	15.0	15.6	16.9	11.1	11.7	12.2	12.7	14.1
	12H	13.9	14.4	15.0	15.5	16.8	11.1	11.6	12.1	12.6	14.0
4H	2H	14.2	14.8	15.2	15.8	17.2	11.4	12.1	12.4	13.1	14.4
	3H	14.0	14.5	15.0	15.5	16.9	11.2	11.7	12.2	12.8	14.1
	4H	13.9	14.4	14.9	15.4	16.8	11.1	11.6	12.2	12.6	14.0
	6H	13.8	14.2	14.8	15.2	16.6	11.0	11.4	12.1	12.5	13.9
	8H	13.7	14.1	14.8	15.1	16.5	11.0	11.3	12.0	12.4	13.8
	12H	13.7	14.0	14.7	15.1	16.5	10.9	11.3	12.0	12.3	13.7
8H	4H	13.7	14.1	14.8	15.1	16.5	11.0	11.3	12.0	12.4	13.8
	6H	13.6	13.9	14.6	14.9	16.4	10.8	11.1	11.9	12.2	13.6
	8H	13.6	13.8	14.5	14.9	16.3	10.8	11.1	11.9	12.1	13.6
	12H	13.5	13.7	14.5	14.8	16.2	10.7	10.9	11.8	12.0	13.4
12H	4H	13.7	14.0	14.7	15.1	16.5	10.9	11.3	12.0	12.3	13.7
	6H	13.6	13.8	14.5	14.9	16.3	10.8	11.1	11.9	12.1	13.6
	8H	13.5	13.7	14.5	14.8	16.2	10.7	10.9	11.8	12.0	13.4

Quota d'abbagliamento (UGR). Distanza dei punti luce 0,25

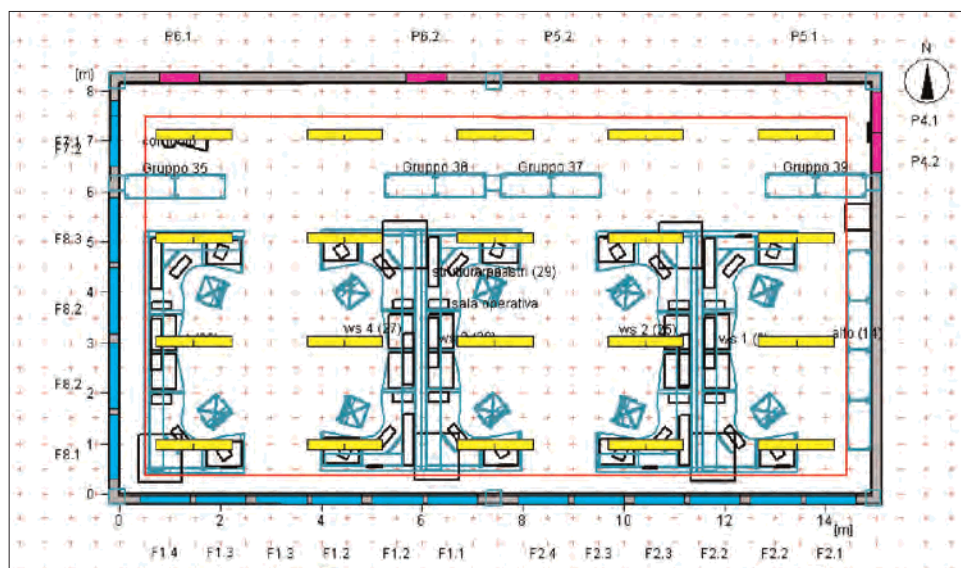
Piano di manutenzione - Solo una manutenzione regolare garantisce una corretta intensità luminosa dell'impianto di illuminazione secondo la norma EN 12464. Attenersi pertanto agli intervalli di manutenzione indicati.

Tipo di ambiente :	Pulito
Intervallo di manutenzione :	Ogni 3 anni
Influsso delle riflessioni dalle superfici dell'interno :	70% / 50% / 20%
Caratteristica dei punti luce :	Diretto/Indiretto
Tipo di riflettore :	E - Protezione antipolvere IP5X
Tipo di lampada :	Fluorescent lamp 16 mm T5 (Philips)
Reattore/Alimentatore :	Reattore elettronico
Ore di esercizio annue :	2000
Sostituzione regolare delle lampade non funz. :	Si
Fattore di manut. :	0.76

Istruzioni sulla manutenzione - In caso di sostituzione, le sorgenti luminose devono avere le stesse caratteristiche (flusso luminoso, tonalità, resa cromatica). Con la lampada occorre sostituire anche eventuali starter.

Eseguire la manutenzione dell'interno e delle superfici portatrici di luce, in modo da mantenere le proprietà iniziali dei gradi di riflessione. Osservare le istruzioni di manutenzione del produttore.

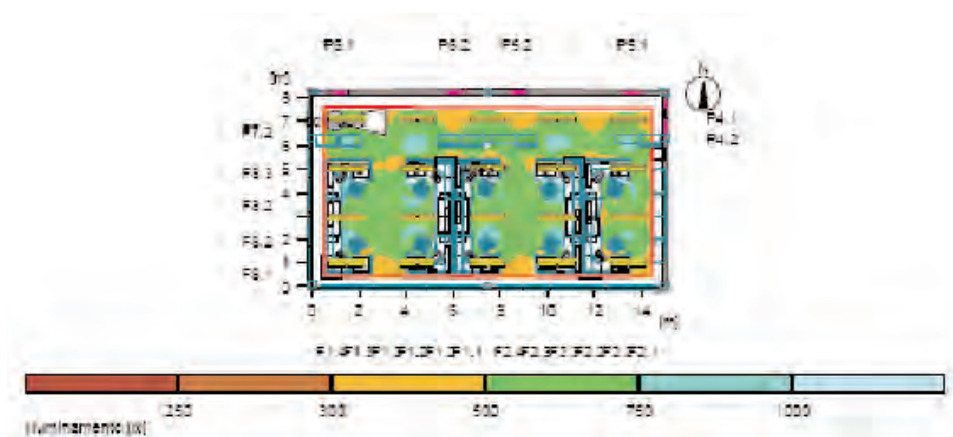
7. 3. 2. I risultati del processo di luce artificiale



Elementi di creazione:

- C: colonna
- Dv: divisorio
- S: superficie di lavoro reale
- M: superficie di misurazione viruale
- L: lucernario
- Q: immagine
- F: finestra
- P: porta
- Mo: arredo

Parete	x	y	Lunghezza	Grado di riflessione
1	7.41 m	-0.02 m	7.43 m	50.0 %
2	14.91 m	-0.02 m	7.50 m	50.0 %
3	14.91 m	6.20 m	6.22 m	50.0 %
4	14.91 m	8.17 m	1.97 m	50.0 %
5	7.41 m	8.17 m	7.50 m	50.0 %
6	-0.01 m	8.16 m	7.43 m	50.0 %
7	-0.02 m	6.20 m	1.97 m	50.0 %
8	-0.02 m	-0.01 m	6.21 m	50.0 %
Suoi				31.9 %
Soffitto				70.0 %
Altezza interno	3.00 m			
Altezza superficie utile	----			



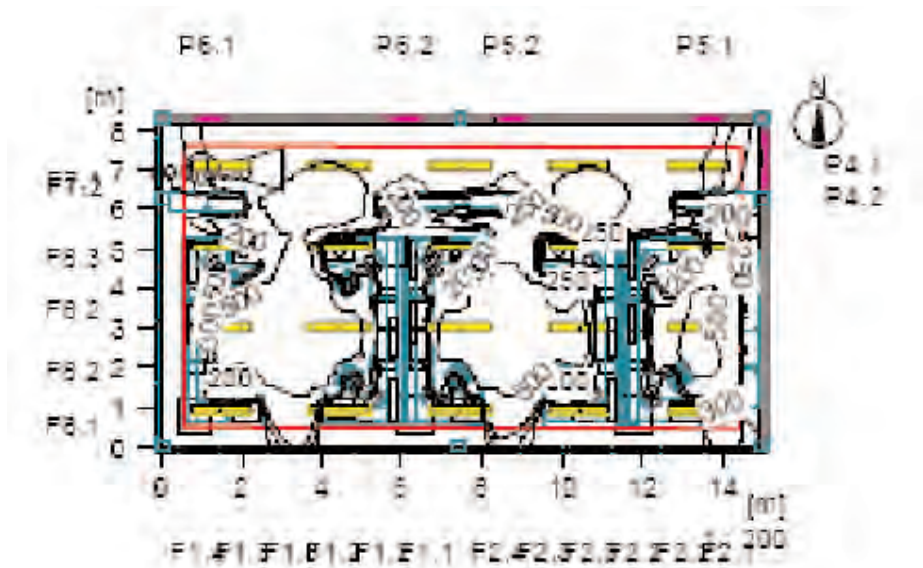
Generale

Algoritmo di calcolo utilizzato:	Percentuale indiretta alta
Altezza area di valutazione	0.75 m
Altezza piano punti luce	2.50 m
Fattore di manut.	0.76
Flusso luminoso totale di tutte le lampade	200000 lm
Potenza totale	2160 W
Potenza totale per superficie (122.18 m ²)	17.68 W/m ²

Illuminamento

Illuminamento medio Em	597 lx
Illuminamento minimo Emin	381 lx

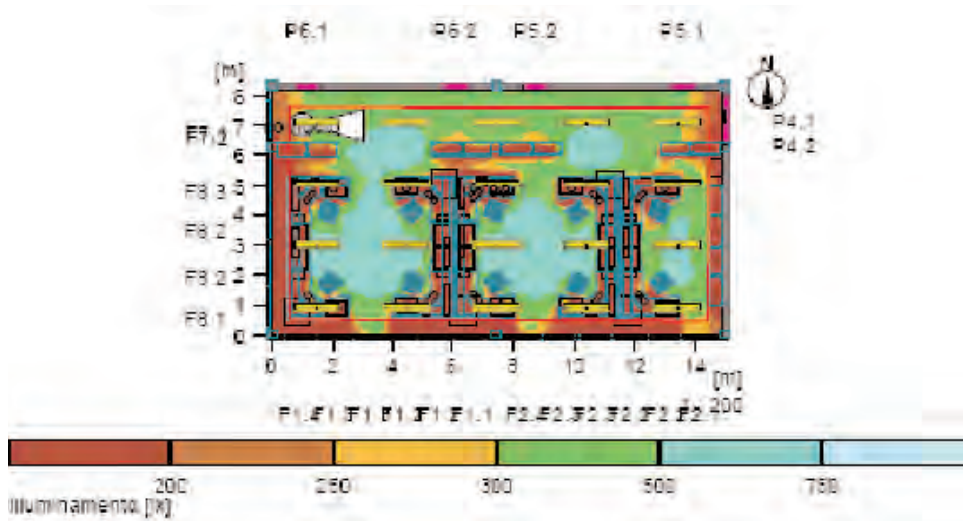
Illuminamento massimo Emax	831 lx
Uniformità g1 Emin/Em	1:1.57 (0.64)
Uniformità g2 Emin/Emax	1:2.18 (0.46)



Rappresentazione delle isolinee

Illuminamento medio Em :	315 lx
Illuminamento minimo Emin :	1 lx
Illuminamento massimo Emax :	598 lx
Uniformità g1 Emin/Em :	1 : 231.62 (0.00)
Uniformità g2 Emin/Emax :	1 : 440.08 (0.00)

7.3.3. I falsi colori



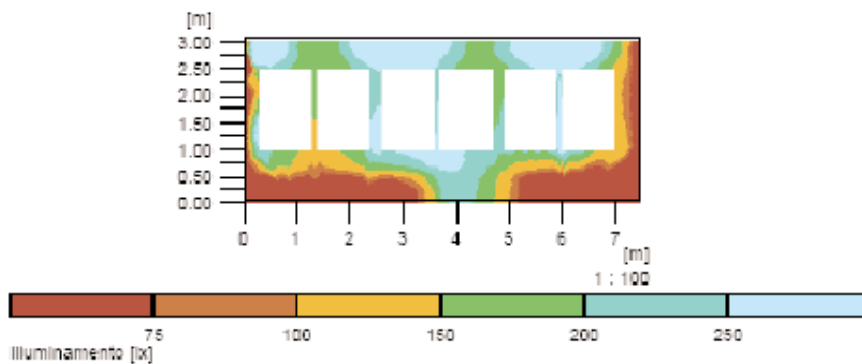
Illuminamento medio E_m : 315 lx

Illuminamento minimo E_{min} : 1 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 598 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 231.62 (0.00)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 440.08 (0.00)



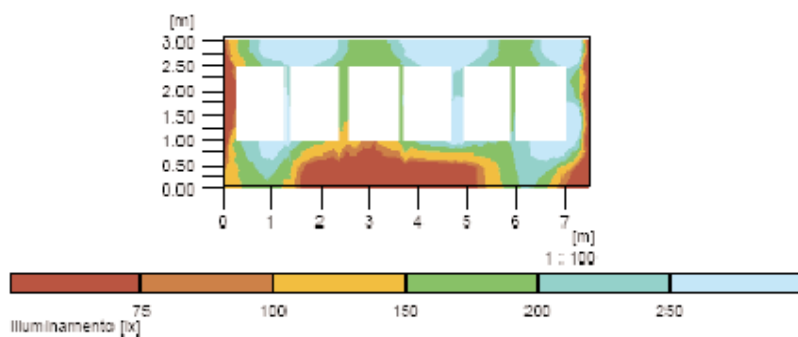
Illuminamento medio E_m : 142 lx

Illuminamento minimo E_{min} : 7 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 456 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 20.66 (0.05)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 66.16 (0.02)



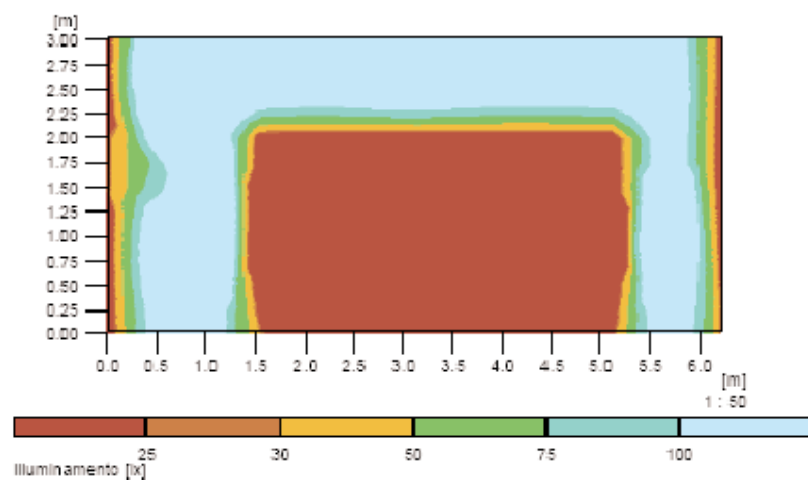
Illuminamento medio E_m : 150 lx

Illuminamento minimo E_{min} : 0 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 410 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : —

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : —



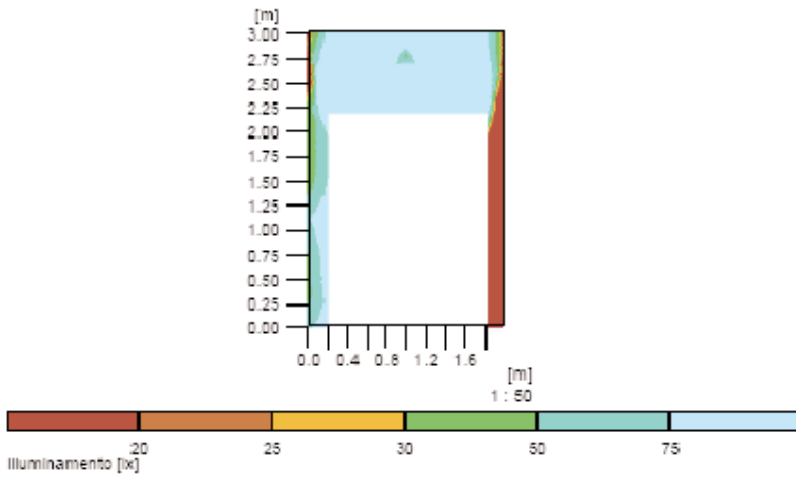
Illuminamento medio E_m : 54 lx

Illuminamento minimo E_{min} : 0 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 188 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : —

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : —



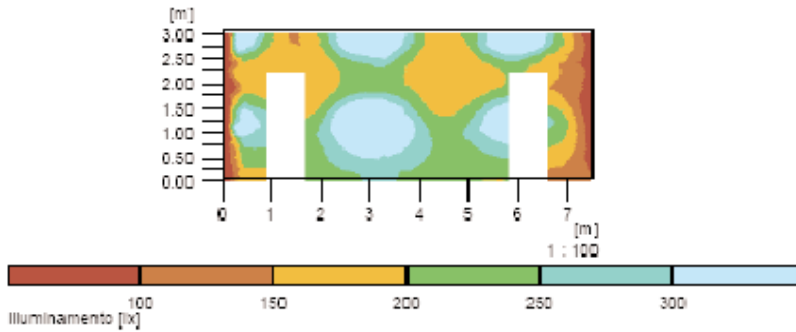
Illuminamento medio E_m : 36 lx

Illuminamento minimo E_{min} : 0 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 135 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : —

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : —



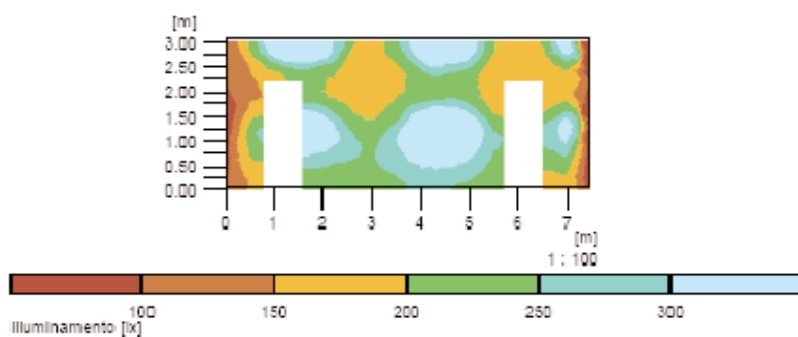
Illuminamento medio E_m : 196 lx

Illuminamento minimo E_{min} : 4 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 442 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 44.46 (0.02)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 100.51 (0.01)



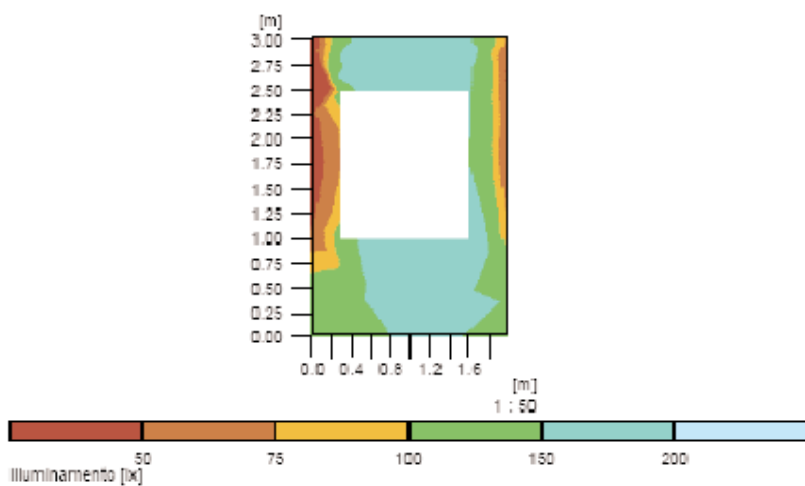
Illuminamento medio E_m : 213 lx

Illuminamento minimo E_{min} : 14 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 428 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 15.65 (0.06)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 31.49 (0.03)



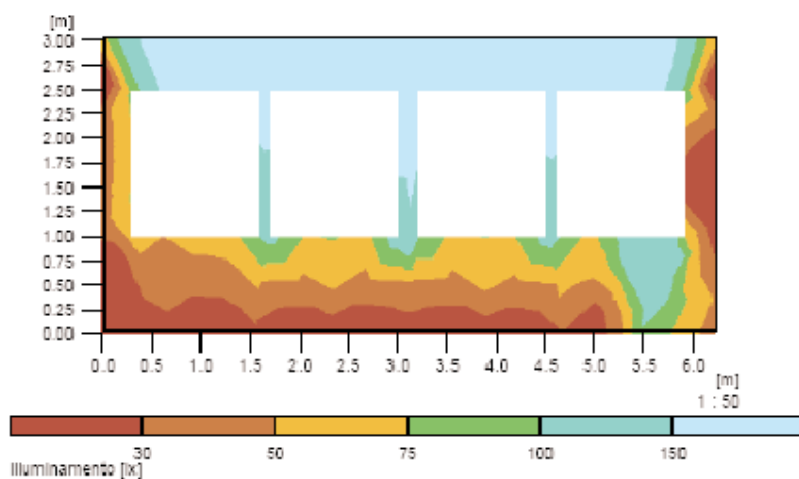
Illuminamento medio E_m : 101 lx

Illuminamento minimo E_{min} : 25 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 192 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 4.07 (0.25)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 7.76 (0.13)



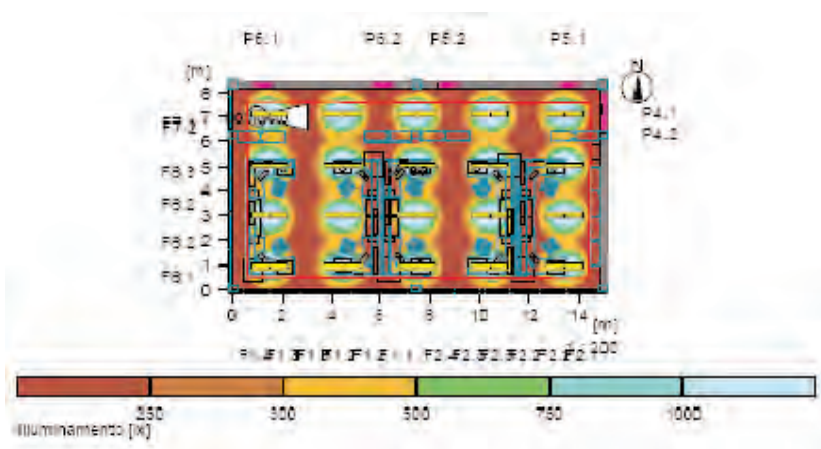
Illuminamento medio E_m : 80 lx

Illuminamento minimo E_{min} : 0 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 209 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : —

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : —



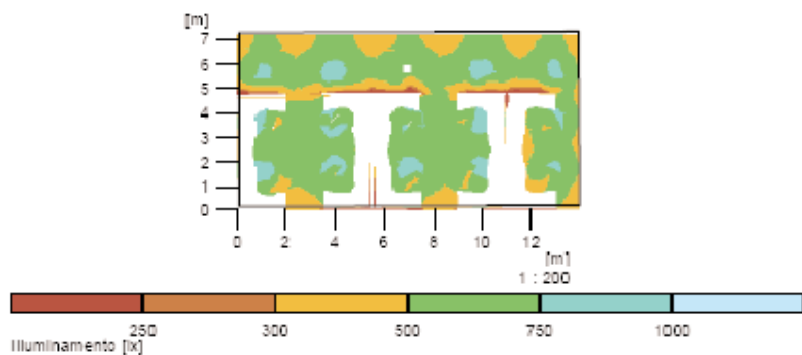
Illuminamento medio E_m : 553 lx

Illuminamento minimo E_{min} : 155 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 1740 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 3.57 (0.28)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 11.23 (0.09)



Altezza del piano di riferimento : 0.75 m

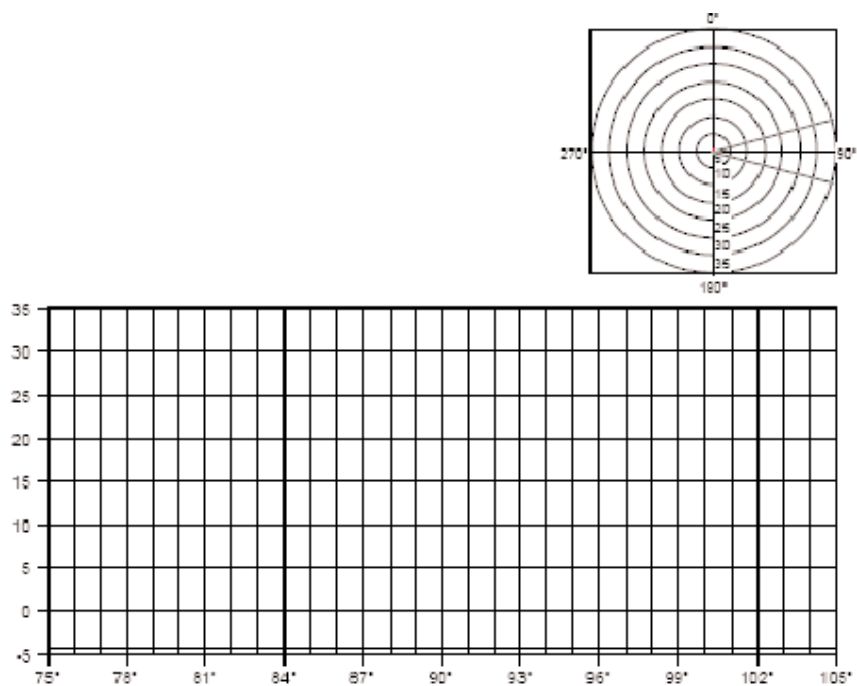
Illuminamento medio E_m : 597 lx

Illuminamento minimo E_{min} : 381 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 831 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 1.57 (0.64)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 2.18 (0.46)



Quota d'abbagliamento (UGR): corridoio

Posizione osservatore: $x = 1.00 \text{ m}$, $y = 7.00 \text{ m}$, $z = 1.20 \text{ m}$

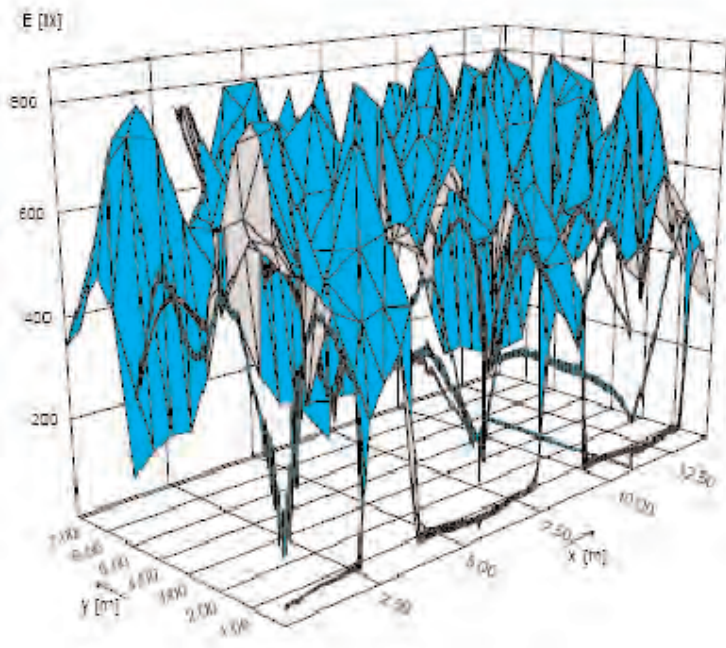
$90.00^\circ (1.00, 0.00, 0.00)$

Grado di abbagliamento minimo: <10

Grado di abbagliamento medio : <10

Grado di abbagliamento massim: $\alpha < 10$

(valori per gli angoli applicabili per i calcoli UGR)



Montagne 3D

Illuminamento medio E_m : 597 lx

Illuminamento minimo E_{min} : 381 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 831 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 1.57 (0.64)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 2.18 (0.46)



e



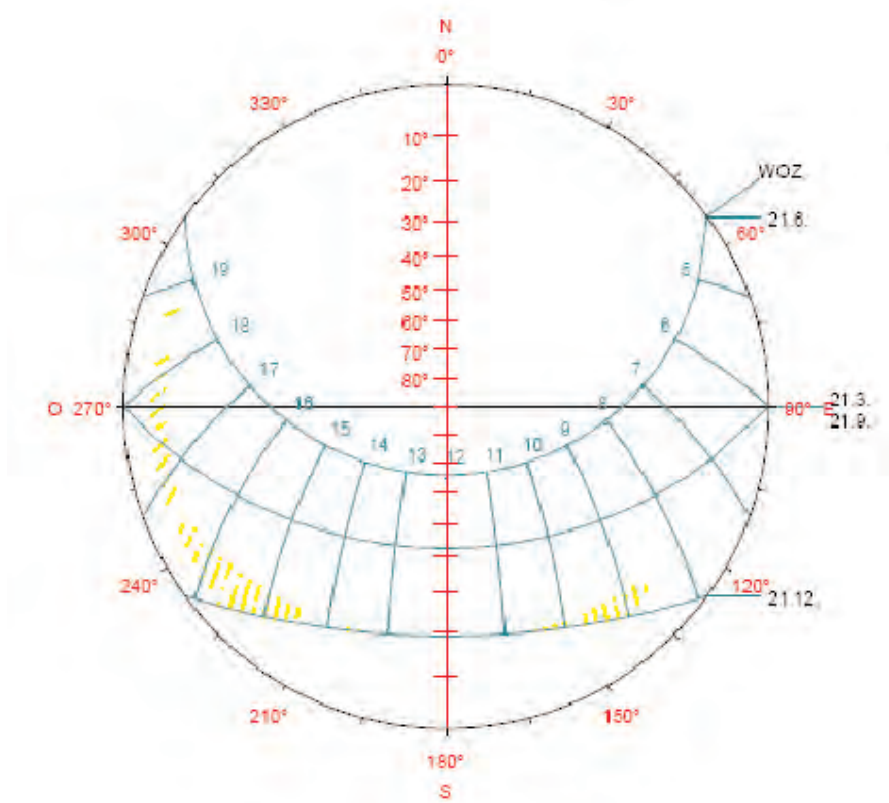


Figg. 7. 15 - Viste 3D con risultati luce artificiale

7. 4. L'open-space: il progetto di luce naturale

7. 4. 1. Diagramma altezza del sole

Il diagramma dell'altezza del sole indica quando la luce diretta del sole colpisce un punto preciso dello spazio. Infatti bisogna dare le coordinate di un punto, chiamato punto di test. Le linee tratteggiate in giallo indicano in quali ore del giorno la luce diretta del sole colpisce il punto precedentemente definito. Nel seguente caso, tali ore vanno dalle 9.00 alle 10.00 e dalle 15.00 alle 19.00. quindi, trattandosi di un ufficio con un orario di lavoro dalle ore 9.00 alle 17.00, gli impiegati potrebbero avere dei problemi, e si dovrà pensare a dei sistemi di schermatura regolabili, in modo tale da potere essere utilizzati soltanto nelle ore necessarie.



Località: Basilea
Latitudine : 47.50 °
Longitudine : 7.60 °

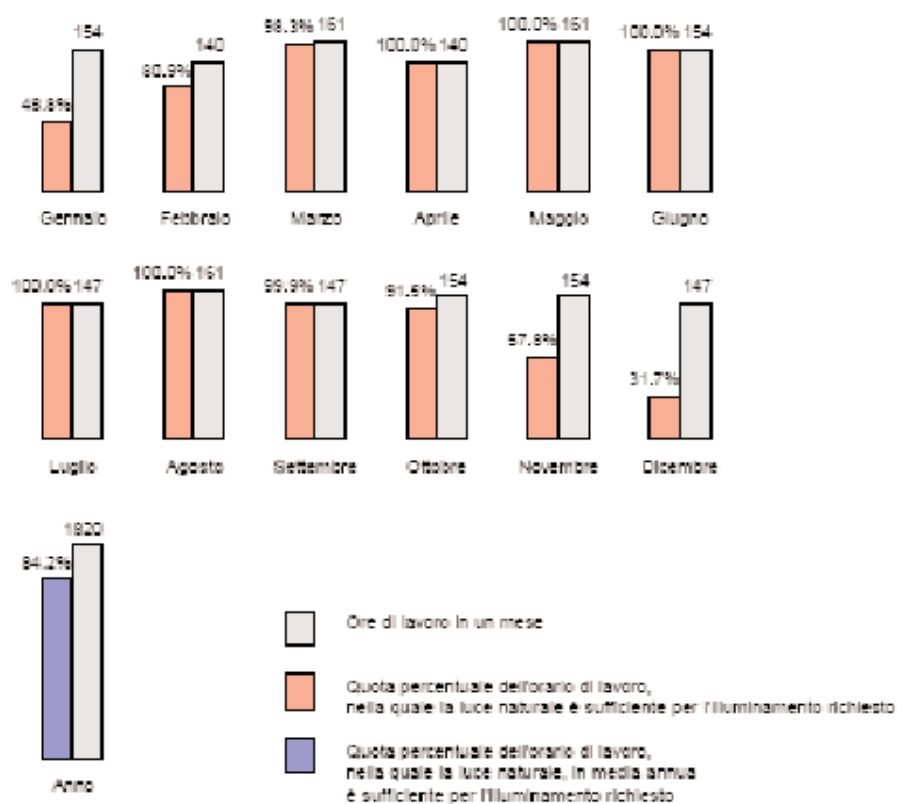
Punto di test:

$x = 10.00 \text{ m}$

$y = 4.00 \text{ m}$

$z = 1.20 \text{ m}$

7.4.2. L'economicità



Valutazione dei diagrammi Iso-Lux

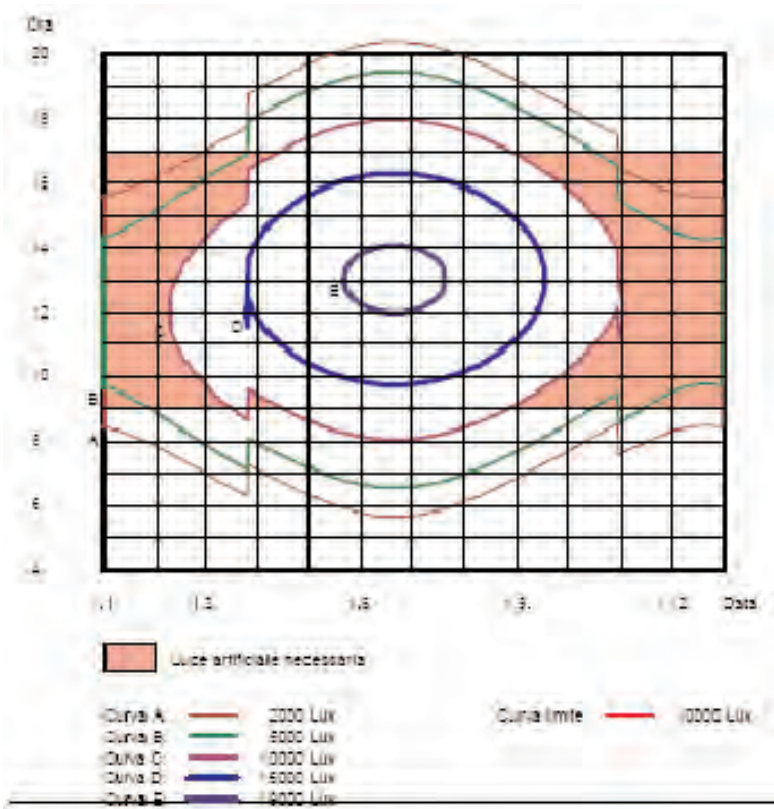
Illuminamento minimo selezionato: 500 Lux

Fattore di luce diurna: 5.00 %

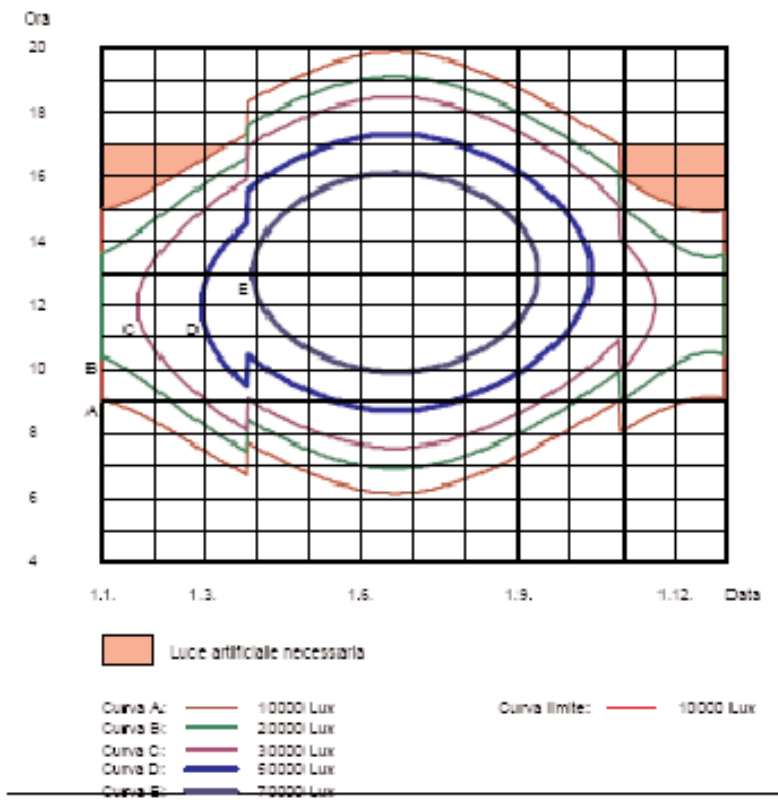
Illuminamento esterno necessario: 10000 Lux

Orario di lavoro quot.: 09:00 - 17:00

1. Intervallo 13:00 - 14:00

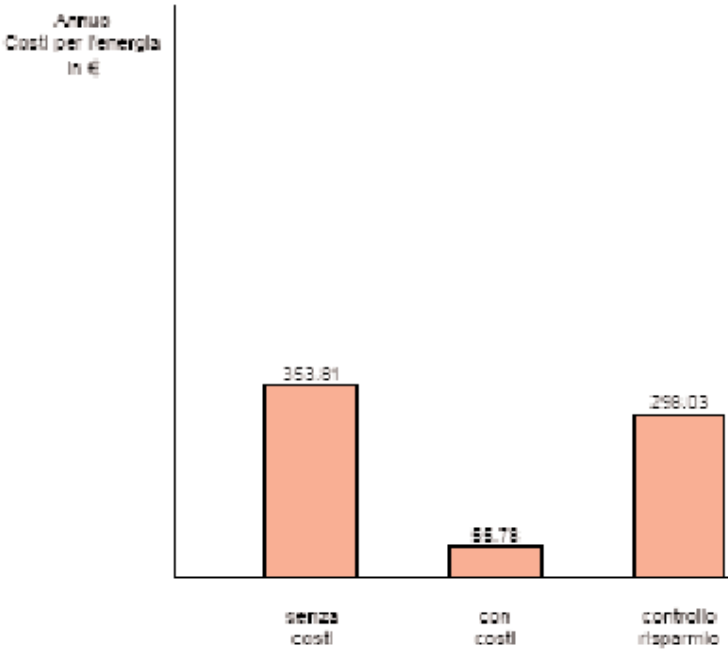


Curve ISO-Lux: Cielo sereno. Ora legale: 28.03. - 31.10



Curve ISO-Lux: Cielo coperto

Confronto dei costi con e senza controllo della luce



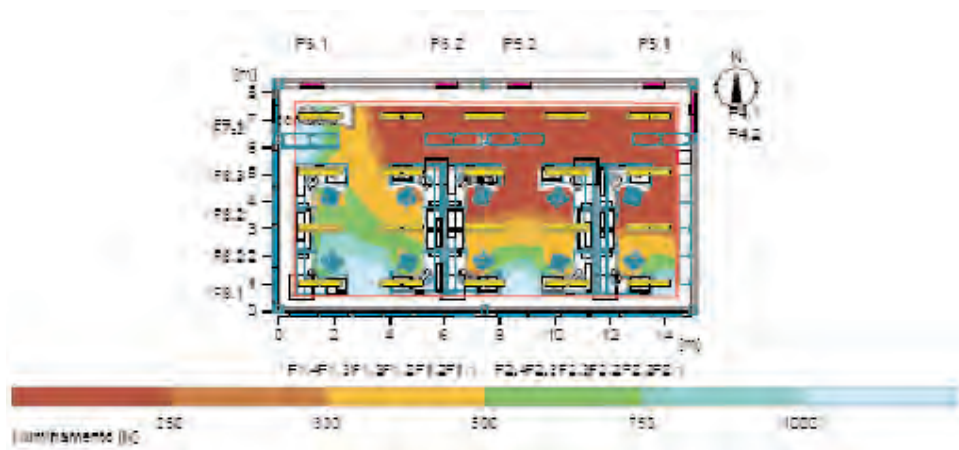
Numero punti luce: 20

Potenza totale per punto luce: 54 Watt

Prezzo energia elettrica per KWh: € 0.18

7. 4. 3. Risultati del processo di luce naturale

Sono state considerate le ore 12.00 del 21 Giugno.



Generale

Algoritmo di calcolo utilizzato: Percentuale indiretta alta

Altezza area di valutazione 0.75 m

Altezza piano punti luce 2.50 m

Modalità di calcolo utilizzata: Cielo coperto secondo le norme CIE

Data, Ora: 21.06. 12:00 (OLR 10:28)

Illuminamento

Fattore di luce diurna medio D_m : 2.2

Fattore di luce diurna minimo D_{min} : 0.1

Fattore di luce diurna massimo D_{max} : 11.8

Altezza del piano di riferimento : 0.75 m

Illuminamento medio E_m : 415 lx

Illuminamento minimo E_{min} : 21 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 2180 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 19.38 (0.05)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 101.92 (0.01)

Data, Ora : 21.06. 12:00 (OLR 10:28)

7. 4. 4. Il fattore di luce diurna

Il Fattore di luce diurna indica come la luce naturale penetra e si propaga all'interno dell'ambiente:

Fattore di luce diurna medio D_m : 2.2

Fattore di luce diurna minimo D_{min} : 0.1

Fattore di luce diurna massimo D_{max} : 11.8

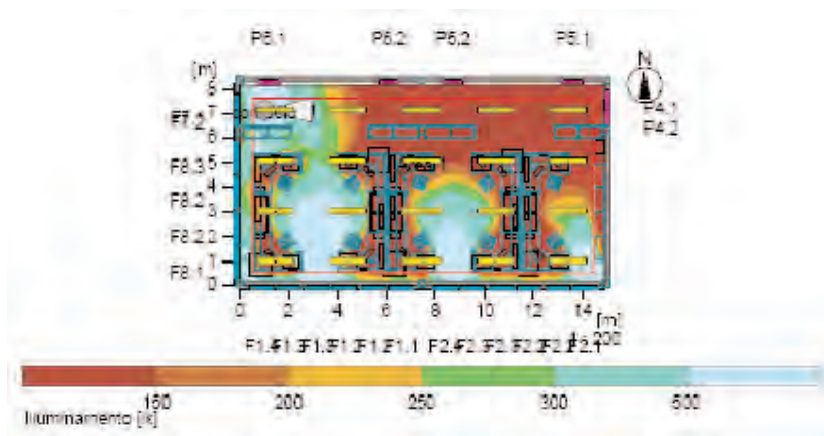
Illuminamento esterno E_a : 18500 lx

Uniformità g1 D_{min}/D_m : 1 : 19.38 (0.05)

Uniformità g2 D_{min}/D_{max} : 1 : 101.92 (0.01)

Data, Ora : 21.06. 12:00 (OLR 10:28)

7. 4. 5 I falsi colori



Illuminamento medio E_m : 225 lx

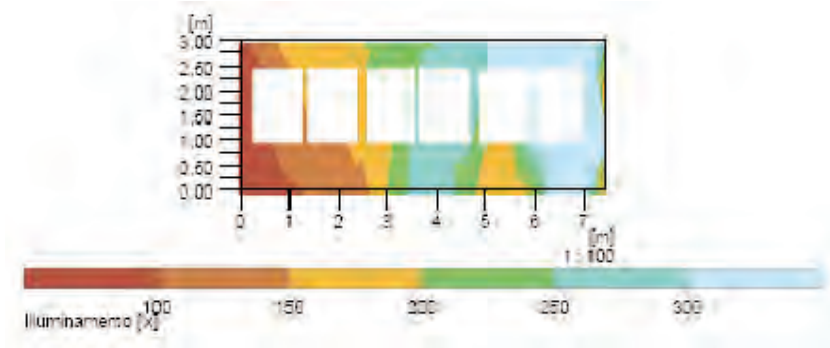
Illuminamento minimo E_{min} : 13 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 1310 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 17.76 (0.06)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 103.18 (0.01)

Data, Ora : 21.06. 12:00 (OLR 10:28)



Illuminamento medio E_m : 206 lx

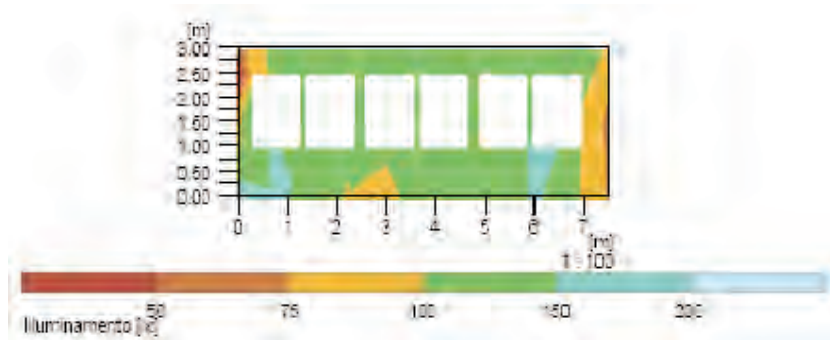
Illuminamento minimo E_{min} : 37 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 498 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 5.58 (0.18)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 13.48 (0.07)

Data, Ora : 21.06. 12:00 (OLR 10:28)



Illuminamento medio E_m : 115 lx

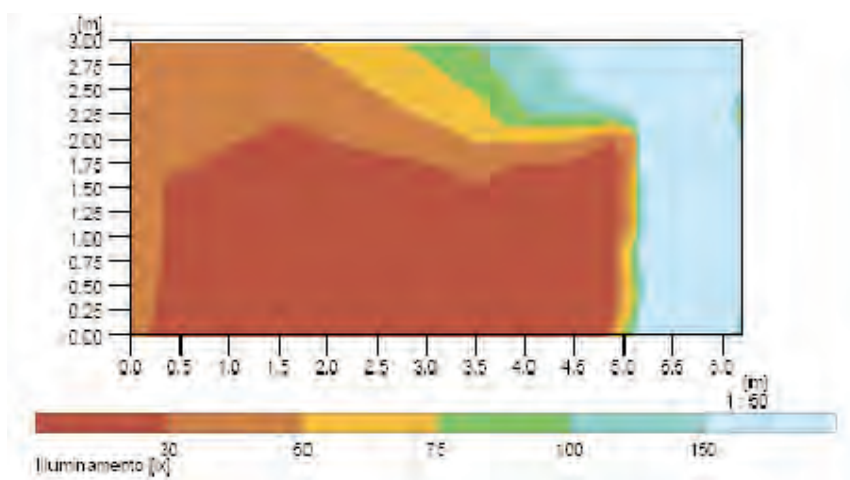
Illuminamento minimo E_{min} : 57 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 173 lx

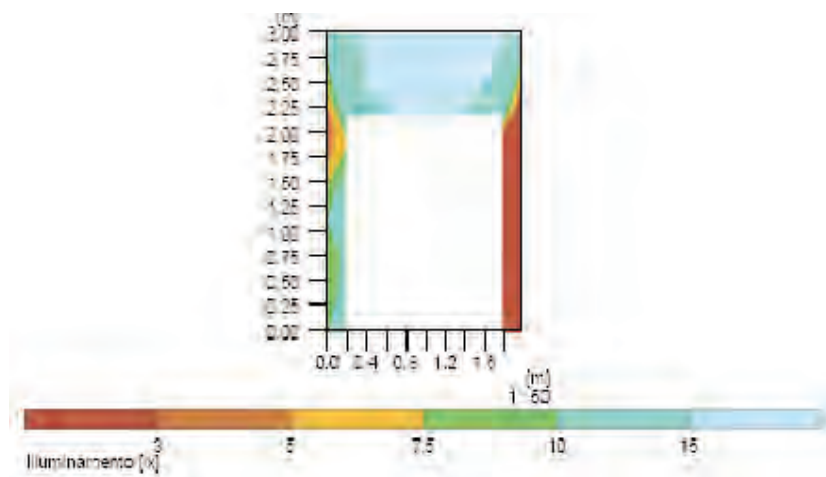
Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 2.02 (0.50)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 3.03 (0.33)

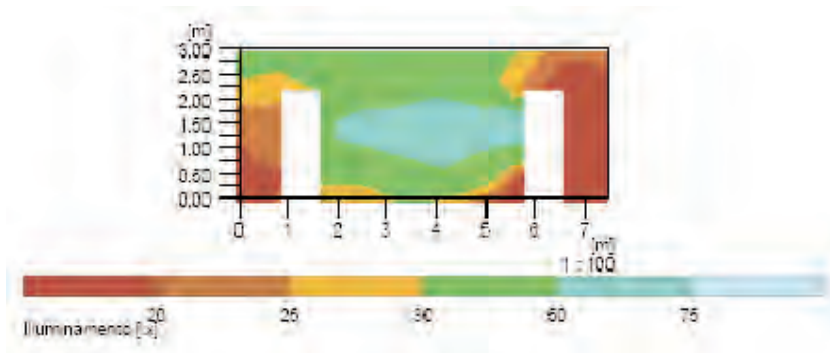
Data, Ora : 21.06. 12:00 (OLR 10:28)



Illuminamento medio E_m : 100 lx
 Illuminamento minimo E_{min} : 0 lx
 Illuminamento massimo E_{max} : 590 lx
 Uniformità g1 E_{min}/E_m : —
 Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : —
 Data, Ora : 21.06. 12:00 (OLR 10:28)



Illuminamento medio E_m : 7.7 lx
 Illuminamento minimo E_{min} : 0 lx
 Illuminamento massimo E_{max} : 21 lx
 Data, Ora : 21.06. 12:00 (OLR 10:28)



Illuminamento medio E_m : 32.3 lx

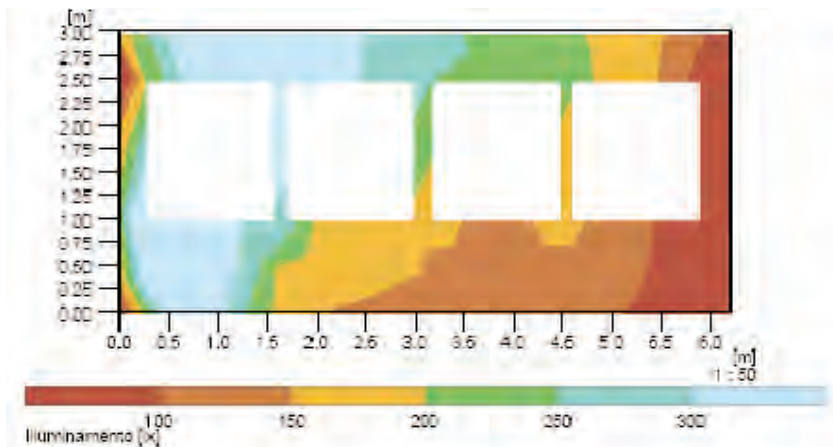
Illuminamento minimo E_{min} : 7.7 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 56.6 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 4.20 (0.24)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 7.36 (0.14)

Data, Ora : 21.06. 12:00 (OLR 10:28)



Illuminamento medio E_m : 184 lx

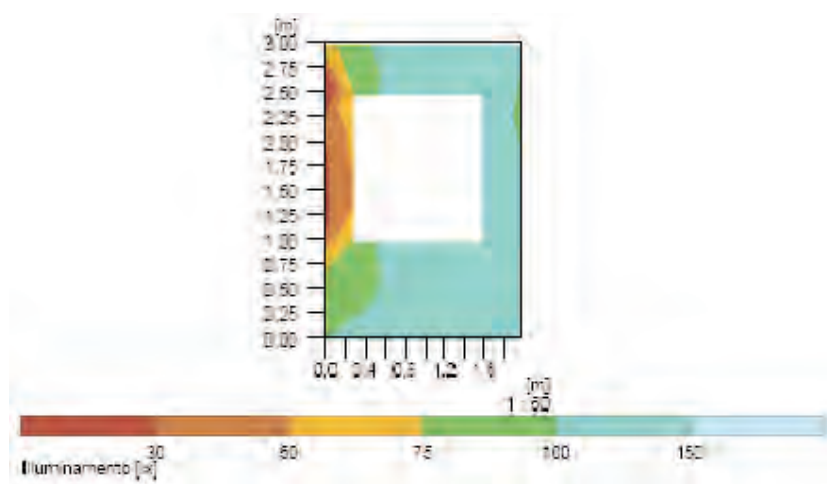
Illuminamento minimo E_{min} : 21 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 466 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 8.83 (0.11)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 22.29 (0.04)

Data, Ora : 21.06. 12:00 (OLR 10:28)



Illuminamento medio E_m : 95 lx

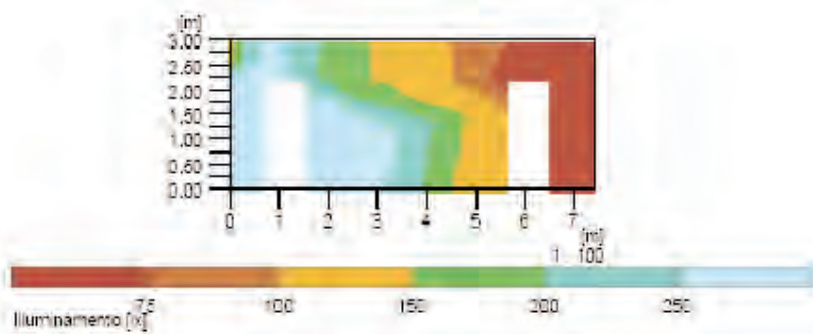
Illuminamento minimo E_{min} : 27 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 135 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 3.50 (0.29)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 4.97 (0.20)

Data, Ora : 21.06. 12:00 (OLR 10:28)



Illuminamento medio E_m : 170 lx

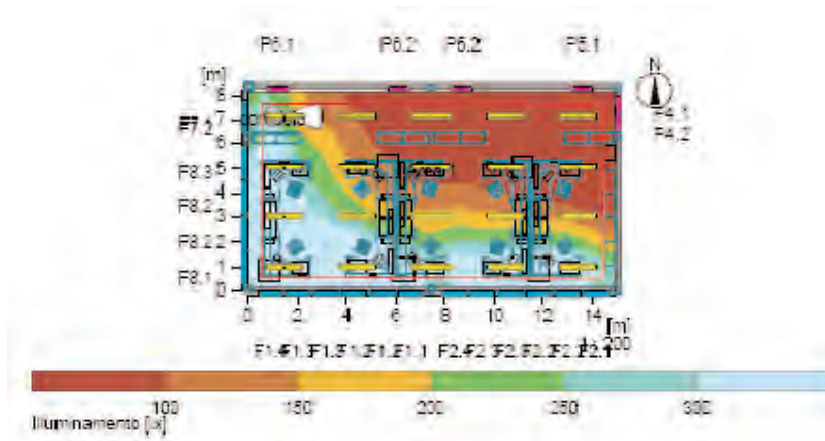
Illuminamento minimo E_{min} : 42 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 416 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 4.08 (0.25)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 9.99 (0.10)

Data, Ora : 21.06. 12:00 (OLR 10:28)



Illuminamento medio E_m : 198 lx

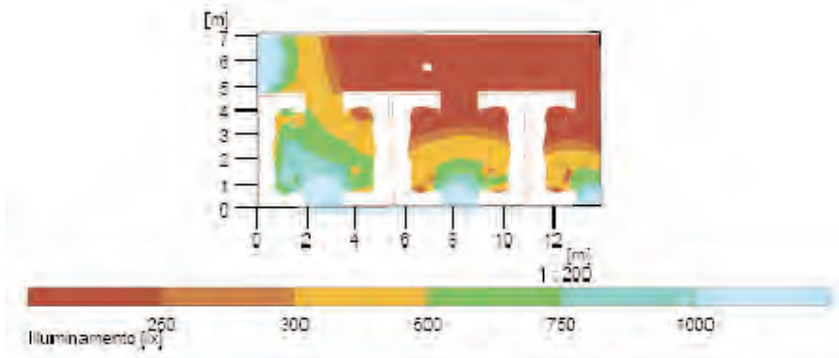
Illuminamento minimo E_{min} : 20 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 563 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 10.15 (0.10)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 28.87 (0.03)

Data, Ora : 21.06. 12:00 (OLR 10:28)



Altezza del piano di riferimento : 0.75 m

Illuminamento medio E_m : 415 lx

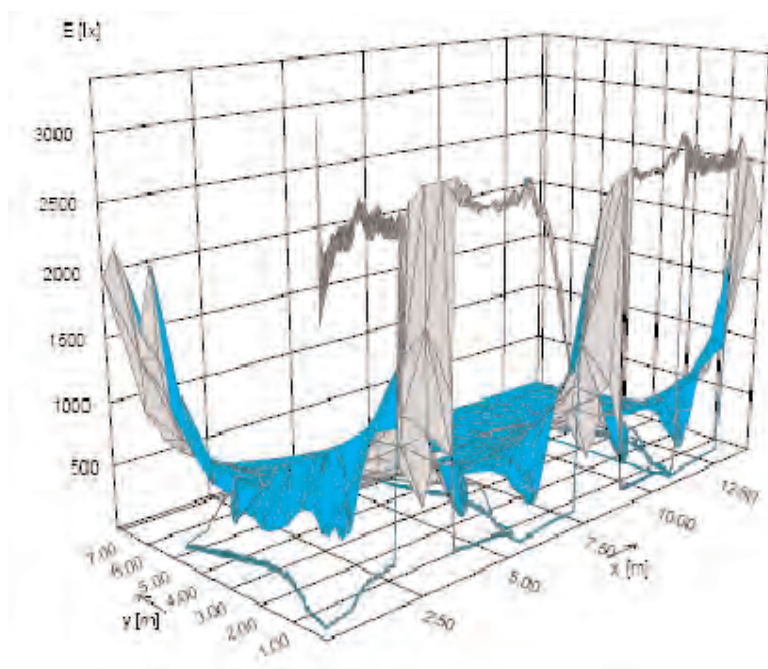
Illuminamento minimo E_{min} : 21 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 2180 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 19.38 (0.05)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 101.92 (0.01)

Data, Ora : 21.06. 12:00 (OLR 10:28)



Montagne 3D

Illuminamento medio E_m : 415 lx

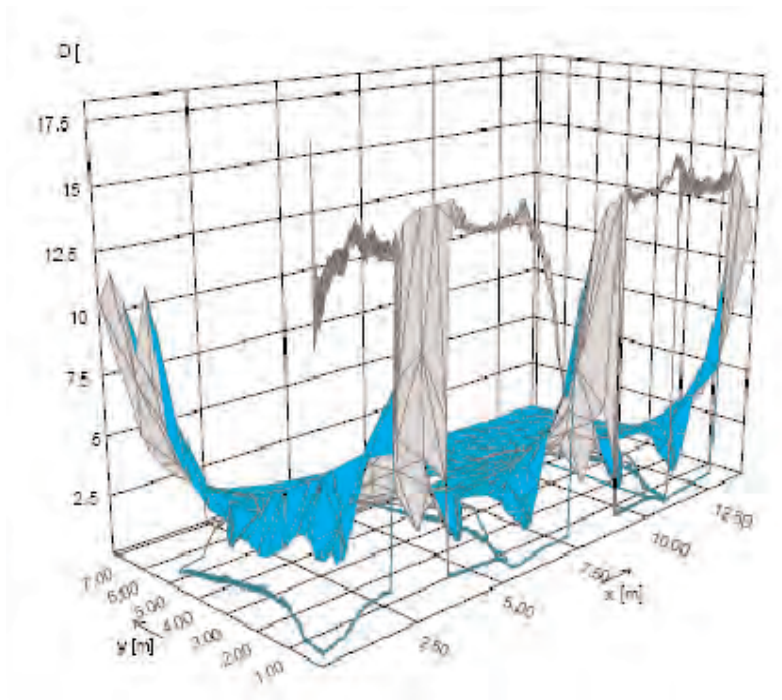
Illuminamento minimo E_{min} : 21 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 2180 lx

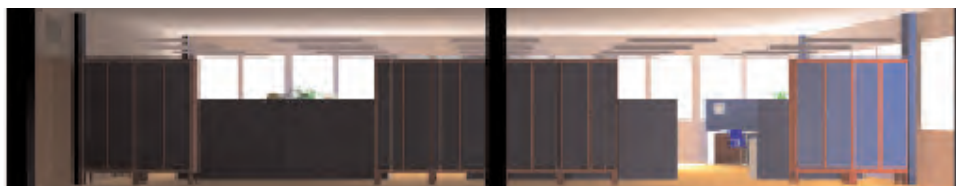
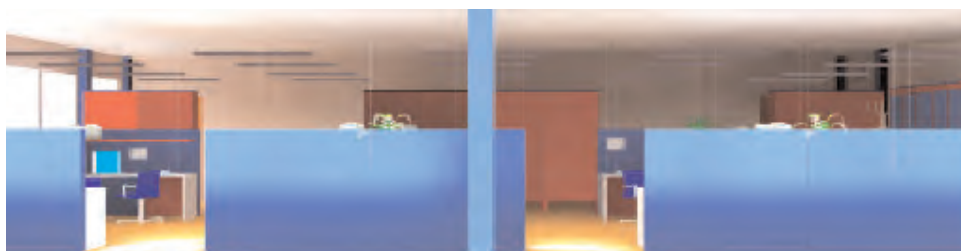
Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 19.38 (0.05)

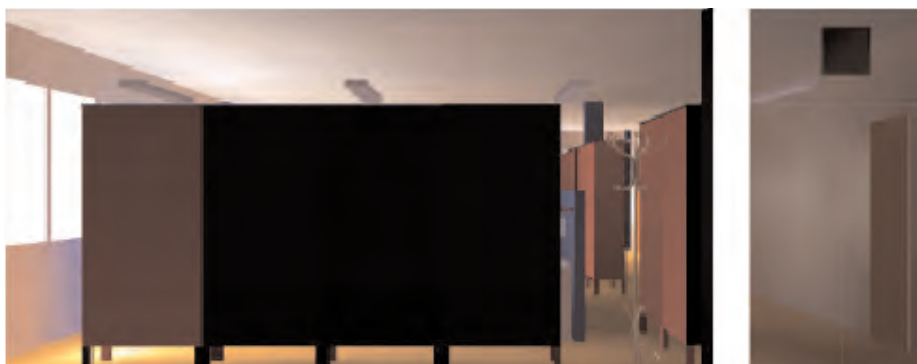
Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 101.92 (0.01)

Data, Ora : 21.06. 12:00 (OLR 10:28)



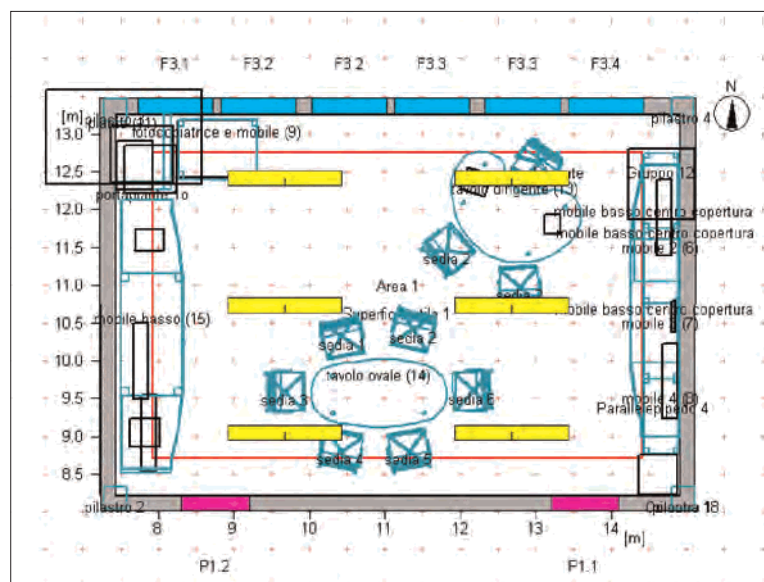
Fattore di luce diurna medio D_m : 2.2
 Fattore di luce diurna minimo D_{min} : 0.1
 Fattore di luce diurna massimo D_{max} : 11.8
 Illuminamento esterno E_a : 18500 lx
 Uniformità g1 D_{min}/D_m : 1 : 19.38 (0.05)
 Uniformità g2 D_{min}/D_{max} : 1 : 101.92 (0.01)
 Data, Ora : 21.06. 12:00 (OLR 10:28)



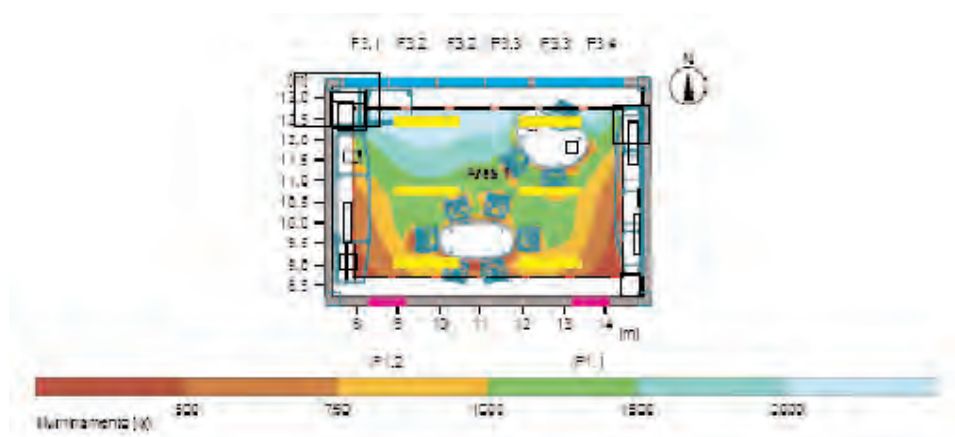


Figg. 7. 16 - Viste 3D con risultati luce naturale

7. 5. Risultati del processo di luce naturale-artificiale



Parete	x	y	Lunghezza	Grado di riflessione	Elementi di creazione
1	14.90 m	8.22 m	7.47 m	50.0 %	C : colonna
2	14.91 m	13.27 m	5.05 m	50.0 %	Dv : Divisorio
3	7.43 m	13.27 m	7.49 m	50.0 %	S : Superficie di lavoro reale
4	7.43 m	8.22 m	5.05 m	50.0 %	M : superficie di misurazione virtuale
Suol				31.9 %	L : Lucernario
Soffitto				70.0 %	Q : Immagine
Altezza interno		3.00 m			F : Finestra
Altezza superficie utile		0.75 m			P : Porta
					Mo : Arredo



Generale

Algoritmo di calcolo utilizzato: Percentuale indiretta alta

Altezza area di valutazione 0.75 m

Altezza piano punti luce 2.50 m

Fattore di manut. Vedi punti luce / Piano di manutenzione

Modalità di calcolo utilizzata: Calcolo luce artificiale e naturale

Data, Ora: 21.04. 12:00 (OLR 10:31)

Illuminamento

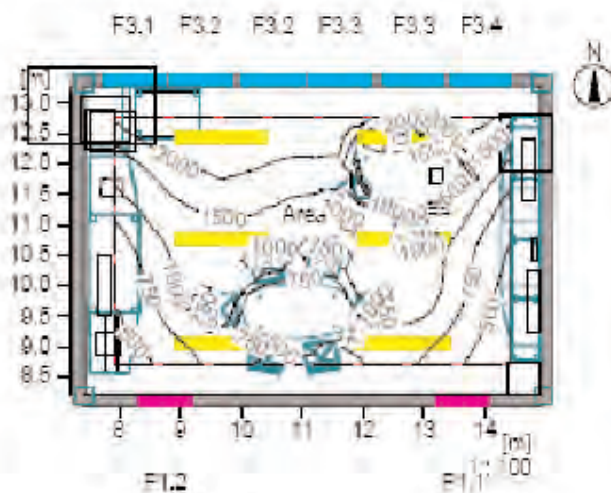
Illuminamento medio E_m 1160 lx

Illuminamento minimo E_{min} 288 lx

Illuminamento massimo E_{max} 2590 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m 1:4.04 (0.25)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} 1:9 (0.11)



Rappresentazione delle isolinee

Altezza del piano di riferimento : 0.75 m

Illuminamento medio E_m : 1160 lx

Illuminamento minimo E_{min} : 288 lx

Illuminamento massimo E_{max} : 2590 lx

Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 4.04 (0.25)

Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 9.00 (0.11)

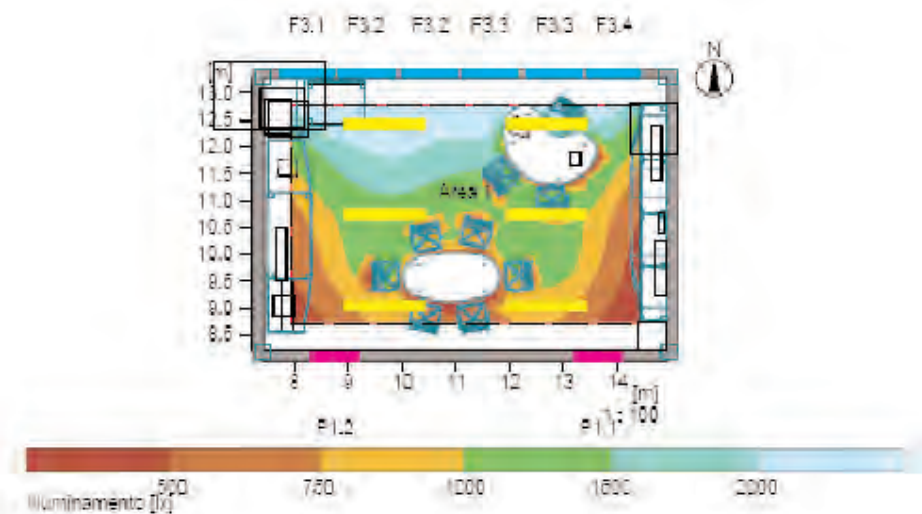


Fig. 7. 17 - Falsi colori

Altezza del piano di riferimento : 0.75 m
 Illuminamento medio E_m : 1160 lx
 Illuminamento minimo E_{min} : 288 lx
 Illuminamento massimo E_{max} : 2590 lx
 Uniformità g1 E_{min}/E_m : 1 : 4.04 (0.25)
 Uniformità g2 E_{min}/E_{max} : 1 : 9.00 (0.11)

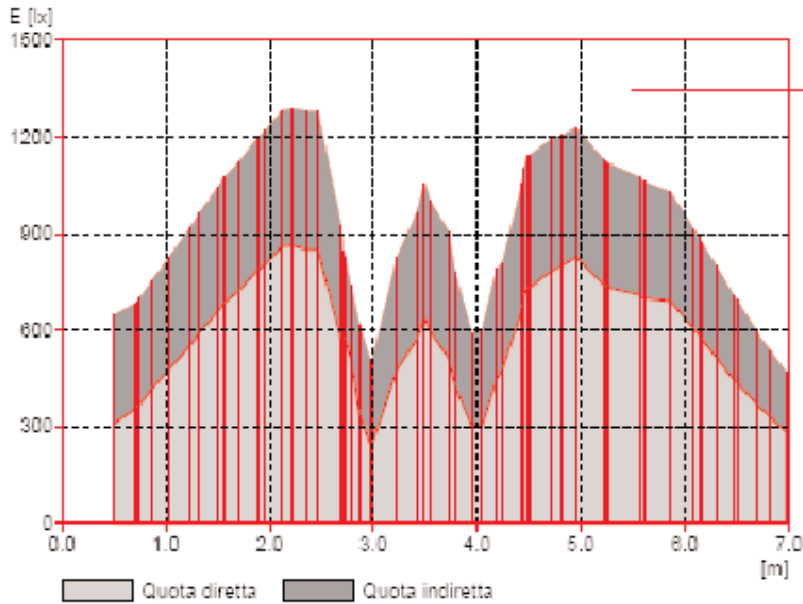


Fig. 7. 18 - Sezione longitudinale, Superficie utile 1 (E). Sezione longitudinale con $y = 2.28$ m

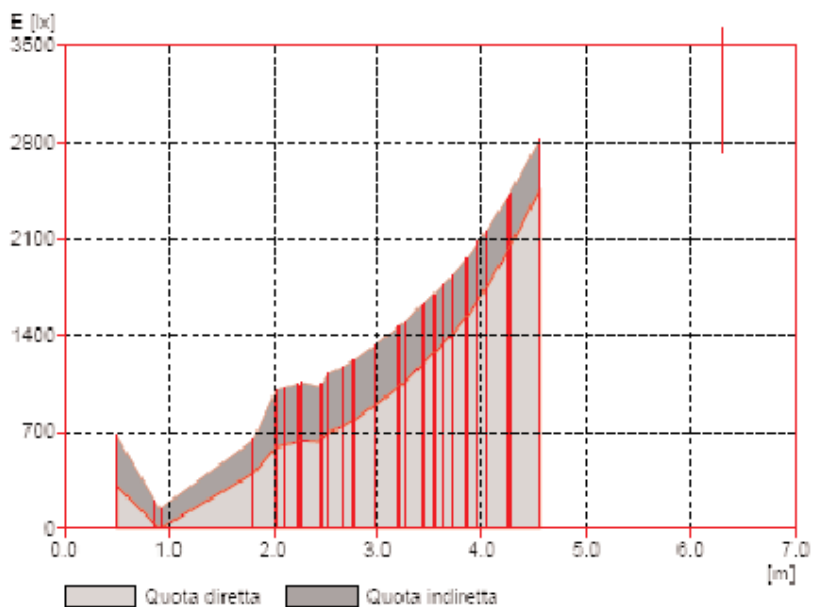


Fig. 7. 19 - Sezione trasversale, Superficie utile 1 (E). Sezione trasversale con $x = 3.49$ m







Fig. 7. 20 - Viste 3D con risultati luce naturale - artificiale

CAPITOLO 8

Analisi costi benefici di un edificio bioclimatico

Francesca Scalisi

8. 1. Definizione del progetto

Il progetto consiste nella realizzazione di una abitazione unifamiliare, su un unico livello, delle dimensioni di mq 80,00, su un terreno di circa 1300 mq che presenta una pendenza del 4% esposto a Nord, appena fuori il centro di Santa Flavia (PA), lungo il nuovo prolungamento della Via Filangeri.

Il lotto su cui insisterà la nuova costruzione ha una forma trapezoidale, confinante a Sud e ad Ovest con altri lotti, mentre è delimitato a Nord dalla Via Filangeri ed ad Est dalla Via Campofranco. L'accesso al lotto può avvenire soltanto dalla Via Filangeri.

Questa nuova costruzione è inserita all'interno di una zona di nuova lottizzazione caratterizzata dalla presenza di unità abitative unifamiliari, ad uno o due livelli, ognuna delle quali circondata dal proprio giardino.

Il progetto ha tenuto conto del contesto, non discostandosi dalle caratteristiche dettate dalle costruzioni esistenti per tipologia e dimensioni, ma si è posto l'accento su una progettazione attenta alle peculiarità della zona (clima, temperature medie, esposizione, venti dominanti, piovosità media, materiali e tecniche costruttive) cercando di ottenere un miglioramento del comfort dell'edificio. L'uso di strategie per il controllo microclimatico permette di ottenere un risparmio energetico, utile non soltanto dal punto di vista economico ma anche da quello ambientale.

L'abitazione, ad un unico livello, è formata da due rettangoli leggermente sfalsati, con il lato maggiore che funge da prospetto principale, rivolto a Nord.

La scelta di rivolgere il lato principale a Nord è stata imposta dalla posizione del terreno. Sul fronte principale si affacciano l'ingresso, la cucina; ed una delle due camere da letto, mentre sul lato Sud abbiamo il soggiorno, il bagno e l'altra camera da letto.

I lati esposti a Nord, Ovest e Sud sono protetti dai venti dominanti e dall'eccessivo caldo estivo tramite tettoie, pergolati e coperture vegetazionali.

Come accennato prima la finalità principale del nostro intervento è stata la realizzazione di un'architettura compatibile con il territorio circostante, rispettosa dell'ambiente e dalla gestione economicamente conveniente.

Per ottenere tale risultato ci si è avvalsi di tecniche e materiali del luogo ma utilizzando alcuni accorgimenti in grado di ottenere un edificio il più possibile passivo. Per passivo si intende un edificio in grado di auto mantenersi senza bruciare e con-

sumare risorse naturali non rinnovabili. Gli accorgimenti adoperati hanno chiaramente fatto aumentare i costi di realizzazione ma garantiscono un abbassamento dei consumi energetici del fabbricato, ottenendo un abbattimento delle emissioni di CO₂ in atmosfera e la riduzione di almeno il 60 % dei consumi di gas, una facile dismissione e riutilizzo dei componenti utilizzati ed un impatto sul territorio minimo.

Per ottenere tali risultati si è intervenuto dapprima sull'involucro edilizio trasformandolo in un elemento capace di utilizzare le caratteristiche climatiche in risorse energetiche. In questo modo si sono raggiunti risparmi energetici ben oltre i valori definiti dalla Legge 10/91 realizzando ambienti che uniscono alla qualità architettonica quella ambientale.

IL processo progettuale è partito dalle caratteristiche del luogo, si è poi proceduto alla definizione delle strategie energetiche da adottare e quindi la forma e la compattezza dell'involucro edilizio.

Nell'ideazione del progetto sono quindi stati presi in considerazione i seguenti elementi fisici e climatici:

- la forma del lotto
- la pendenza media del terreno
- l'esposizione
- i venti dominanti
- il sole
- la piovosità annua.

Le strategie energetiche migliori sono sembrate:

- l'utilizzo di tecniche di costruzione tradizionali mediante l'impiego delle tecnologie moderne (isolamento e massa termica);
- l'uso di materiali locali;
- l'uso di schermature costruite, tipiche dei luoghi (patii e pergolati);
- l'uso di schermature naturali (piante a fusto medio alto, arbusti e cespugli);
- l'uso del tetto ventilato;
- l'integrazione di pannelli solari per il riscaldamento dell'acqua sanitaria e l'alimentazione del sistema di riscaldamento;
- l'uso della ventilazione naturale per il miglioramento della qualità dell'aria;
- l'illuminazione naturale degli spazi interni;
- l'uso del pavimento radiante come sistema di condizionamento interno;
- l'impianto di un giardino con essenze mediterranee, tipiche del luogo, per un corretto controllo climatico degli spazi esterni e di riflesso anche di quelli interni.

Gli elementi principali sui quali si è intervenuto per creare, all'interno degli edifici, condizioni di comfort soddisfacenti sono stati:

- isolamento
- condizionamento
- ventilazione naturale
- impianti tecnologici
- microclima esterno

Il pacchetto murario che si utilizzerà garantirà con l'inserimento di un isolante di poliestere da cm 8 una trasmittanza U tale da rendere l'edificio particolarmente compatto ed isolato. Tale rivestimento avvolgerà anche i ponti termici.

Gli infissi saranno ad alta efficienza termica con coefficienti di trasmittanza e riflessione molto bassi e saranno corredati di persiane e scuri. Le persiane, allo stesso tempo, proteggeranno dall'eccessivo irraggiamento e garantiranno la luminosità degli ambienti e la loro corretta ventilazione. Le ampie aperture verticali rendono possibile anche la visione diretta del giardino, del sole e del cielo, migliorano la percezione dello spazio interno e aumentando di conseguenza il comfort interno dell'edificio.

Con questi semplici accorgimenti si garantisce un adeguato isolamento dal caldo estivo dissipando il calore il più possibile, traendo il massimo vantaggio dalle vegetazione, dalle persiane e dalle schermature costruite; mentre per l'inverno si è puntato sul massimo vantaggio dato dagli apporti solari, per il condizionamento degli ambienti ed il riscaldamento dell'acqua sanitaria, e dalle protezioni vegetazionali per ripararsi dai venti dominati.

Per isolare l'edificio da terra e aumentare la ventilazione naturale sarà realizzato un pavimento ventilato che consente il passaggio dell'aria e che sul fondo presenta elementi drenanti, in grado di assorbire in maniera naturale l'acqua.

Il condizionamento sarà ottenuto tramite un impianto a pannelli radianti a pavimento alimentati dall'impianto solare posto in copertura formato da tre pannelli da mq 2,00 ciascuno e da due boylers: uno per l'acqua sanitaria ed uno per alimentare il riscaldamento.

Inoltre le schermature costituite dai pergolati e dai patii ricoperti da piante caducifoglie garantiranno una corretta ombreggiatura in estate ed una ottima illuminazione in inverno.

La ventilazione sarà del tutto naturale. Saranno create le opportune aperture nelle strutture opache che collaborando con il corretto uso delle aperture e con il pa-

vimento ed il tetto ventilato permetteranno il corretto scambio di calore ed il ricambio dell'aria, migliorando così temperatura, umidità e qualità dell'aria.

A tal fine sono state previste specifiche aperture di ventilazione, sia attraverso griglie inserite nel telaio degli infissi che nello spessore delle murature, in modo da consentire un effettivo ricambio d'aria in condizioni di sicurezza. Tali griglie, opportunamente disposte (nei muri interni in alto, nei muri esterni in basso) assicurano:

Ricambi d'aria,

Traspirabilità dell'edificio

Riduzione di formazione di condense

Verrà installato un impianto solare termico, integrato nella copertura a falde, in grado di garantire acqua calda sanitaria e riscaldamento degli ambienti. Il solare termico sarà dotato di due boylers: il primo servirà alla raccolta dell'acqua sanitaria, il secondo servirà ad alimentare il circuito di riscaldamento formato da pannelli radianti a pavimento. I due boylers e tutti gli altri impianti di sicurezza e funzionamento del solare termico saranno inseriti nel tetto morto e direttamente accessibili dalla copertura piana.

Il sistema di riscaldamento a pavimento ha diversi vantaggi: necessita di temperature di esercizio molto più basse – circa il 50% in meno –, può essere utilizzato anche per il condizionamento estivo, non insatura moti convettivi dell'aria dannosi per la respirazione e permette di ridurre l'emissioni di anidride carbonica in atmosfera

La copertura verrà realizzata in parte a falde ed in parte a terrazza: in entrambi i casi il tetto sarà realizzato ventilato. Il tetto a falde coprirà il rettangolo maggiore del fabbricato mentre il rettangolo minore sarà coperto con un tetto a terrazza.

L'utilizzo del tetto ventilato congiuntamente all'uso di un pavimento isolato e ventilato, ha permesso di ridurre il surriscaldamento, consentendo di diminuire considerevolmente il fattore di trasmissione in funzione al tasso di permeabilità dell'aria. La corretta ventilazione del tetto garantisce inoltre di ridurre l'umidità, salvaguardando il tetto da possibili danni e ritrasmettere direttamente all'esterno, nel minor tempo possibile, l'energia termica dei raggi solari sul tetto.

L'uso del tetto ventilato, in aggiunta ai pannelli solari ed al riscaldamento a pavimento ha permesso l'eliminazione di sistemi di climatizzazione artificiale, con la garanzia di fornire in tutti gli ambienti un comfort accettabile nelle varie stagioni; inoltre per facilitare il formarsi di una ventilazione naturale, sono state previste delle aperture protette specificatamente dedicate alla ventilazione che possono

anche essere comandate in modo automatico o semiautomatico.

Il giardino avrà lo scopo di schermare l'edificio ed influenzare il microclima esterno, migliorando la fruibilità degli spazi.

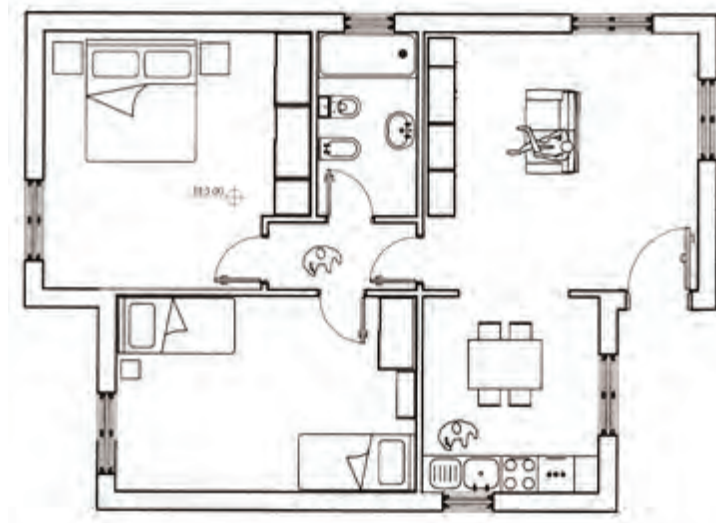


Fig. 8. 1 - Pianta piano terra

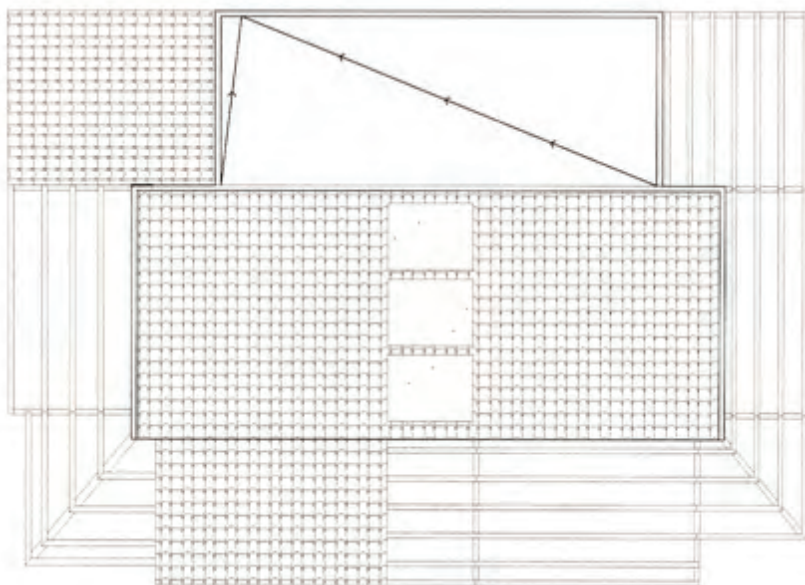


Fig. 8. 2 - Pianta piano coperture

8. 2. Identificazione degli impatti del progetto

L'adozione di strategie per il controllo energetico implica una maggiorazione delle spese previste per la realizzazione dell'edificio. Nella nostra analisi sono stati dunque identificati tutti i costi e benefici del progetto che derivano dall'adozione di tali strategie.

I costi di realizzazione dell'opera, senza le strategie di risparmio energetico, sono elencati nella seguente tabella:

Costi dell'edificio senza le strategie bioclimatiche

SCAVI	€ 7.157,25
FONDAZIONI	€ 43.716,10
PONTEGGI	€ 1.355,37
MURATURE E TRAMEZZI	€ 1.863,37
SOLAI	€ 14.927,07
COPERTURE	€ 9.040,00
MARMI	€ 2.153,50
PAVIMENTI	€ 8395,50
INTONACI	€ 6.501,30
RINGHIERE	€ 1.584,99
INFISSI	€ 10.153,19
IDRICO-SANITARIO-TERMICO	€ 4.986,95
ELETTRICO	€ 3.203,55
SISTEMAZIONE ESTERNA	€ 2.000,00
TOTALE	€ 117.038,67
PROGETTAZIONE	€ 11.703,867
TOTALE	€ 128.743

La differenza di costo per la realizzazione di un edificio bioclimatico, rispetto alle voci sopra elencate, è dovuta ai seguenti interventi:

Differenza tra il costo del muro con requisiti minimi previsti dalla Legge 10/91 e i muri con isolante di cm 8,00.

Differenza tra il costo del tetto ventilato e quello tradizionale.

Differenza tra il costo del pavimento radiante e il sistema di riscaldamento a piastre radianti.

Installazione dei pannelli solari.

Il costo dovuto alle maggiori ore di progettazione non è stato considerato in quanto la parcella viene calcolata in base al costo dell'opera, con le percentuali che variano per scaglioni definiti dall'Ordine Professionale. La variazione di costo per tale progettazione non implica il rientro nello scaglione successivo a quello di riferimento.

Questa maggiorazione dei costi nella fase iniziale avrà però dei benefici per i fruitori dell'abitazione e per l'ambiente, in quanto si avrà:

- un migliore comfort indoor
- un consumo energetico ridotto
- un risparmio sulle bollette
- minore emissioni di CO₂ nell'atmosfera.

Identificazione dell'impatto delle strategie sostenibili

Impatto delle strategie sostenibili			
Strategia	Costi	Benefici finanziari	Benefici economici
Strategie per il controllo del consumo energetico	Isolante di cm 8,00 Differenza tra costo del tetto ventilato e quello tradizionale Differenza tra costo del pavimento radiante e dei radiatori Installazione dei pannelli solari	Risparmi energetici	Riduzione delle emissioni di CO ₂ Benessere <i>indoor</i> elevato

8. 3. Quantificazione fisica degli impatti

La quantificazione fisica degli impatti viene riportata nella seguente tabella:

Tipo di costo	Quantità
<i>Isolante</i>	117,71 mq
<i>Tetto ventilato</i>	80 mq
<i>Pavimento radiante</i>	80 mq
<i>Pannelli solari</i>	6 mq

In seguito si è provveduto ad operare una comparazione tra la spesa energetica annua e la conseguente emissione di CO₂ di due edifici tipo: il primo realizzato con i requisiti prescritti dalla Legge 10/91, con muri a cassetta con coefficiente di trasmissione pari a 0,92 W/m²K con una intercapedine di aria di cm 4,00, infissi a taglio termico con vetro camera, coefficiente di trasmissione pari a 3,38 W/m²K, solaio in latero-cemento con coefficiente di trasmissione pari a 0,94 W/m²K, il secondo realizzato con le strategie di controllo energetico. I risultati forniti da Ecorete, che si riferiscono ai consumi di un appartamento delle dimensioni di circa mq 100,00, occupato da 4 persone, sono riportati nelle seguenti tabella:

Spesa energetica annua (kWhrs/year)	
<i>Appartamento Senza strategie</i>	11.500
<i>Appartamento con strategie</i>	4.300
<i>Spesa energetica evitata</i>	7.200

Emissioni di anidride carbonica (t/year)	
<i>Appartamento senza strategie</i>	3,8
<i>Appartamento con strategie</i>	1,8
<i>Emissioni di CO₂ evitate</i>	2

Per quanto riguarda la monetizzazione del miglioramento del comfort indoor, è stato considerato il costo evitato per l'installazione dell'impianto di condizionamento e il relativo consumo annuo di energia elettrica. L'appartamento considerato, anche a causa della zona climatica in cui sarà realizzato, avrebbe bisogno di un impianto di raffreddamento costituito da 3 condizionatori, con un consumo annuo di circa 800 kWh (Fonte: Energy, Environment and Resources Center - EERC) Quindi:

Impianto di condizionamento	
<i>Numero di macchine interne per appartamento</i>	3
<i>Consumo elettrico annuo per ogni macchina</i>	800 kWh
<i>Energia elettrica risparmiata</i>	2.400 kWh

Per quanto riguarda le emissioni di CO₂, l'Autorità per l'Energia stima che, mediamente, in Italia per produrre un kWh di corrente si producono 0.650 kg di CO₂. Considerando il consumo di energia elettrica evitata si avrà:

Emissioni di CO₂ evitate	
<i>Energia elettrica risparmiata</i>	2.400 kWh
<i>Quantità di CO₂ emessa per ogni kWh prodotto</i>	0,650 kg/kWh
<i>Totale emissioni evitate</i>	1,5 t

8. 4. Valutazione monetaria degli effetti rilevanti

Di seguito sono riportati i costi relativi alle strategie bioclimatiche.

Il costo dell'isolante impiegato, cioè polisterene espanso ad alta resistenza meccanica di densità pari a 35 kg/mc dello spessore di 8 cm, ammonta ad € 16,28 al mq, quindi:

Costo per l'isolante	
<i>Costo al mq</i>	€ 16,28
<i>Totale superficie opache da isolare</i>	mq 117,71
<i>Costo totale</i>	€ 1.916,00

Il costo della messa in opera di un tetto ventilato ammonta a circa € 145,00 al mq, mentre il prezzo di un tetto tradizionale è di circa € 113,00 al mq; di conseguenza si avrà un differenziale di costi pari a €, 32,00, quindi:

	Differenziale del costo del tetto		
	<i>Costo al mq</i>	<i>Superficie del tetto</i>	<i>Costo totale</i>
<i>Tetto ventilato</i>	€ 145,00	80 mq	€ 11.600,00
<i>Tetto tradizionale</i>	€ 113,00	80 mq	€ 9.040,00
<i>Differenza costo</i>	2.560,00 €		

Il pavimento radiante ha un costo di realizzazione di circa € 58,93 al mq, mentre il costo di un riscaldamento tradizionale a radiatori è di € 41,58, con un differenziale di € 17,35 al mq, quindi:

	Costo per l'impianto di riscaldamento		
	<i>Costo al mq</i>	<i>Totale superficie</i>	<i>Costo totale</i>
<i>Pavimento radiante</i>	58,93 €	80 mq	4.714 €
<i>Sistema a convezione</i>	41,58 €	80 mq	3.326 €
<i>Differenza costo</i>	1.388 €		

Costo per i pannelli solari	
<i>2 mq</i>	1.300 €
<i>Totale mq installati</i>	6 mq
<i>Costo totale</i>	3.900 €

Il progetto per realizzare le strategie bioclimatiche avrà un costo maggiore pari a:

Costo aggiuntivo totale dovuto alle strategie energetiche	
<i>Costo dell'impiego dello strato di isolante di 8 cm</i>	1.916,00 €
<i>Differenza di costo per realizzare il tetto ventilato</i>	2.560,00 €
<i>Differenza di costo per il pavimento radiante</i>	1.388,78 €
<i>Pannelli solari</i>	3.900 €
TOTALE	9.764,00 €

<i>Costo totale progetto</i>	128.743,00
<i>Incidenza su costo totale progetto</i>	7,6 %

Per monetizzare i benefici finanziari, dovuti al risparmio di energia utilizzata per il riscaldamento durante il periodo invernale, è stato calcolato che una famiglia media spende all'anno circa € 1.100 per il gas

Le stime del costo marginale per l'abbattimento di anidride carbonica sono varie. Quelle più prudenti riportano un costo marginale nell'Unione Europea tra € 15 e 28 a tonnellata; altre stime, invece, arrivano a stimare il costo di abbattimento pari a quello per l'acquisto di certificati ad emettere come previsto dal Protocollo di Kyoto e quindi circa 50 €.

Per motivi prudenziali si è considerato la stima minore e quindi un costo pari a

15 € per ogni tonnellata emessa in atmosfera.

Costo marginale della CO₂	15 €/t
---	---------------

Il costo di installazione di un impianto di condizionamento è stato stimato pari a € 2.850, quindi:

Costo evitato dell'impianto di condizionamento	
<i>Costo per singola abitazione</i>	2850,00 €
<i>Numero abitazioni</i>	1
TOTALE	2.850,00 €

Per quanto riguarda il prezzo del gas, la nostra analisi aveva preso come riferimento il consumo medio di una famiglia, circa € 1100, su cui si avrebbe un risparmio del 60% con l'introduzione di strategie bioclimatiche. Quindi per variazione del prezzo del gas noi intendiamo le variazioni dell'intero consumo annuo. La tariffa, invece, per le forniture di energia elettrica in bassa tensione per usi domestici nelle abitazioni di residenza anagrafica con potenza impegnata inferiore o uguale a 3 kW viene così definita dall'Autorità:

Prezzo energia elettrica	
<i>Per consumi da 901 kWh fino a 1800 kWh</i>	0,0988 €/kWh
<i>Imposta erariale</i>	0,0047 €/kWh
<i>Add.enti locali</i>	0,0185 €/kWh
<i>I.V.A.</i>	10%
Prezzo	0,1342 €/kWh

I benefici annuali derivanti dall'impiego delle strategie per il controllo energetico saranno pari a:

Benefici delle strategie per il controllo energetico				
		<i>Prezzo</i>	<i>Quantità</i>	<i>Totale</i>
<i>Costo evitato per l'impianto di condizionamento</i>		2.850,00 €	1	2.850.000,00 €
<i>Risparmio Energetico</i>	<i>Inverno</i>	1.100	60%	680,00 €
	<i>Estate</i>	0,1342 €/kWh	2.400 kWhs/year	322,08 €
<i>Emissioni evitate</i>	<i>Inverno</i>	15,00	2,00 t/year	30,00 €
	<i>Estate</i>	€/t	1,5 t/year	22,50 €

Nella seguente tabella sono riassunti i totali dei benefici finanziari ed economici derivanti dall'adozione di strategie sostenibili:

Benefici complessivi delle strategie sostenibili			
	<i>Benefici finanziari</i>	<i>Benefici economici</i>	<i>Totale</i>
<i>Strategie per controllo energetico</i>	680,00 €	3.224,00 €	3.904,00 €

8. 5. Sconto dei flussi ed applicazione dei criteri di investimento

L'analisi è stata realizzata inizialmente a livello finanziario, considerando solo gli effetti che sono registrati dai regolari meccanismi di mercato (minore consumo energetico), successivamente a livello economico.

Infatti, l'adozione di strategie sostenibili, internalizza effetti esterni che non hanno uno specifico prezzo di mercato. Tali effetti positivi sono dovuti ad una riduzione di emissioni di anidride carbonica in atmosfera e ad un maggior confort degli ambienti interni. Per il prezzo delle emissioni è stata considerata la stima minore attualmente fornita (15 €/t), mentre per quanto riguarda la monetizzazione dei benefici dovuto al miglioramento del benessere indoor si è considerato il costo evitato per l'installazione di un impianto di condizionamento e la relativa spesa dovuto al consumo di energia elettrica.

Per la valutazione di redditività dei flussi di cassa è stato applicato un tasso del 3% in un arco temporale ventennale, periodo durante il quale gli edifici non richiedono una manutenzione straordinaria.

Si ipotizza che il costruttore sia anche il futuro fruitore dell'abitazione e che entro un anno dall'inizio dei lavori, la casa sarà abitata.

Per quanto riguarda i benefici economici il costo di installazione dell'impianto di condizionamento viene imputato solo una volta, il primo anno.

Applicando ai flussi di cassa agli indicatori di redditività è possibile valutare la convenienza economica dell'impianto e stimare il tempo di ritorno dell'investimento.

Gli indici utilizzati sono:

- il VAN, che sconta il valore dei flussi di cassa futuri del progetto ad un tasso dato, ottenendo un risultato economico che rappresenta il valore aggiunto creato dal progetto rapportato ad oggi.

Se il VAN è positivo, il progetto genera un incremento delle risorse che sono state impegnate. Se il VAN è negativo, i ricavi complessivi sono inferiori a quelli ottenibili impiegando i capitali, allo stesso tasso utilizzato per il calcolo, in altre forme di investimento.

- Il TIR esprime in termini percentuali la redditività di un investimento sulla base di esborsi iniziali e dei successivi flussi di cassa positivi. Rappresenta il tasso che rende pari a zero il valore attuale dei flussi di cassa. L'investimento sarà attraente se il tasso di rendimento interno non sarà inferiore al tasso di riferimento predeterminato, in questo caso 3%.

• Il Payback Period restituisce il tempo necessario perché la somma dei flussi di cassa positivi generati dall'investimento sia pari all'esborso iniziale o, più semplicemente, il tempo di rientro dell'investimento espresso in anni.

A scopo prudenziale, le proiezioni non sono state inflazionate, né è stato indicato un valore residuo dell'attività al termine del periodo.

Le seguenti tabelle riportano i risultati ottenuti dell'analisi finanziaria e da quella economica.

ANALISI FINANZIARIA					ANALISI ECONOMICA				
Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)	Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)
0	-€ 9.764,00	€ 0,00	-€ 9.764,00	-€ 9.764,00	0	-€ 9.764,00	€ 0,00	-€ 9.764,00	-€ 9.764,00
1		€ 680,00	€ 680,00	-€ 9.084,00	1		€ 3.904,58	€ 3.904,58	-€ 5.859,42
2		€ 680,00	€ 680,00	-€ 8.404,00	2		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 4.804,84
3		€ 680,00	€ 680,00	-€ 7.724,00	3		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 3.750,26
4		€ 680,00	€ 680,00	-€ 7.044,00	4		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 2.695,68
5		€ 680,00	€ 680,00	-€ 6.364,00	5		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 1.641,10
6		€ 680,00	€ 680,00	-€ 5.684,00	6		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 586,52
7		€ 680,00	€ 680,00	-€ 5.004,00	7		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 468,06
8		€ 680,00	€ 680,00	-€ 4.324,00	8		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 1.522,64
9		€ 680,00	€ 680,00	-€ 3.644,00	9		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 2.577,22
10		€ 680,00	€ 680,00	-€ 2.964,00	10		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 3.631,80
11		€ 680,00	€ 680,00	-€ 2.284,00	11		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 4.686,38
12		€ 680,00	€ 680,00	-€ 1.604,00	12		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 5.740,96
13		€ 680,00	€ 680,00	-€ 924,00	13		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 6.795,54
14		€ 680,00	€ 680,00	-€ 244,00	14		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 7.850,12
15		€ 680,00	€ 680,00	€ 436,00	15		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 8.904,70
16		€ 680,00	€ 680,00	€ 1.116,00	16		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 9.959,28
17		€ 680,00	€ 680,00	€ 1.796,00	17		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 11.013,86
18		€ 680,00	€ 680,00	€ 2.476,00	18		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 12.068,44
19		€ 680,00	€ 680,00	€ 3.156,00	19		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 13.123,02
20		€ 680,00	€ 680,00	€ 3.836,00	20		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 14.177,60
		VAN	€ 342,41				VAN	€ 8.439,30	
		TIR	3,39%				TIR	13%	
		PRP	15,36				PRP	7,56	

8. 6. Analisi di sensitività

Al fine di comprendere quali sono gli elementi che influenzano maggiormente l'investimento, è stata eseguita l'analisi di sensitività facendo variare: i costi delle strategie sostenibili; il prezzo del gas; I due parametri considerati (non è stato considerato il costo di abbattimento dell'anidride carbonica, in quanto la cifra risulta ininfluente ai fini della nostra analisi) sono stati fatti variare del 10%, 15% e 20% sia in positivo che in negativo, ottenendo i seguenti valori:

Analisi di sensitività:	Valutazione dell'incidenza degli elementi di costo e di ricavo che influiscono sui risultati di redditività						
Elementi considerati:	-20%	-15%	-10%	Caso Base	10%	15%	20%
1) Costo delle strategie	€ 7.811,20	€ 8.229,40	€ 8.787,60	€ 9.764,00	€ 10.740,40	€ 11.228,60	€ 11.716,80
2) Prezzo del gas	€ 544	€ 578	€ 612	€ 680	€ 748	€ 782	€ 816

Variazione degli indici per il costo delle strategie

ANALISI FINANZIARIA -20%					ANALISI ECONOMICA -20%				
Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)	Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)
0	-€ 7.811,20	€ 0,00	-€ 7.811,20	-€ 7.811,20	0	-€ 7.811,20	€ 0,00	-€ 7.811,20	-€ 7.811,20
1		€ 680,00	€ 680,00	-€ 7.131,20	1		€ 3.904,58	€ 3.904,58	-€ 3.906,6
2		€ 680,00	€ 680,00	-€ 6.451,20	2		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 2.852,0
3		€ 680,00	€ 680,00	-€ 5.771,20	3		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 1.797,4
4		€ 680,00	€ 680,00	-€ 5.091,20	4		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 742,8
5		€ 680,00	€ 680,00	-€ 4.411,20	5		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 311,7
6		€ 680,00	€ 680,00	-€ 3.731,20	6		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 1.366,2
7		€ 680,00	€ 680,00	-€ 3.051,20	7		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 2.420,8
8		€ 680,00	€ 680,00	-€ 2.371,20	8		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 3.475,4
9		€ 680,00	€ 680,00	-€ 1.691,20	9		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 4.530,0
10		€ 680,00	€ 680,00	-€ 1.011,20	10		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 5.584,6
11		€ 680,00	€ 680,00	-€ 331,20	11		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 6.639,1
12		€ 680,00	€ 680,00	€ 348,80	12		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 7.693,7
13		€ 680,00	€ 680,00	€ 1.028,80	13		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 8.748,3
14		€ 680,00	€ 680,00	€ 1.708,80	14		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 9.802,9
15		€ 680,00	€ 680,00	€ 2.388,80	15		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 10.857,5
16		€ 680,00	€ 680,00	€ 3.068,80	16		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 11.912,0
17		€ 680,00	€ 680,00	€ 3.748,80	17		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 12.966,6
18		€ 680,00	€ 680,00	€ 4.428,80	18		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 14.021,2
19		€ 680,00	€ 680,00	€ 5.108,80	19		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 15.075,8
20		€ 680,00	€ 680,00	€ 5.788,80	20		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 16.130,4
		VAN	€ 2.238,33				VAN	€ 10.335,22	
		TIR	5,98%				TIR	19%	
		PBP	12,49				PBP	5,70	

ANALISI FINANZIARIA - 15%					ANALISI ECONOMICA - 15%				
Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)	Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)
0	-€ 8.229,40	€ 0,00	-€ 8.229,40	-€ 8.229,40	0	-€ 8.229,40	€ 0,00	-€ 8.229,40	-€ 8.229,40
1		€ 680,00	€ 680,00	-€ 7.549,40	1		€ 3.904,58	€ 3.904,58	-€ 4.324,82
2		€ 680,00	€ 680,00	-€ 6.869,40	2		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 3.270,24
3		€ 680,00	€ 680,00	-€ 6.189,40	3		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 2.215,66
4		€ 680,00	€ 680,00	-€ 5.509,40	4		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 1.161,08
5		€ 680,00	€ 680,00	-€ 4.829,40	5		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 106,50
6		€ 680,00	€ 680,00	-€ 4.149,40	6		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 948,08
7		€ 680,00	€ 680,00	-€ 3.469,40	7		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 2.002,66
8		€ 680,00	€ 680,00	-€ 2.789,40	8		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 3.057,24
9		€ 680,00	€ 680,00	-€ 2.109,40	9		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 4.111,82
10		€ 680,00	€ 680,00	-€ 1.429,40	10		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 5.166,40
11		€ 680,00	€ 680,00	-€ 749,40	11		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 6.220,98
12		€ 680,00	€ 680,00	-€ 69,40	12		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 7.275,56
13		€ 680,00	€ 680,00	€ 610,60	13		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 8.330,14
14		€ 680,00	€ 680,00	€ 1.290,60	14		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 9.384,72
15		€ 680,00	€ 680,00	€ 1.970,60	15		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 10.439,30
16		€ 680,00	€ 680,00	€ 2.650,60	16		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 11.493,88
17		€ 680,00	€ 680,00	€ 3.330,60	17		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 12.548,46
18		€ 680,00	€ 680,00	€ 4.010,60	18		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 13.603,04
19		€ 680,00	€ 680,00	€ 4.690,60	19		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 14.657,62
20		€ 680,00	€ 680,00	€ 5.370,60	20		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 15.712,20
		VAN	€ 1.832,31				VAN	€ 9.929,20	
		TIR	5,35%				TIR	17%	
		PBP	13,10				PBP	6,10	

ANALISI FINANZIARIA -10%					ANALISI ECONOMICA -10%				
Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)	Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)
0	-€ 8.787,60	€ 0,00	-€ 8.787,60	-€ 8.787,60	0	-€ 8.787,60	€ 0,00	-€ 8.787,60	-€ 8.787,60
1		€ 680,00	€ 680,00	-€ 8.107,60	1		€ 3.904,58	€ 3.904,58	-€ 4.883,02
2		€ 680,00	€ 680,00	-€ 7.427,60	2		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 3.828,44
3		€ 680,00	€ 680,00	-€ 6.747,60	3		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 2.773,86
4		€ 680,00	€ 680,00	-€ 6.067,60	4		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 1.719,28
5		€ 680,00	€ 680,00	-€ 5.387,60	5		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 664,70
6		€ 680,00	€ 680,00	-€ 4.707,60	6		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 389,88
7		€ 680,00	€ 680,00	-€ 4.027,60	7		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 1.444,46
8		€ 680,00	€ 680,00	-€ 3.347,60	8		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 2.499,04
9		€ 680,00	€ 680,00	-€ 2.667,60	9		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 3.553,62
10		€ 680,00	€ 680,00	-€ 1.987,60	10		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 4.608,20
11		€ 680,00	€ 680,00	-€ 1.307,60	11		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 5.662,78
12		€ 680,00	€ 680,00	-€ 627,60	12		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 6.717,36
13		€ 680,00	€ 680,00	€ 52,40	13		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 7.771,94
14		€ 680,00	€ 680,00	€ 732,40	14		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 8.826,52
15		€ 680,00	€ 680,00	€ 1.412,40	15		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 9.881,10
16		€ 680,00	€ 680,00	€ 2.092,40	16		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 10.935,68
17		€ 680,00	€ 680,00	€ 2.772,40	17		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 11.990,26
18		€ 680,00	€ 680,00	€ 3.452,40	18		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 13.044,84
19		€ 680,00	€ 680,00	€ 4.132,40	19		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 14.099,42
20		€ 680,00	€ 680,00	€ 4.812,40	20		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 15.154,00
		VAN	€ 1.290,37				VAN	€ 9.387,26	
		TIR	4,58%				TIR	16%	
		PBP	13,92				PBP	6,63	

ANALISI FINANZIARIA + 20%					ANALISI ECONOMICA + 20%				
Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)	Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)
0	-€ 11.716,80	€ 0,00	-€ 11.716,80	-€ 11.716,80	0	-€ 11.716,80	€ 0,00	-€ 11.716,80	-€ 11.716,80
1		€ 680,00	€ 680,00	-€ 11.036,80	1		€ 3.904,58	€ 3.904,58	-€ 7.812,22
2		€ 680,00	€ 680,00	-€ 10.356,80	2		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 6.757,64
3		€ 680,00	€ 680,00	-€ 9.676,80	3		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 5.703,06
4		€ 680,00	€ 680,00	-€ 8.996,80	4		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 4.648,48
5		€ 680,00	€ 680,00	-€ 8.316,80	5		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 3.593,90
6		€ 680,00	€ 680,00	-€ 7.636,80	6		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 2.539,32
7		€ 680,00	€ 680,00	-€ 6.956,80	7		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 1.484,74
8		€ 680,00	€ 680,00	-€ 6.276,80	8		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 430,16
9		€ 680,00	€ 680,00	-€ 5.596,80	9		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 624,42
10		€ 680,00	€ 680,00	-€ 4.916,80	10		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 1.679,00
11		€ 680,00	€ 680,00	-€ 4.236,80	11		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 2.733,58
12		€ 680,00	€ 680,00	-€ 3.556,80	12		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 3.788,16
13		€ 680,00	€ 680,00	-€ 2.876,80	13		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 4.842,74
14		€ 680,00	€ 680,00	-€ 2.196,80	14		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 5.897,32
15		€ 680,00	€ 680,00	-€ 1.516,80	15		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 6.951,90
16		€ 680,00	€ 680,00	-€ 836,80	16		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 8.006,48
17		€ 680,00	€ 680,00	-€ 156,80	17		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 9.061,06
18		€ 680,00	€ 680,00	€ 523,20	18		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 10.115,64
19		€ 680,00	€ 680,00	€ 1.203,20	19		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 11.170,22
20		€ 680,00	€ 680,00	€ 1.883,20	20		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 12.224,80
		VAN	-€ 1.553,51				VAN	€ 6.543,38	
		TIR	1,46%				TIR	10%	
		PRP	18,23				PRP	9,41	

ANALISI FINANZIARIA + 15%					ANALISI ECONOMICA + 15%				
Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)	Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)
0	-€ 11.228,60	€ 0,00	-€ 11.228,60	-€ 11.228,60	0	-€ 11.228,60	€ 0,00	-€ 11.228,60	-€ 11.228,60
1		€ 680,00	€ 680,00	-€ 10.548,60	1		€ 3.904,58	€ 3.904,58	-€ 7.324,02
2		€ 680,00	€ 680,00	-€ 9.868,60	2		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 6.269,44
3		€ 680,00	€ 680,00	-€ 9.188,60	3		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 5.214,86
4		€ 680,00	€ 680,00	-€ 8.508,60	4		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 4.160,28
5		€ 680,00	€ 680,00	-€ 7.828,60	5		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 3.105,70
6		€ 680,00	€ 680,00	-€ 7.148,60	6		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 2.051,12
7		€ 680,00	€ 680,00	-€ 6.468,60	7		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 996,54
8		€ 680,00	€ 680,00	-€ 5.788,60	8		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 58,04
9		€ 680,00	€ 680,00	-€ 5.108,60	9		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 1.112,62
10		€ 680,00	€ 680,00	-€ 4.428,60	10		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 2.167,20
11		€ 680,00	€ 680,00	-€ 3.748,60	11		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 3.221,78
12		€ 680,00	€ 680,00	-€ 3.068,60	12		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 4.276,36
13		€ 680,00	€ 680,00	-€ 2.388,60	13		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 5.330,94
14		€ 680,00	€ 680,00	-€ 1.708,60	14		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 6.385,52
15		€ 680,00	€ 680,00	-€ 1.028,60	15		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 7.440,10
16		€ 680,00	€ 680,00	-€ 348,60	16		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 8.494,68
17		€ 680,00	€ 680,00	€ 331,40	17		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 9.549,26
18		€ 680,00	€ 680,00	€ 1.011,40	18		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 10.603,84
19		€ 680,00	€ 680,00	€ 1.691,40	19		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 11.658,42
20		€ 680,00	€ 680,00	€ 2.371,40	20		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 12.713,00
		VAN	-€ 1.079,53				VAN	€ 7.017,36	
		TIR	1,90%				TIR	11%	
		PBP	17,51				PBP	8,94	

ANALISI FINANZIARIA + 10%					ANALISI ECONOMICA + 10%				
Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)	Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)
0	-€ 10.740,40	€ 0,00	-€ 10.740,40	-€ 10.740,40	0	-€ 10.740,40	€ 0,00	-€ 10.740,40	-€ 10.740,40
1		€ 680,00	€ 680,00	-€ 10.060,40	1		€ 3.904,58	€ 3.904,58	-€ 6.835,82
2		€ 680,00	€ 680,00	-€ 9.380,40	2		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 5.781,24
3		€ 680,00	€ 680,00	-€ 8.700,40	3		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 4.726,66
4		€ 680,00	€ 680,00	-€ 8.020,40	4		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 3.672,08
5		€ 680,00	€ 680,00	-€ 7.340,40	5		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 2.617,50
6		€ 680,00	€ 680,00	-€ 6.660,40	6		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 1.562,92
7		€ 680,00	€ 680,00	-€ 5.980,40	7		€ 1.054,58	€ 1.054,58	-€ 508,34
8		€ 680,00	€ 680,00	-€ 5.300,40	8		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 546,24
9		€ 680,00	€ 680,00	-€ 4.620,40	9		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 1.600,82
10		€ 680,00	€ 680,00	-€ 3.940,40	10		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 2.655,40
11		€ 680,00	€ 680,00	-€ 3.260,40	11		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 3.709,98
12		€ 680,00	€ 680,00	-€ 2.580,40	12		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 4.764,56
13		€ 680,00	€ 680,00	-€ 1.900,40	13		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 5.819,14
14		€ 680,00	€ 680,00	-€ 1.220,40	14		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 6.873,72
15		€ 680,00	€ 680,00	-€ 540,40	15		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 7.928,30
16		€ 680,00	€ 680,00	€ 139,60	16		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 8.982,88
17		€ 680,00	€ 680,00	€ 819,60	17		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 10.037,46
18		€ 680,00	€ 680,00	€ 1.499,60	18		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 11.092,04
19		€ 680,00	€ 680,00	€ 2.179,60	19		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 12.146,62
20		€ 680,00	€ 680,00	€ 2.859,60	20		€ 1.054,58	€ 1.054,58	€ 13.201,20
		VAN	-€ 605,55				VAN	€ 7.491,34	
		TIR	2,36%				TIR	11%	
		PRP	16,79				PRP	8,48	

Tali variazioni hanno fatto registrare, rispetto all'analisi economica, le seguenti variazioni:

Variazione costi strategie sostenibili	-20%	-15%	-10%	Caso Base	10%	15%	20%
TIR (%)	19	17	16	13	11	11	10
VAN (€)	10.335,22	9.929,20	9.387,26	8.439,30	7.491,34	7.017,36	6.543,38
Payback (anni)	5,7	6,1	6,63	7,56	8,48	8,94	9,41

Tali variazioni hanno fatto registrare, rispetto all'analisi finanziaria, le seguenti variazioni:

Variazione costi strategie sostenibili	-20%	-15%	-10%	Caso Base	10%	15%	20%
TIR (%)	5,98	5,35	4,58	3,39	2,36	1,90	1,46
VAN (€)	2.238,33	1.832,321	1.290,37	342,41	-605,55	-1.079,53	-1.553,51
Payback (anni)	12,49	13,10	13,92	15,36	16,79	17,51	18,23

Variazione degli indici per il prezzo del gas

ANALISI FINANZIARIA - 20%					ANALISI ECONOMICA - 20%				
Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)	Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)
0	-€ 9.764,00	€ 0,00	-€ 9.764,00	-€ 9.764,00	0	-€ 9.764,00	€ 0,00	-€ 9.764,00	-€ 9.764,00
1	€ 544,00	€ 544,00	-€ 9.220,00	-€ 9.220,00	1	€ 3.278,50	€ 3.278,50	-€ 6.485,50	-€ 6.485,50
2	€ 544,00	€ 544,00	-€ 8.676,00	-€ 8.676,00	2	€ 902,58	€ 902,58	-€ 5.582,92	-€ 5.582,92
3	€ 544,00	€ 544,00	-€ 8.132,00	-€ 8.132,00	3	€ 902,58	€ 902,58	-€ 4.680,34	-€ 4.680,34
4	€ 544,00	€ 544,00	-€ 7.588,00	-€ 7.588,00	4	€ 902,58	€ 902,58	-€ 3.777,76	-€ 3.777,76
5	€ 544,00	€ 544,00	-€ 7.044,00	-€ 7.044,00	5	€ 902,58	€ 902,58	-€ 2.875,18	-€ 2.875,18
6	€ 544,00	€ 544,00	-€ 6.500,00	-€ 6.500,00	6	€ 902,58	€ 902,58	-€ 1.972,60	-€ 1.972,60
7	€ 544,00	€ 544,00	-€ 5.956,00	-€ 5.956,00	7	€ 902,58	€ 902,58	-€ 1.070,02	-€ 1.070,02
8	€ 544,00	€ 544,00	-€ 5.412,00	-€ 5.412,00	8	€ 902,58	€ 902,58	-€ 167,44	-€ 167,44
9	€ 544,00	€ 544,00	-€ 4.868,00	-€ 4.868,00	9	€ 902,58	€ 902,58	€ 735,14	€ 735,14
10	€ 544,00	€ 544,00	-€ 4.324,00	-€ 4.324,00	10	€ 902,58	€ 902,58	€ 1.637,72	€ 1.637,72
11	€ 544,00	€ 544,00	-€ 3.780,00	-€ 3.780,00	11	€ 902,58	€ 902,58	€ 2.540,30	€ 2.540,30
12	€ 544,00	€ 544,00	-€ 3.236,00	-€ 3.236,00	12	€ 902,58	€ 902,58	€ 3.442,88	€ 3.442,88
13	€ 544,00	€ 544,00	-€ 2.692,00	-€ 2.692,00	13	€ 902,58	€ 902,58	€ 4.345,46	€ 4.345,46
14	€ 544,00	€ 544,00	-€ 2.148,00	-€ 2.148,00	14	€ 902,58	€ 902,58	€ 5.248,04	€ 5.248,04
15	€ 544,00	€ 544,00	-€ 1.604,00	-€ 1.604,00	15	€ 902,58	€ 902,58	€ 6.150,62	€ 6.150,62
16	€ 544,00	€ 544,00	-€ 1.060,00	-€ 1.060,00	16	€ 902,58	€ 902,58	€ 7.053,20	€ 7.053,20
17	€ 544,00	€ 544,00	-€ 516,00	-€ 516,00	17	€ 902,58	€ 902,58	€ 7.955,78	€ 7.955,78
18	€ 544,00	€ 544,00	€ 28,00	€ 28,00	18	€ 902,58	€ 902,58	€ 8.858,36	€ 8.858,36
19	€ 544,00	€ 544,00	€ 572,00	€ 572,00	19	€ 902,58	€ 902,58	€ 9.760,94	€ 9.760,94
20	€ 544,00	€ 544,00	€ 1.116,00	€ 1.116,00	20	€ 902,58	€ 902,58	€ 10.663,52	€ 10.663,52
VAN		-€ 1.621,99			VAN		€ 5.796,92		
TIR		1,05%			TIR		10%		
PBP		18,95			PBP		9,19		

ANALISI FINANZIARIA -15%					ANALISI ECONOMICA -15%				
Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)	Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)
0	-€ 9.764,00	€ 0,00	-€ 9.764,00	-€ 9.764,00	0	-€ 9.764,00	€ 0,00	-€ 9.764,00	-€ 9.764,00
1		€ 578,00	€ 578,00	-€ 9.186,00	1		€ 3.785,58	€ 3.785,58	-€ 5.978,42
2		€ 578,00	€ 578,00	-€ 8.608,00	2		€ 935,58	€ 935,58	-€ 5.042,84
3		€ 578,00	€ 578,00	-€ 8.030,00	3		€ 935,58	€ 935,58	-€ 4.107,26
4		€ 578,00	€ 578,00	-€ 7.452,00	4		€ 935,58	€ 935,58	-€ 3.171,68
5		€ 578,00	€ 578,00	-€ 6.874,00	5		€ 935,58	€ 935,58	-€ 2.236,10
6		€ 578,00	€ 578,00	-€ 6.296,00	6		€ 935,58	€ 935,58	-€ 1.300,52
7		€ 578,00	€ 578,00	-€ 5.718,00	7		€ 935,58	€ 935,58	-€ 364,94
8		€ 578,00	€ 578,00	-€ 5.140,00	8		€ 935,58	€ 935,58	€ 570,64
9		€ 578,00	€ 578,00	-€ 4.562,00	9		€ 935,58	€ 935,58	€ 1.506,22
10		€ 578,00	€ 578,00	-€ 3.984,00	10		€ 935,58	€ 935,58	€ 2.441,80
11		€ 578,00	€ 578,00	-€ 3.406,00	11		€ 935,58	€ 935,58	€ 3.377,38
12		€ 578,00	€ 578,00	-€ 2.828,00	12		€ 935,58	€ 935,58	€ 4.312,96
13		€ 578,00	€ 578,00	-€ 2.250,00	13		€ 935,58	€ 935,58	€ 5.248,54
14		€ 578,00	€ 578,00	-€ 1.672,00	14		€ 935,58	€ 935,58	€ 6.184,12
15		€ 578,00	€ 578,00	-€ 1.094,00	15		€ 935,58	€ 935,58	€ 7.119,70
16		€ 578,00	€ 578,00	-€ 516,00	16		€ 935,58	€ 935,58	€ 8.055,28
17		€ 578,00	€ 578,00	€ 62,00	17		€ 935,58	€ 935,58	€ 8.990,86
18		€ 578,00	€ 578,00	€ 640,00	18		€ 935,58	€ 935,58	€ 9.926,44
19		€ 578,00	€ 578,00	€ 1.218,00	19		€ 935,58	€ 935,58	€ 10.862,02
20		€ 578,00	€ 578,00	€ 1.796,00	20		€ 935,58	€ 935,58	€ 11.797,60
		VAN	-€ 1.130,89				VAN	€ 6.720,44	
		TIR	1,66%				TIR	12%	
		PBP	17,89				PBP	8,39	

ANALISI FINANZIARIA -10%					ANALISI ECONOMICA -10%				
Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)	Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)
0	-€ 9.764,00	€ 0,00	-€ 9.764,00	-€ 9.764,00	0	-€ 9.764,00	€ 0,00	-€ 9.764,00	-€ 9.764,00
1		€ 612,00	€ 612,00	-€ 9.152,00	1		€ 3.818,58	€ 3.818,58	-€ 5.945,42
2		€ 612,00	€ 612,00	-€ 8.540,00	2		€ 968,58	€ 968,58	-€ 4.976,84
3		€ 612,00	€ 612,00	-€ 7.928,00	3		€ 968,58	€ 968,58	-€ 4.008,26
4		€ 612,00	€ 612,00	-€ 7.316,00	4		€ 968,58	€ 968,58	-€ 3.039,68
5		€ 612,00	€ 612,00	-€ 6.704,00	5		€ 968,58	€ 968,58	-€ 2.071,10
6		€ 612,00	€ 612,00	-€ 6.092,00	6		€ 968,58	€ 968,58	-€ 1.102,52
7		€ 612,00	€ 612,00	-€ 5.480,00	7		€ 968,58	€ 968,58	-€ 133,94
8		€ 612,00	€ 612,00	-€ 4.868,00	8		€ 968,58	€ 968,58	€ 834,64
9		€ 612,00	€ 612,00	-€ 4.256,00	9		€ 968,58	€ 968,58	€ 1.803,22
10		€ 612,00	€ 612,00	-€ 3.644,00	10		€ 968,58	€ 968,58	€ 2.771,80
11		€ 612,00	€ 612,00	-€ 3.032,00	11		€ 968,58	€ 968,58	€ 3.740,38
12		€ 612,00	€ 612,00	-€ 2.420,00	12		€ 968,58	€ 968,58	€ 4.708,96
13		€ 612,00	€ 612,00	-€ 1.808,00	13		€ 968,58	€ 968,58	€ 5.677,54
14		€ 612,00	€ 612,00	-€ 1.196,00	14		€ 968,58	€ 968,58	€ 6.646,12
15		€ 612,00	€ 612,00	-€ 584,00	15		€ 968,58	€ 968,58	€ 7.614,70
16		€ 612,00	€ 612,00	€ 28,00	16		€ 968,58	€ 968,58	€ 8.583,28
17		€ 612,00	€ 612,00	€ 640,00	17		€ 968,58	€ 968,58	€ 9.551,86
18		€ 612,00	€ 612,00	€ 1.252,00	18		€ 968,58	€ 968,58	€ 10.520,44
19		€ 612,00	€ 612,00	€ 1.864,00	19		€ 968,58	€ 968,58	€ 11.489,02
20		€ 612,00	€ 612,00	€ 2.476,00	20		€ 968,58	€ 968,58	€ 12.457,60
		VAN	-€ 639,79				VAN	€ 7.197,10	
		TIR	2,26%				TIR	12%	
		PBP	16,95				PBP	8,14	

ANALISI FINANZIARIA + 20%					ANALISI ECONOMICA + 20%				
Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)	Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)
0	-€ 9.764,00	€ 0,00	-€ 9.764,00	-€ 9.764,00	0	-€ 9.764,00	€ 0,00	-€ 9.764,00	-€ 9.764,00
1		€ 816,00	€ 816,00	-€ 8.948,00	1		€ 4.016,58	€ 4.016,58	-€ 5.747,42
2		€ 816,00	€ 816,00	-€ 8.132,00	2		€ 1.166,58	€ 1.166,58	-€ 4.580,84
3		€ 816,00	€ 816,00	-€ 7.316,00	3		€ 1.166,58	€ 1.166,58	-€ 3.414,26
4		€ 816,00	€ 816,00	-€ 6.500,00	4		€ 1.166,58	€ 1.166,58	-€ 2.247,68
5		€ 816,00	€ 816,00	-€ 5.684,00	5		€ 1.166,58	€ 1.166,58	-€ 1.081,10
6		€ 816,00	€ 816,00	-€ 4.868,00	6		€ 1.166,58	€ 1.166,58	€ 85,48
7		€ 816,00	€ 816,00	-€ 4.052,00	7		€ 1.166,58	€ 1.166,58	€ 1.252,06
8		€ 816,00	€ 816,00	-€ 3.236,00	8		€ 1.166,58	€ 1.166,58	€ 2.418,64
9		€ 816,00	€ 816,00	-€ 2.420,00	9		€ 1.166,58	€ 1.166,58	€ 3.585,22
10		€ 816,00	€ 816,00	-€ 1.604,00	10		€ 1.166,58	€ 1.166,58	€ 4.751,80
11		€ 816,00	€ 816,00	-€ 788,00	11		€ 1.166,58	€ 1.166,58	€ 5.918,38
12		€ 816,00	€ 816,00	€ 28,00	12		€ 1.166,58	€ 1.166,58	€ 7.084,96
13		€ 816,00	€ 816,00	€ 844,00	13		€ 1.166,58	€ 1.166,58	€ 8.251,54
14		€ 816,00	€ 816,00	€ 1.660,00	14		€ 1.166,58	€ 1.166,58	€ 9.418,12
15		€ 816,00	€ 816,00	€ 2.476,00	15		€ 1.166,58	€ 1.166,58	€ 10.584,70
16		€ 816,00	€ 816,00	€ 3.292,00	16		€ 1.166,58	€ 1.166,58	€ 11.751,28
17		€ 816,00	€ 816,00	€ 4.108,00	17		€ 1.166,58	€ 1.166,58	€ 12.917,86
18		€ 816,00	€ 816,00	€ 4.924,00	18		€ 1.166,58	€ 1.166,58	€ 14.084,44
19		€ 816,00	€ 816,00	€ 5.740,00	19		€ 1.166,58	€ 1.166,58	€ 15.251,02
20		€ 816,00	€ 816,00	€ 6.556,00	20		€ 1.166,58	€ 1.166,58	€ 16.417,60
VAN			€ 2.306,82		VAN			€ 10.057,04	
TIR			5,48%		TIR			15%	
PBP			12,97		PBP			6,93	

ANALISI FINANZIARIA + 15%					ANALISI ECONOMICA + 15%				
Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)	Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)
0	-€ 9.764,00	€ 0,00	-€ 9.764,00	-€ 9.764,00	0	-€ 9.764,00	€ 0,00	-€ 9.764,00	-€ 9.764,00
1		€ 782,00	€ 782,00	-€ 8.982,00	1		€ 3.983,58	€ 3.983,58	-€ 5.780,42
2		€ 782,00	€ 782,00	-€ 8.200,00	2		€ 1.133,58	€ 1.133,58	-€ 4.646,84
3		€ 782,00	€ 782,00	-€ 7.418,00	3		€ 1.133,58	€ 1.133,58	-€ 3.513,26
4		€ 782,00	€ 782,00	-€ 6.636,00	4		€ 1.133,58	€ 1.133,58	-€ 2.379,68
5		€ 782,00	€ 782,00	-€ 5.854,00	5		€ 1.133,58	€ 1.133,58	-€ 1.246,10
6		€ 782,00	€ 782,00	-€ 5.072,00	6		€ 1.133,58	€ 1.133,58	-€ 112,52
7		€ 782,00	€ 782,00	-€ 4.290,00	7		€ 1.133,58	€ 1.133,58	€ 1.021,06
8		€ 782,00	€ 782,00	-€ 3.508,00	8		€ 1.133,58	€ 1.133,58	€ 2.154,64
9		€ 782,00	€ 782,00	-€ 2.726,00	9		€ 1.133,58	€ 1.133,58	€ 3.288,22
10		€ 782,00	€ 782,00	-€ 1.944,00	10		€ 1.133,58	€ 1.133,58	€ 4.421,80
11		€ 782,00	€ 782,00	-€ 1.162,00	11		€ 1.133,58	€ 1.133,58	€ 5.555,38
12		€ 782,00	€ 782,00	-€ 380,00	12		€ 1.133,58	€ 1.133,58	€ 6.688,96
13		€ 782,00	€ 782,00	€ 402,00	13		€ 1.133,58	€ 1.133,58	€ 7.822,54
14		€ 782,00	€ 782,00	€ 1.184,00	14		€ 1.133,58	€ 1.133,58	€ 8.956,12
15		€ 782,00	€ 782,00	€ 1.966,00	15		€ 1.133,58	€ 1.133,58	€ 10.089,70
16		€ 782,00	€ 782,00	€ 2.748,00	16		€ 1.133,58	€ 1.133,58	€ 11.223,28
17		€ 782,00	€ 782,00	€ 3.530,00	17		€ 1.133,58	€ 1.133,58	€ 12.356,86
18		€ 782,00	€ 782,00	€ 4.312,00	18		€ 1.133,58	€ 1.133,58	€ 13.490,44
19		€ 782,00	€ 782,00	€ 5.094,00	19		€ 1.133,58	€ 1.133,58	€ 14.624,02
20		€ 782,00	€ 782,00	€ 5.876,00	20		€ 1.133,58	€ 1.133,58	€ 15.757,60
VAN			€ 1.815,71		VAN			€ 9.580,39	
TIR			4,98%		TIR			15%	
PBP			13,49		PBP			7,10	

ANALISI FINANZIARIA +10%					ANALISI ECONOMICA + 10%				
Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)	Tempo (anni)	Costi (Euro)	Benefici (Euro)	Benefici/Costi (Euro)	Flussi cassa (Euro)
0	-€ 9.764,00	€ 0,00	-€ 9.764,00	-€ 9.764,00	0	-€ 9.764,00	€ 0,00	-€ 9.764,00	-€ 9.764,00
1		€ 748,00	€ 748,00	-€ 9.016,00	1		€ 3.950,58	€ 3.950,58	-€ 5.813,42
2		€ 748,00	€ 748,00	-€ 8.268,00	2		€ 1.100,58	€ 1.100,58	-€ 4.712,84
3		€ 748,00	€ 748,00	-€ 7.520,00	3		€ 1.100,58	€ 1.100,58	-€ 3.612,26
4		€ 748,00	€ 748,00	-€ 6.772,00	4		€ 1.100,58	€ 1.100,58	-€ 2.511,68
5		€ 748,00	€ 748,00	-€ 6.024,00	5		€ 1.100,58	€ 1.100,58	-€ 1.411,10
6		€ 748,00	€ 748,00	-€ 5.276,00	6		€ 1.100,58	€ 1.100,58	-€ 310,52
7		€ 748,00	€ 748,00	-€ 4.528,00	7		€ 1.100,58	€ 1.100,58	€ 790,06
8		€ 748,00	€ 748,00	-€ 3.780,00	8		€ 1.100,58	€ 1.100,58	€ 1.890,64
9		€ 748,00	€ 748,00	-€ 3.032,00	9		€ 1.100,58	€ 1.100,58	€ 2.991,22
10		€ 748,00	€ 748,00	-€ 2.284,00	10		€ 1.100,58	€ 1.100,58	€ 4.091,80
11		€ 748,00	€ 748,00	-€ 1.536,00	11		€ 1.100,58	€ 1.100,58	€ 5.192,38
12		€ 748,00	€ 748,00	-€ 788,00	12		€ 1.100,58	€ 1.100,58	€ 6.292,96
13		€ 748,00	€ 748,00	-€ 40,00	13		€ 1.100,58	€ 1.100,58	€ 7.393,54
14		€ 748,00	€ 748,00	€ 708,00	14		€ 1.100,58	€ 1.100,58	€ 8.494,12
15		€ 748,00	€ 748,00	€ 1.456,00	15		€ 1.100,58	€ 1.100,58	€ 9.594,70
16		€ 748,00	€ 748,00	€ 2.204,00	16		€ 1.100,58	€ 1.100,58	€ 10.695,28
17		€ 748,00	€ 748,00	€ 2.952,00	17		€ 1.100,58	€ 1.100,58	€ 11.795,86
18		€ 748,00	€ 748,00	€ 3.700,00	18		€ 1.100,58	€ 1.100,58	€ 12.896,44
19		€ 748,00	€ 748,00	€ 4.448,00	19		€ 1.100,58	€ 1.100,58	€ 13.997,02
20		€ 748,00	€ 748,00	€ 5.196,00	20		€ 1.100,58	€ 1.100,58	€ 15.097,60
		VAN	€ 1.324,61				VAN	€ 9.103,73	
		TIR	4,46%				TIR	14%	
		PBP	14,05				PBP	7,28	

Per l'analisi economica

Variazione prezzo del gas	-20%	-15%	-10%	Caso Base	10%	15%	20%
TIR (%)	10	12	12	13	14	15	15
VAN (€)	5.796,92	6.720,44	7.197,10	8.439,30	9.103,73	9.580,39	10.057,04
Payback (anni)	9,19	8,39	8,14	7,56	7,28	7,10	6,93

Per l'analisi finanziaria

Variazione prezzo del gas	-20%	-15%	-10%	Caso Base	10%	15%	20%
TIR (%)	1,05	1,66	2,26	3,39	4,46	4,98	5,48
VAN (€)	-1.621,99	-1.130,89	-639,79	342,41	1.324,61	1.815,71	2.306,82
Payback (anni)	18,95	17,89	16,95	15,36	10,05	13,49	12,97

Più verosimilmente, i maggiori oneri non previsti, potranno portare variazioni nell'ordine del 10%, per cui di seguito si considerano gli effetti su VAN, TIR e PbP riferiti ad una variazione del 10%:

Variazione dell'incidenza degli elementi	Costo base	10%	-10%
Costo delle strategie	€ 9.764,00	€ 10.740,40	€ 8.787,60

Costo delle strategie 10%			Variazione indici			
	Finanziaria	Economica	Finanziaria		Economica	
TIR	2,36%	11%	TIR di 3,39% = 100	69,61	84,61	TIR di 13% = 100
VAN	-605,55	7.491,34	VAN di € 342,41 = 100	-176,75	88,76	VAN di € 8.439,30 = 100
PbP	16,79	8,48	In anni	1,43	0,92	In anni

Costo delle strategie -10%			Variazione indici			
	Finanziaria	Economica	Finanziaria		Economica	
TIR	4,58%	16%	TIR di 3,39% = 100	135,10	123,07	TIR di 13% = 100
VAN	1.290,37	9.387,26	VAN di € 342,41 = 100	376,84	111,23	VAN di € 8.439,30 = 100
PbP	13,92	6,63	In anni	-1,44	-0,93	In anni

Per variazioni del 10% dei costi per l'adozione di strategie sostenibili, si registrano:

- per il TIR, nel caso dell'analisi finanziaria, con l'aumentare dei costi delle strategie, esso risulta inferiore al tasso di sconto utilizzato, quindi non si troverà conveniente investire in queste soluzioni progettuali; per quanto riguarda l'analisi

economica invece, si ha un TIR abbastanza positivo, sia nel caso di un incremento, sia in quello di un decremento dei costi delle strategie.

- per il VAN, forti variazioni sia in positivo sia in negativo nel caso dell'analisi finanziaria (nel caso di un aumento del costo delle strategie si ha un valore negativo), mentre l'analisi economica non risulta particolarmente sensibile a tale parametro;
- per il tempo di ritorno dell'investimento si ha una variazione, sia per quanto riguarda l'analisi finanziaria sia quella economica, compresa tra 1 e 2 anni.

Variazione dell'incidenza degli elementi	Costo base	10%	-10%
Costo del gas all'anno	€ 1.100,00	€ 1.210,00	€ 990,00

Costo delle strategie 10%			Variazione indici			
	Finanziaria	Economica	Finanziaria		Economica	
TIR	4,46%	14%	TIR di 3,39% = 100	131,56	107,69	TIR di 13% = 100
VAN	1.324,61	9.103,73	VAN di € 342,41 = 100	386,85	107,87	VAN di € 8.439,30 = 100
PbP	14,05	7,28	In anni	-1,31	-0,28	In anni

Costo delle strategie -10%			Variazione indici			
	Finanziaria	Economica	Finanziaria		Economica	
TIR	2,26%	12%	TIR di 3,39% = 100	66,6	92,30	TIR di 13% = 100
VAN	-639,79	7.197,10	VAN di € 342,41 = 100	-186,85	85,28	VAN di € 8.439,30 = 100
PbP	16,95	8,14	In anni	1,59	0,58	In anni

Per variazioni del 10% del prezzo del gas, si registrano:

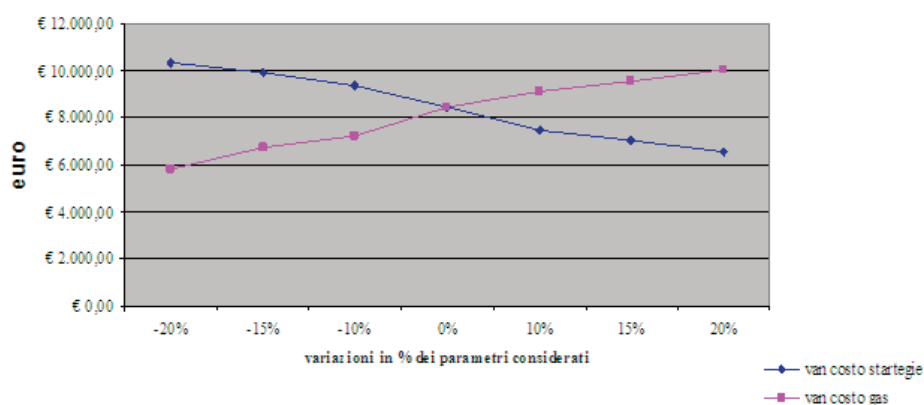
- per il TIR, nel caso dell'analisi finanziaria, con la diminuzione del prezzo del gas, esso risulta inferiore al tasso di sconto utilizzato; per quanto riguarda l'analisi economica invece, si ha un TIR abbastanza positivo, sia nel caso di un incremento, sia in quello di un decremento del prezzo del gas.
- per il VAN, al diminuire del prezzo, notevoli variazioni sia nell'analisi finanziaria che economica mentre, all'aumentare del prezzo, si nota una forte sensibilità da parte dell'analisi finanziaria (+242%); variazioni sia in positivo sia in negativo nel caso dell'analisi finanziaria (nel caso di una diminuzione del prezzo

del gas si ha un valore negativo), mentre l'analisi economica risulta fortemente positiva in entrambi i casi;

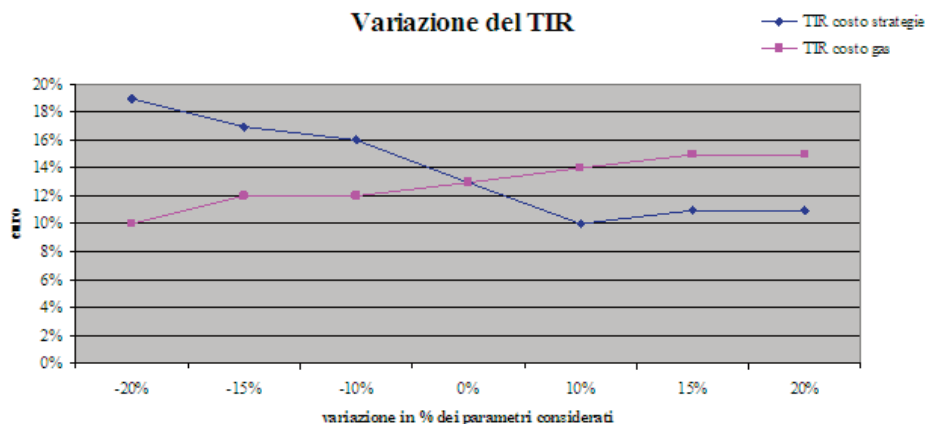
- per il tempo di ritorno dell'investimento, variazioni tra 1 e 2 anni, e le variazioni maggiori si hanno nel caso dell'analisi finanziaria.

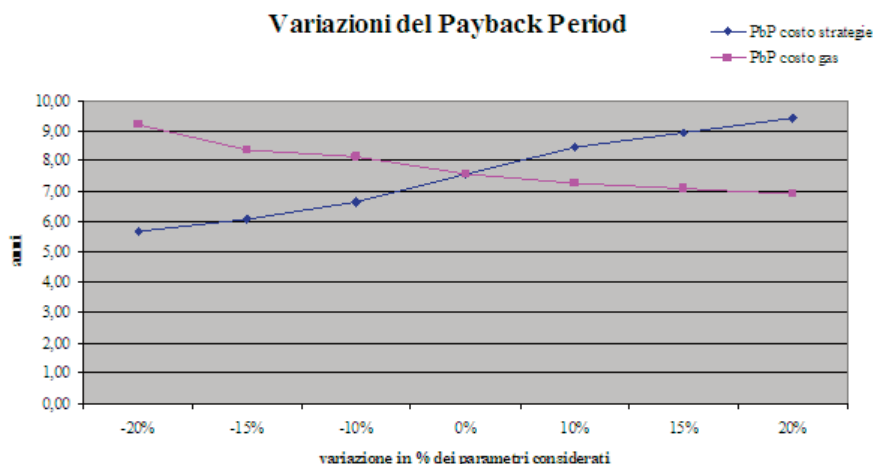
Al fine di rendere più leggibile le variazioni degli indicatori di redditività e del PbP al variare dei due parametri considerati, si riportano di seguito i seguenti grafici (le variazioni riportate si riferiscono solo all'analisi economica):

Variazione del VAN



Variazione del TIR





La pendenza delle curve riporta visivamente la dipendenza dell'indice dalle variazioni parametriche considerate, infatti maggiore sarà la pendenza delle rette e maggiore sarà la sensibilità a quello specifico elemento.

8. 7. Conclusioni

La realizzazione di una abitazione unifamiliare a Santa Flavia con l'utilizzo di strategie bioclimatiche, ci ha permesso di valutare i costi e i benefici di un tale tipo di intervento. L'adozione di strategie sostenibili, hanno un costo di realizzazione maggiore che incidono circa il 7,6% sul costo totale dell'intervento. Il costo totale di realizzazione ammonta a circa € 128.743 mentre il costo di attuazione delle strategie sostenibile è di circa € 9.764,00.

L'analisi condotta è stata sia finanziaria, sia economica, e ha portato ai seguenti risultati:

- dal punto di vista dell'analisi finanziaria, quindi considerando soltanto il risparmio dovuto ad un minore fabbisogno energetico, il rientro dell'investimento avverrà in un arco temporale di circa 15 anni; al termine del periodo considerato per la nostra analisi, cioè 20 anni, il VAN è appena positivo, con un valore pari a € 342,41 e il TIR è del 3,39%, praticamente uguale al tasso utilizzato per attualizzare i flussi dei costi e dei benefici, cioè il 3%. Con un TIR uguale al tasso utilizzato per l'attualizzazione dei flussi risulta indifferente realizzare o no l'investimento. Quindi, dovendo fare una valutazione sulla base della sola analisi

finanziaria si potrebbe affermare che, a causa di un VAN appena positivo e di un TIR pari al tasso utilizzato, sia indifferente l'adozione di strategie sostenibili per la realizzazione di un edificio.

- dal punto di vista dell'analisi economica, invece, quindi considerando gli effetti esterni non registrati dal mercato, come il costo di abbattimento delle emissioni in atmosfera di anidride carbonica, il maggior confort interno con il conseguente risparmio per l'installazione e la gestione dell'impianto di condizionamento, si hanno dei risultati migliori. Infatti il TIR passa dal 3,39% al 13%, risultando superiore al tasso utilizzato del 3%, il VAN è abbastanza positivo, pari a € 8.439,30, e il tempo di rientro dell'investimento passa da 15 a 7,5 anni.

Quindi, mentre per l'analisi finanziaria era indifferente l'utilizzo di strategie sostenibili per la realizzazione dell'edificio, per l'analisi economica abbiamo invece un vantaggio nell'applicare tali strategie

Tale differenza sta appunto nella mancata monetizzazione da parte del mercato dei benefici prodotti da un miglior comfort e anche da una salvaguardia dell'ambiente che ci circonda. A ciò si aggiunge una normativa che prescrive dei requisiti minimi, sicuramente non troppo attenti al risparmio energetico.

Alla luce di tali risultati, pur trattandosi di un intervento privato, la Pubblica Amministrazione potrà trarne degli utili spunti, in quanto:

- l'intervento, da punto di vista strettamente finanziario non risulta negativo
- l'intervento dal punto di vista economico risulta abbastanza positivo.

Dato che la Pubblica Amministrazione deve sostanzialmente riferirsi ad una analisi di tipo economico, in cui vengono sottolineati soprattutto gli aspetti legati al benessere delle persone e a quello dell'ambiente, fermo restando che comunque vi è un risparmio sui consumi energetici e quindi una bolletta più leggera, può ritenere l'intervento assolutamente positivo per l'apporto che dà al benessere della collettività. Esempi di questo tipo possono far comprendere come il rispetto dell'ambiente e il risparmio energetico, sulla cui necessità ormai sono votate le politiche mondiali, possono essere raggiunti con interventi possibili e con costi accettabili. La Pubblica Amministrazione può incentivare questo percorso da parte dei cittadini, incentivandoli con contributi che possono essere così quantificati:

- riduzione dell'ICI per percentuali che variano dal 15% al 30%
- riduzioni degli oneri di urbanizzazione dal 15% al 30%.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., *Costruire sostenibile*, Alinea – Bologna Fiere, Bologna 2000.
- ALAGNA A., *Tecnologie per forme dell'architettura contemporanea. Sistemi di chiusura: qualità ed efficienza energetica*, Alinea, Firenze 2007.
- ALLEN G., MORO M., BURRO L., *Repertorio dei materiali per la bioedilizia*, Maggioli, Rimini 2001.
- AGHEMO C., AZZOLINO, C., *Il progetto dell'elemento di involucro opaco*, CELID, Torino 1996.
- ALTOMONTE S., *L'involucro architettonico come interfaccia dinamica. Strumenti e criteri per un'architettura sostenibile*, Alinea, Firenze, 2004.
- AYGUN M., *Environmental life cycle assessment of building and their elements*, in *Sustainable Building 2000 Maastricht – Proceedings*, Æneas Technical Publishers, Aj best 2000.
- BANHAM R., *Ambiente e tecnica nell'architettura moderna*, Laterza, Bari 1993.
- BARUTTI F., *La certificazione energetica dell'involucro edilizio – Normativa e materiali per il risparmio energetico*, Sistemi Editoriali, Napoli 2010.
- BUTERA F. M., *Architettura e ambiente*, ETASLIBRI, Milano 1995.
- CASTELLI L., *Architettura sostenibile*, Utet Torino, 2002.
- CECCHERINI NELLI L., cur., *Economia della sostenibilità*, Alinea, Firenze 2004.
- COLOMBO G., COLOMBO F., *Lo stato dell'arte nella progettazione degli edifici passivi*, Alinea, Firenze 2006.
- DEL CORNO B., MOTTURA G., *L'integrazione architettonica dei pannelli solari e fotovoltaici*, Maggioli, Rimini 2008.
- FARAGÒ F., *Manuale pratico di edilizia sostenibile*, Sistemi Editoriali, Napoli 2008.
- FRANCESE D., *Architettura bioclimatica: risparmio energetico e qualità della vita nelle costruzioni*, UTET, Torino 1996.
- GALLO C., *Verso un libro verde per l'edilizia sostenibile - La qualità energetica e ambientale dell'edificio*, ENEA, ROMA 2000.
- GAUZIN-MÜLLER D., *L'architecture écologique*, Éditions du Moniteur, Parigi 2001.
- HEGGER M., FUCHS M., STARK T., ZEUMER M., *Atlante della Sostenibilità*, Utet, Torino 2008.
- LAVERMICOCCA D., *Il rendimento energetico degli edifici*, IPSOA 2008.
- LUPICA SPAGNOLO S., *Guida alla certificazione energetica*, Maggioli, Rimini 2009.
- MANZINI E., VEZZOLI C., *Lo sviluppo dei prodotti sostenibili: i requisiti ambientali dei prodotti industriali*, Maggioli Editore, Rimini 1998.
- MASERA G., *Residenze e risparmio energetico. Tecnologie applicative e linee*

guida progettuali per la costruzione di abitazioni sostenibili, Il Sole 24 ore, Milano 2004.

MINGUZZI G., *Architettura sostenibile: processo costruttivo e criteri biocompatibili*, Skira, Milano 2006.

MONTI C., *Costruire sostenibile*, Alinea, Firenze 2000.

PERRICCIOLI M., cur., *L'officina del pensiero tecnologico*, Alinea, Firenze 2010.

PALLADINO P., *Manuale di illuminazione*, Tecniche Nuove, 2005.

SALA M., cur., *Tecnologie Bioclimatiche in Europa*, Alinea, Firenze 1994.

SALA M., cur., *Schermature solari*, Alinea, Firenze 2000.

SALA M., cur., *Recupero edilizio e bioclimatica. Strumenti, tecniche e casi studio*, Sistemi Editoriali, Napoli 2001.

SCHITTICH C., *Architettura Solare: Strategie, Visioni, Concetti*, Birkhauser, Basilea 2005.

SCUDO G., PIARDI S., *Edilizia sostenibile 44 progetti dimostrativi*, Sistemi Editoriali, Napoli 2002.

SINOPOLI N., TATANO V., cur., *Sulle tracce dell'innovazione tra tecniche e architettura*, Franco Angeli, Milano 2002.

SLESSOR C., *Sustainable Architecture and High Technology*, Thames and Hudson, Londra 1997.

TUCCI F., *Involucro Ben Temperato*, Alinea, Firenze 2006.

WIENKE U., *Manuale di bioedilizia*, DEI, Roma 2002.

WIGGINTON M., HARRIS J., *Intelligent Skins*, Architectural Press, Oxford 2002.

**Finito di stampare
nel mese di Gennaio 2011
a cura della Offset Studio
Palermo**

L'obiettivo di questo volume è la definizione di strategie progettuali e tecnologiche per il risparmio energetico degli edifici. A seguito di un'ampia fase esplorativa sulle questioni energetiche e tecnologiche, ci si è voluti soffermare su alcune strategie per il risparmio energetico, supportate da esempi progettuali e simulazioni energetiche effettuate con software adeguati. La trattazione prende avvio dall'analisi della situazione ambientale, per poi considerare il rapporto tra sostenibilità ed edilizia e delineare le principali strategie per il risparmio energetico degli edifici: l'isolamento termico dell'involucro edilizio; la verifica del comportamento termico di alcuni ambienti nella zona climatica di Roma con il software ECOTECT; il progetto di un impianto fotovoltaico integrato in un edificio industriale a Palermo; l'integrazione di un impianto di pannelli solari in un edificio del centro storico di Palermo; la progettazione di un impianto radiante a pavimento effettuato con il programma HT200 della ditta Eurotherm; il progetto di illuminazione naturale e artificiale in un ufficio a Basilea; infine, l'analisi costi-benefici di un edificio che adotta strategie per il risparmio energetico.

Alberto Maria Lucchesi Palli (Palermo, 1971) architetto, Dottore di Ricerca in Recupero e Fruizione dei Contesti Antichi presso l'Università di Palermo, specializzato in Recupero dell'Architettura Storica e in Architettura Bioecologica e Innovazione Tecnologica per l'Ambiente presso l'Università di Firenze, nel 2007 è stato Assegnista di Ricerca sul tema *Patologie e degradi dei siti archeologici sensibili ai materiali nanostrutturati - Fenomeni di degrado a carico dei materiali lapidei naturali (rocce)*. Già Docente del Modulo Elementi dell'Architettura e Gestione e Tutela dei Contesti Antichi presso la Facoltà di Architettura di Palermo - sede di Agrigento, svolge da anni attività di ricerca sul tema delle innovazioni tecnologiche applicate ai beni Culturali e agli edifici di nuova costruzione, nonché sul rapporto tra tecnologia dell'architettura e risparmio energetico degli edifici. Dal 2009 è vincitore dell'Assegno di Ricerca sul tema *Indagini non distruttive e caratterizzazione dei materiali per l'architettura*, presso il Dipartimento di Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali dell'ENEA.

Francesca Scalisi (Palermo, 1973) architetto, Dottore di Ricerca in Recupero e Fruizione dei Contesti Antichi, specializzata in Architettura Bioecologica e Innovazione Tecnologica per l'Ambiente presso l'Università degli Studi di Firenze, è titolare di Assegno di Ricerca sul tema *Sperimentazione dei materiali nanostrutturati nei siti archeologici di Agrigento, di Morgantina e nella Villa Romana del Casale*, presso il Dipartimento di Progetto e Costruzione Edilizia dell'Università degli Studi di Palermo. Già Docente del Modulo di Progettazione dei sistemi costruttivi presso la Facoltà di Architettura di Palermo e del Modulo Gli elementi e i materiali dell'architettura presso la Facoltà di Architettura di Palermo - sede di Agrigento, svolge da anni attività di ricerca sul tema delle nanotecnologie applicate ai Beni Culturali e agli edifici di nuova costruzione, dell'architettura bioclimatica e del rapporto tra nanotecnologie e risparmio energetico degli edifici.

€ 25,00

ISBN 978-88-89683-38-5