



**SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"**

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO

**Tesi di Laurea in
Gestione delle Risorse Energetiche**

**Interventi di razionalizzazione energetica nel settore terziario:
Il caso studio del Palazzo della Regione Campania**

Relatore:
Prof. Francesco Calise

Candidato:
Francesco Tranchini
Matr: M67000336

ANNO ACCADEMICO 2017-2018

SOMMARIO

- Inquadramento normativo sul risparmio energetico negli edifici
- Presentazione caso studio
- Utilizzo del Termus BIM
- Analisi scenari di progetto proposti
- Risultati

INQUADRAMENTO GENERALE SULLA NORMATIVA SUL RISPARMIO ENERGETICO NEGLI EDIFICI

La *direttiva Clima-Energia 2030* prevede:

- Riduzione del 40% delle emissioni di CO_2
- Utilizzo di fonti rinnovabili del 27%
- Efficientamento energetico degli impianti del 20%

DIRETTIVE 2010/31/CE-EPDB RECAST

- Introduce il concetto di *edifici a quasi zero energia (EQZE)*, che si ottiene con impianti ad alta efficienza come:

Fonti rinnovabili

Pompe di calore

Teleriscaldamento

Cogenerazione

- Ogni Stato membro deve fissare i requisiti minimi di prestazione e istituire sistemi di certificazione (APE)

D.LGS 28/2011

- Dal 1/01/17 istituisce che:
 - 50% del fabbisogno di ACS coperto da rinnovabile
 - Potenza elettrica di picco di impianti alimentati da rinnovabili per edifici con superfici maggiori di 1000 m^2 pari a $P = S/K$ con $K=50$
- Prevede l'utilizzo integrato dei pannelli in copertura
- Introduce la rinnovabilità della pompa di calore attraverso un fattore di prestazione stagionale (SPF) se risulta

$$SPF_{min} > \frac{1,15}{\eta}$$

DM 26/06/2015 NUOVI DECRETI ATTUATIVI

- Viene introdotto il concetto di *Edificio di Riferimento*
- I nuovi parametri da verificare sono H'_T e $A_{sol,est}/A_{sup,utile}$ e Y_{IE}
- Devono essere verificati contemporaneamente tutti gli indici di prestazione energetica:

$$EP_{H,nd} < EP_{H,nd,limite}$$

$$EP_{C,nd} < EP_{C,nd,limite}$$

$$EP_{gl,tot} < EP_{gl,tot,limite}$$

$$\eta_H > \eta_{H,limite}$$

$$\eta_C > \eta_{C,limite}$$

$$\eta_W > \eta_{W,limite}$$

- Viene definita una nuova scala di classe energetica in funzione del $EP_{gl,nr}$ dell'edificio di riferimento

FINALITA' DEL LAVORO DI TESI

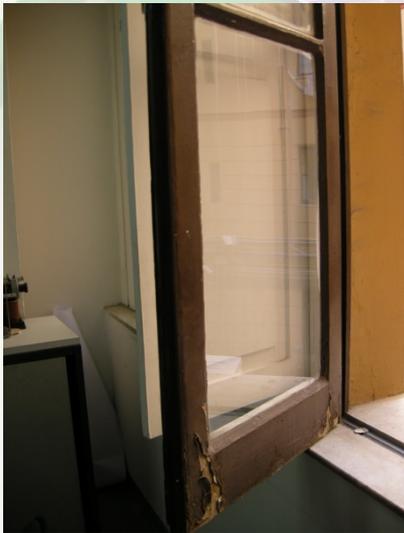
- Efficienzamento energetico dell'edificio della Giunta Regionale Campania
- Valutazione delle prestazioni energetiche dell'edificio utilizzando il Termus BIM
- Confrontare lo Stato di Fatto con gli scenari di Progetto proposti

CASO STUDIO: IL PALAZZO DELLE GIUNTA REGIONALE CAMPANIA

- Edificio a blocco a forma pseudo-trapezoidale, sito in Via Santa Lucia
- Edificio di classe E.2 con destinazione d'uso uffici
- Superficie in pianta di circa 3320 m^2
- Composto da 6 piani fuori terra di altezza pari a 32 m
- Rapporto di forma S/V pari a 0,29



COMPONENTI DELL'INVOLUCRO



- Muratura in tufo di spessore variabile tra 40 e 110cm
- Due tipologie di solai
 - Vecchio: composto da base di tavellone e CLS alleggerito
 - Nuovo: strato latero-cementizio
- Componenti finestrate composte da infissi in legno e vetro singolo

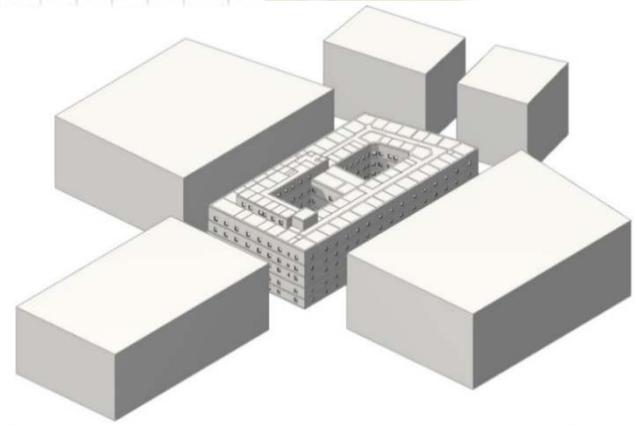
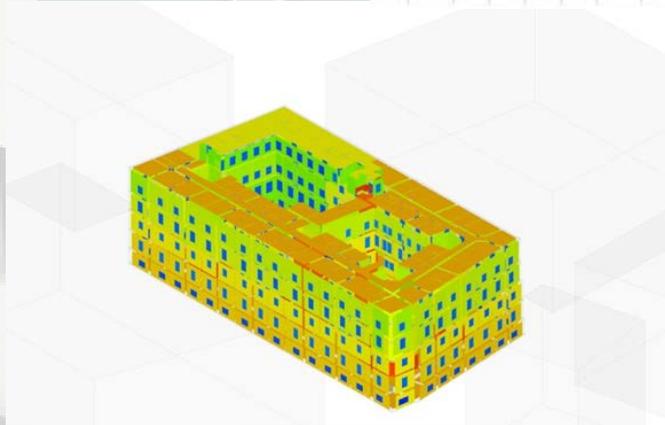
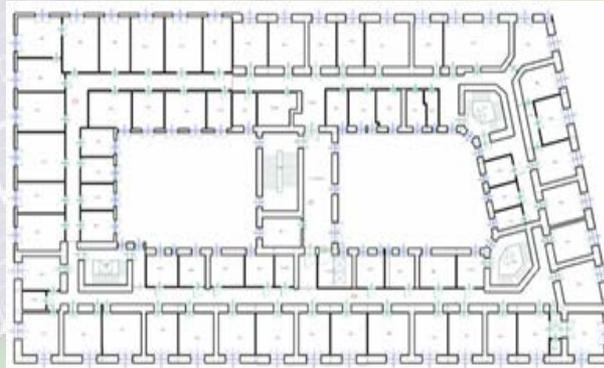
COMPONENTI IMPIANTISTICHE



- 2 caldaie a metano di potenza rispettive 764 e 637 kW
- Impianto di riscaldamento centralizzato con distribuzione orizzontale di piano
- Impianto di ACS alimentato dalle caldaie
- Impianto di climatizzazione estiva composto da monosplit ad espansione diretta di potenza 3,5 kW

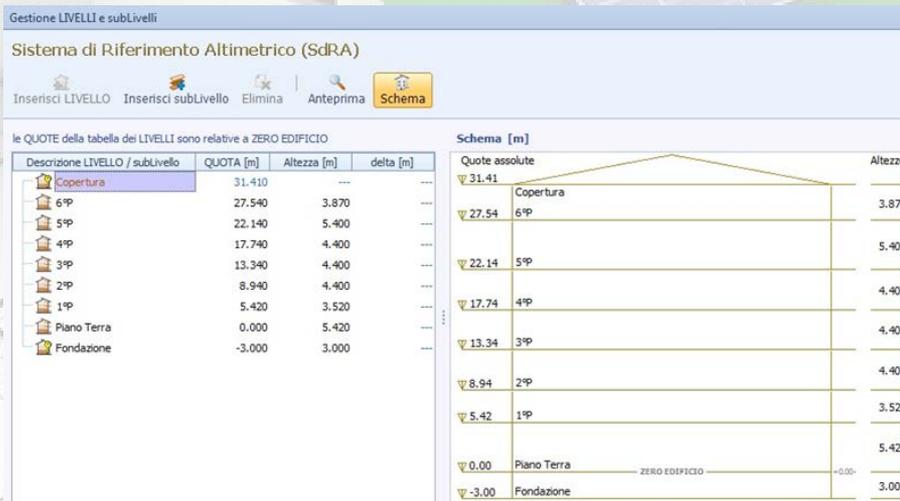
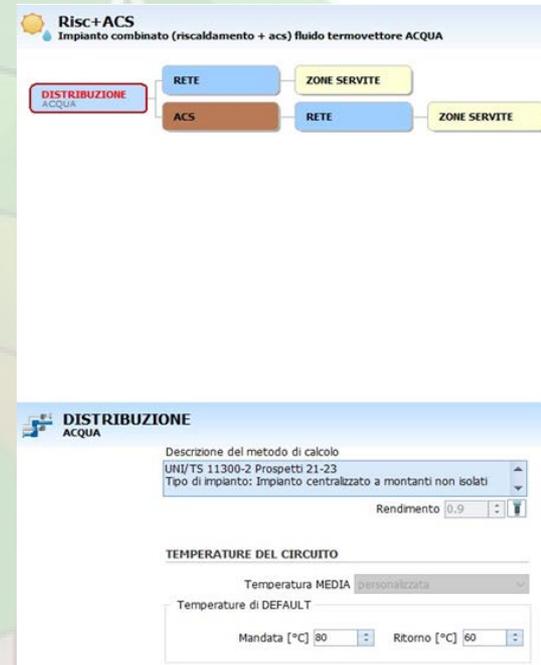
TERMUS BIM

- Software certificato dal CTI alle norme UNI TS 11300 ed esegue le verifiche secondo il decreto sui requisiti minimi
- Gli oggetti di disegno contengono anche informazioni tecniche e non solo geometriche
- Restituisce elaborati quali
 - Relazione tecnica
 - APE
 - Schede tecniche



UTILIZZO DEL TERMUS BIM PER LO STATO DI FATTO

1. Inserire tutti i dati generali dell'edificio
2. Definire le varie strutture che compongono l'edificio attraverso l'utilizzo di una libreria oggetti
3. Definire le zone termiche e i relativi servizi associati



4. Impostare la centrale termica e gli impianti di climatizzazione invernale ed estiva
5. Impostare il sistema di distribuzione
6. Definire le zone termiche servite dagli impianti

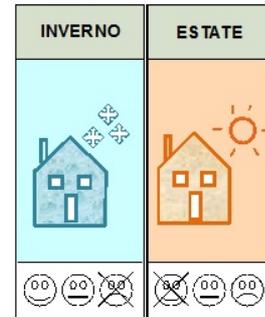
RISULTATI STATO DI FATTO

- Il calcolo è eseguito per i piani dal 1° al 6°
- L'area netta di calcolo è pari a circa 10320 m²
- I risultati di calcolo sono i seguenti:

E _{Ph}	160,7
E _{Pc}	280,2
E _{Pw}	4
E _{Pi}	14,5
E _{Pgl,nr}	402,1
E _{Pgl,tot}	459,4
E _{Ph,nd}	80,3
E _{Pc,nd}	24,8
η_H	0,5
η_C	0,076
η_W	0,496
Y _{ie}	0,09
H't	1,67

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

Prestazione energetica del fabbricato



Prestazione energetica globale



Riferimenti
Gli immobili simili avrebbero in media la seguente classificazione:

Se nuovi:

A1 (80,73)

Se esistenti:

SERVIZI ENERGETICI PRESENTI

- | | | |
|--|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/>  Climatizzazione invernale | <input type="checkbox"/>  Ventilazione meccanica | <input checked="" type="checkbox"/>  Illuminazione |
| <input checked="" type="checkbox"/>  Climatizzazione estiva | <input checked="" type="checkbox"/>  Prod. acqua calda sanitaria | <input type="checkbox"/>  Trasporto di persone o cose |

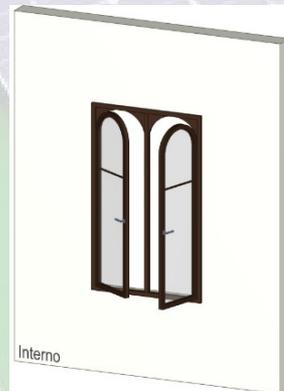
STATI DI PROGETTO

Gli scenari proposti di cui si effettueranno le valutazioni sono:

1. Sostituzione degli infissi
2. Utilizzo di un isolamento interno
3. Sostituzione impianto di climatizzazione
4. Installazione impianto solare termico
5. Installazione impianto fotovoltaico

STATI DI PROGETTO: SOSTITUZIONE DEGLI INFISSI

- Per questo scenario si sono ipotizzati tre diversi casi studio:
 1. Infissi in metallo a taglio termico con vetri doppi e Argon
 2. Infissi in pvc a 3 camere con vetri doppi e Argon
 3. Infissi in pvc a 5 camere con vetri doppi e Krypton
- Per tutti i casi è stato considerato l'utilizzo di veneziane bianche interne come schermatura

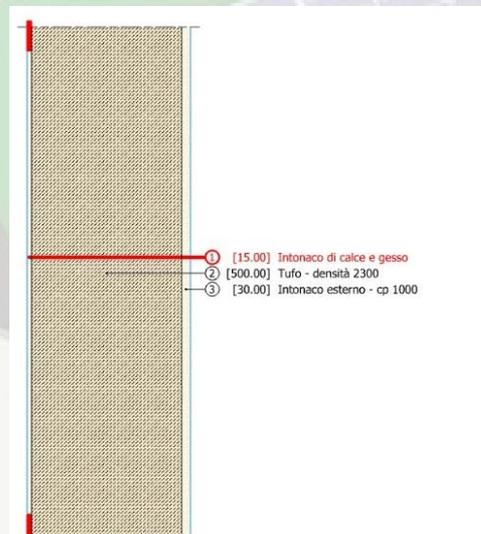


- I risultati dal punto di vista energetico ed economico sono:

	I_0 [euro]	ΔC [euro]	ΔE_h [%]	ΔE_c [%]	SPB[anni]	U_f [W/m ² K]	U_g [W/m ² K]
Scenario 1	419376	15677	9,1	23,4	26,8	2,2	1,5
Scenario 2	376951	16925	8,6	33,5	22,3	2	1,4
Scenario 3	633663	18938	10,5	31,6	33,5	1,2	1,1

STATI DI PROGETTO: ISOLAMENTO INTERNO

- Per questo scenario si è ipotizzato di effettuare un intervento d'isolamento utilizzando tre diversi materiali:
 1. Polistirene espanso sinterizzato mv.15 (0,041 W/mK)
 2. Polistirene espanso sinterizzato mv.30 (0,036 W/mK)
 3. Poliuretano mv.42 (0,023 W/mK)

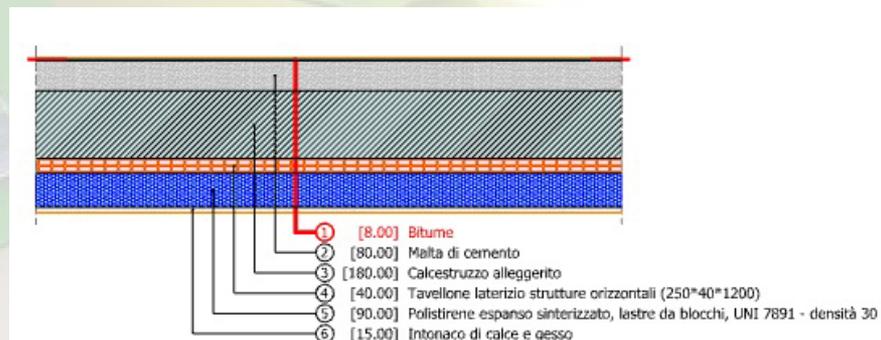
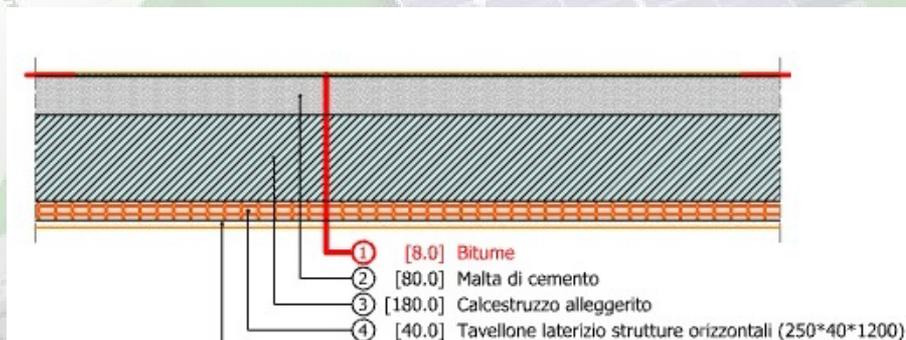


- I risultati di calcolo energetici ed economici sono:

	I_0 [euro]	ΔC [euro]	ΔE_h [%]	ΔE_c [%]	SPB[anni]
Scenario 1	545422	44689	39,84	-22,4	12,2
Scenario 2	605541	44466	39,66	-22,3	13,6
Scenario 3	898897	44949	40,12	-22,8	20

STATI DI PROGETTO: ISOLAMENTO INTERNO SOLO COPERTURA

- Per questo scenario si è ipotizzato di effettuare un intervento d'isolamento della sola copertura utilizzando tre diversi materiali:
 1. Polistirene espanso sinterizzato mv.15 (0,041 W/mK)
 2. Polistirene espanso sinterizzato mv.30 (0,036 W/mK)
 3. Poliuretano mv.42 (0,023 W/mK)



- I risultati di calcolo energetici ed economici sono:

	I_0 [euro]	ΔC [euro]	ΔE_h [%]	ΔE_c [%]	SPB[anni]
Scenario 1	96943	8779	7,3	-0,9	11
Scenario 2	119432	8777	7,3	-0,7	13,6
Scenario 3	156820	8635	7,2	-0,9	18,2

STATI DI PROGETTO: SOSTITUZIONE IMPIANTISTICA

- Per questo scenario si è ipotizzato l'utilizzo di impianti con prestazioni più elevate, ovvero:
 1. Impianto VRV aria-aria
 2. Impianto VRV condensato ad acqua
- Per entrambi si è ipotizzato che coprissero l'intero fabbisogno invernale ed estivo
- Per il dimensionamento degli impianti, sono stati determinati i carichi invernali ed estivi:

	Carichi[kW]	
	Invernale	Estivo
1°P	86	165
2°P	80	211
3°P	80	209
4°P	90	223
5°P	136	275
6°P	27	42

- Il prezzo finale è stato composto partendo dai prezzi di listino dei vari componenti per poi aggiungerci:
 - 15% di manodopera e 3% di trasporto formando il CTC
 - 15% delle spese generali(SG), 3% per la sicurezza(K) e 10 % utile d'impresa(U)
- Il totale sarà dato dalla somma di CTC+SG+K+U

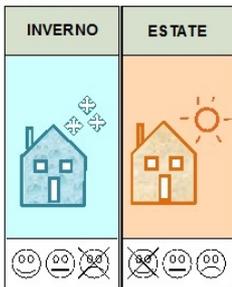
STATI DI PROGETTO: SOSTITUZIONE IMPIANTISTICA

I risultati dei due scenari impiantistici sono:

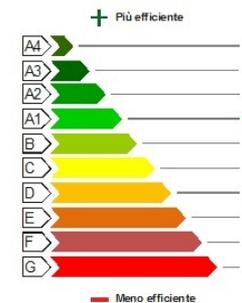
	I_0 [euro]	ΔC [euro]	ΔE_h [%]	ΔE_c [%]	SPB[anni]
VRV aria-aria	1056453	43930	32	24,2	24
VRV condensato ad acqua	1043665	54773	38,7	38,5	19

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

Prestazione energetica del fabbricato



Prestazione energetica globale



Riferimenti
Gli immobili simili
avrebbero in
media la
seguente
classificazione:
Se nuovi:
A1 (74.23)

Se esistenti:

SERVIZI ENERGETICI PRESENTI

- | | | |
|---|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione invernale | <input type="checkbox"/> Ventilazione meccanica | <input checked="" type="checkbox"/> Illuminazione |
| <input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione estiva | <input checked="" type="checkbox"/> Prod. acqua calda sanitaria | <input type="checkbox"/> Trasporto di persone o cose |

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

Prestazione energetica del fabbricato



Prestazione energetica globale



Riferimenti
Gli immobili simili
avrebbero in
media la
seguente
classificazione:
Se nuovi:
A1 (74.23)

Se esistenti:

SERVIZI ENERGETICI PRESENTI

- | | | |
|---|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione invernale | <input type="checkbox"/> Ventilazione meccanica | <input checked="" type="checkbox"/> Illuminazione |
| <input checked="" type="checkbox"/> Climatizzazione estiva | <input checked="" type="checkbox"/> Prod. acqua calda sanitaria | <input type="checkbox"/> Trasporto di persone o cose |

STATI DI PROGETTO: UTILIZZO DI FONTI RINNOVABILI

- Per questo scenario si sono ipotizzati 2 casi:
 1. Impianto solare termico tale da soddisfare il 50% del fabbisogno di ACS
 2. Impianto fotovoltaico tale che S_{pianta}/P_{picco} sia pari a 50
- Per entrambi i casi si è scelto di posizionare i pannelli con la stessa inclinazione della copertura, ovvero orizzontali
- Il dato di partenza per entrambi gli scenari è la radiazione incidente media per ogni mese

Mese	$H(0^\circ)[\text{Wh}/\text{m}^2/\text{g}]$	$N_h[\text{h}/\text{g}]$	$G_{med}[\text{W}/\text{m}^2]$
Gennaio	1860	9	206,7
Febbraio	2800	10	280
Marzo	4230	11,5	367,8
Aprile	5500	12,5	440
Maggio	6720	14	480
Giugno	7630	14,5	526,2
Luglio	7690	14	549,3
Agosto	6790	13	522,3
Settembre	4970	12	414,2
Ottobre	3570	10,5	340
Novembre	2150	9,5	226,3
Dicembre	1700	8,5	200

STATI DI PROGETTO: SOLARE TERMICO

- Le caratteristiche del pannello ed accumulatore utilizzati sono:

η_0 (rendimento a perdite nulle)	0,76
a_1 (coeff. dispersione 1° ordine)[W/m ² K]	4,031
a_2 (coeff. dispersione 2° ordine)[W/m ² K ²]	0,034
IAM(modificatore angolo d'incidenza)	0,89
superficie lorda[m ²]	2,51
superficie di apertura[m ²]	2,32

$V_{nominale}$ [lt]	950
V_{solare} [lt]	497
U_{ST} (dispersione termica) [W/K]	2,27
S_{acc} (superficie di scambio termico)[m ²]	2,1
d_{iso} (spessore isolamento)[mm]	137
λ_{iso} (conducibilità isolante)[W/mK]	0,04

- Il rendimento si è determinato come $\eta = [\eta_0 - a_1\Delta T/G_{med} - a_2G_{med}(\Delta T/G_{med})^2] \times IAM$
- Si calcolano poi le 2 grandezze:
- $Q_{sol,mese} = H(0^\circ) \times n^\circ_{giorni,mese} \times A_{apertura,pannello} \times \eta_{mese}/1000 [kWh]$
- $Q_{w,mese} = \rho_w \times c_w \times V_w \times G \times (T_{er} - T_0)[kWh]$
- Si è dimensionata l'area del collettore tale che $F_{sol} = Q_{sol}/Q_w = 50\%$
- Si ricava una superficie netta di 11,5 m² a cui viene collegato un accumulatore
- I risultati sono indicati in tabella:

I_0 [euro]	ΔC [euro]	FR[%]	SPB[anni]
5020	998	63	5

STATI DI PROGETTO: FOTOVOLTAICO

- Le caratteristiche del pannello scelto sono:

Potenza nominale[Wp]	285
efficienza modulo[%]	17,5
n° celle	60(6×10)
superficie modulo[m2]	1,63

- La potenza di picco risultante è di 66 kWp
- L'area dei pannelli è di 377 m² in confronto ai circa 3320 m² di superficie utile in pianta
- Si è supposto che l'energia elettrica prodotta dai pannelli sia interamente auto-consumata pari a:

$$EE = H(0^\circ) \times \eta \times n^\circ_{\text{giorni}} \times A_{PV}/1000[\text{kWh}]$$

- I risultati che si ottengono sono:

I_0 [euro]	ΔC [euro]	ΔEP [kWh]	EE[%]	SPB[anni]
66000	20950	242144	9,4	3,3

STATI DI PROGETTO: SCENARIO FINALE

- Per l'ultimo scenario si è ipotizzato di andare ad implementare tutti i migliori scenari dei precedenti casi studio, ovvero:

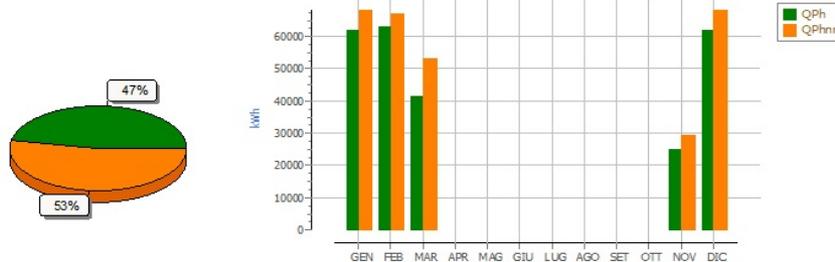
1. Infissi in pvc a 3 camere
2. Isolamento interno completo con EPS mv.30
3. Impianto VRV condensato ad acqua
4. Impianto solare termico
5. Impianto fotovoltaico

- Sono stati determinati dei nuovi carichi di progetto
- I risultati energetici ed economici dello scenario conclusivo sono:

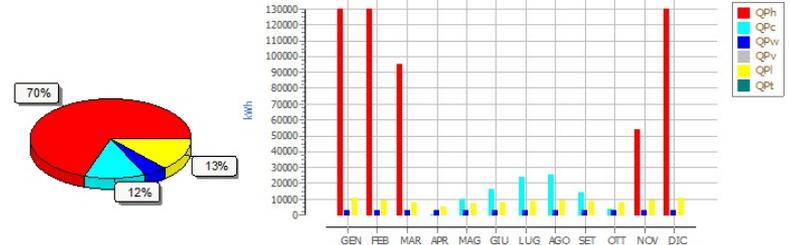
	Carichi[kW]	
	Invernale	Estivo
1°P	43	141
2°P	46	176
3°P	48	184
4°P	49	185
5°P	72	230
6°P	11	29

	I_0 [euro]	ΔC [euro]	ΔEh [%]	ΔEc [%]	SPB[anni]
Scenario finale	2024103	91120	67,4	44,1	22,2

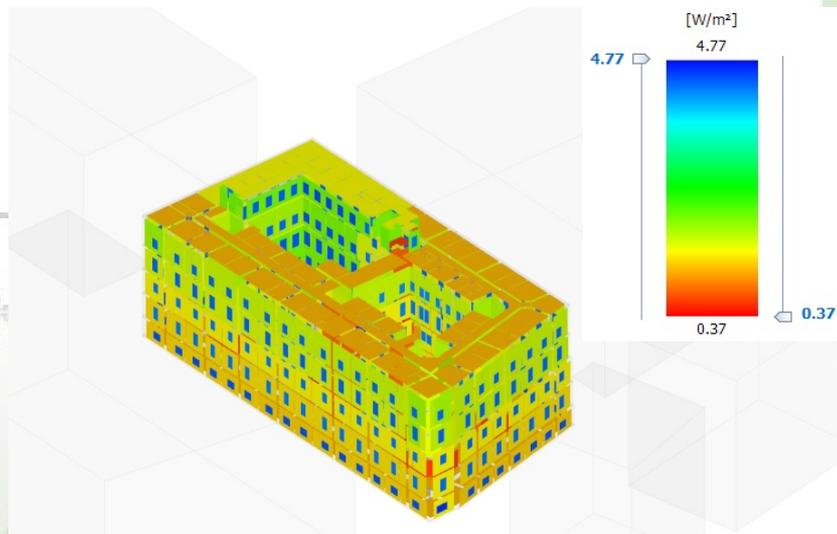
FABBISOGNI DI ENERGIA PRIMARIA TOTALE RINNOVABILE E NON RINNOVABILE



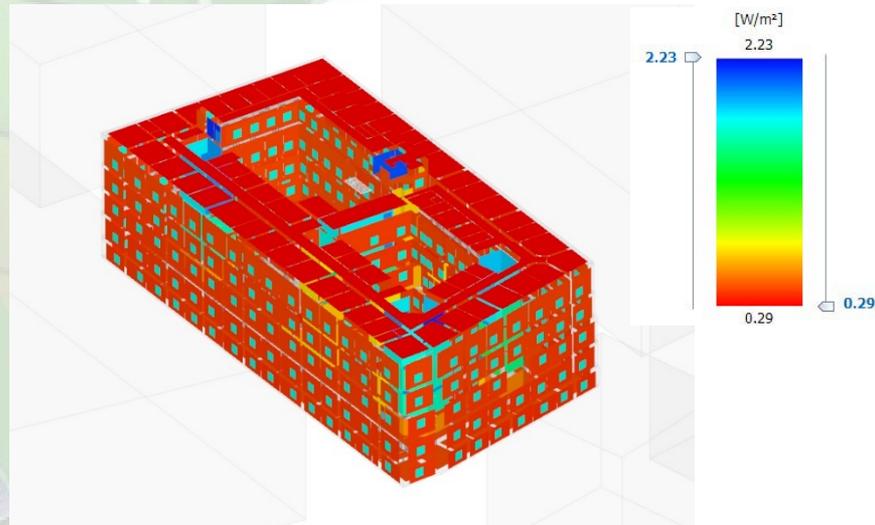
FABBISOGNI DI ENERGIA PRIMARIA PER SINGOLO SERVIZIO



STATO DI FATTO



STATO DI PROGETTO FINALE

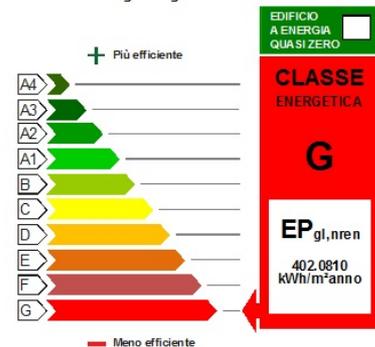


PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

Prestazione energetica del fabbricato



Prestazione energetica globale



Riferimenti
Gli immobili simili
avrebbero in
media la
seguente
classificazione:

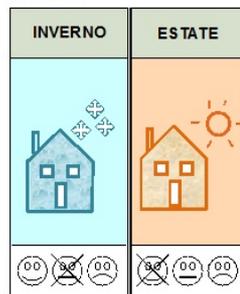


SERVIZI ENERGETICI PRESENTI

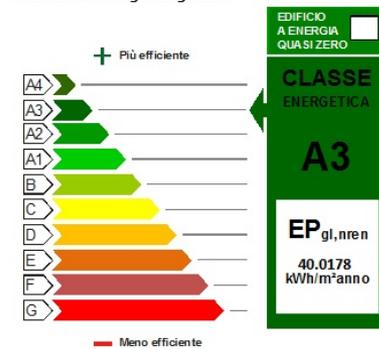
- Climatizzazione invernale
- Ventilazione meccanica
- Illuminazione
- Climatizzazione estiva
- Prod. acqua calda sanitaria
- Trasporto di persone o cose

PRESTAZIONE ENERGETICA GLOBALE E DEL FABBRICATO

Prestazione energetica del fabbricato



Prestazione energetica globale



Riferimenti
Gli immobili simili
avrebbero in
media la
seguente
classificazione:



SERVIZI ENERGETICI PRESENTI

- Climatizzazione invernale
- Ventilazione meccanica
- Illuminazione
- Climatizzazione estiva
- Prod. acqua calda sanitaria
- Trasporto di persone o cose

RISULTATI FINALI

	EP_h	EP_c	EP_w	EP_i	$EP_{gl,rr}$	EP_{tot}	$EP_{h,nd}$	$EP_{c,nd}$
SdF	160,7	280,2	4	14,5	402,1	459,4	80,3	24,8
INF1	145,9	265,7	4	14,5	375,7	430,2	73,6	17
INF2	146,8	238,7	4	14,5	354,8	404,1	74,5	14
INF3	143,7	242,7	4	14,5	354,9	404,9	73,1	14,3
$ISO_{tot,1}$	97,8	347,6	4	14,5	393,6	464	46,1	30,1
$ISO_{tot,2}$	97,9	347,1	4	14,5	393,3	463,6	46,1	30
$ISO_{tot,3}$	97,1	348,7	4	14,5	393,7	464,4	45,7	30,1
$ISO_{cop,1}$	148,9	280,5	4	14,5	390,5	447,9	73,7	25,1
$ISO_{cop,2}$	149	280,4	4	14,5	390,6	447,9	73,7	25,1
$ISO_{cop,3}$	149,1	280,5	4	14,5	390,7	448,1	73,8	24,1
VRV_A	109,2	18,7	3,6	14,5	85	146,1	72,9	25,5
VRV_W	98,5	15,2	3,2	14,5	67,6	131,9	72,9	25,5
ST	160,6	280,2	3,6	14,5	399,4	459	80,3	24,8
PV	160,5	273,7	4	11,5	388,8	449,8	80,3	24,8
FIN	52,9	9,4	3,6	10,1	40	76	36,6	19,8

	η_H	η_C	η_W	Y_{IE}	H'_T
SdF	0,50	0,08	0,50	0,09	1,7
INF1	0,50	0,05	0,50	0,09	1,4
INF2	0,51	0,05	0,50	0,09	1,4
INF3	0,51	0,05	0,50	0,09	1,4
$ISO_{tot,1}$	0,50	0,07	0,50	0,02	0,9
$ISO_{tot,2}$	0,47	0,07	0,49	0,02	0,9
$ISO_{tot,3}$	0,47	0,07	0,49	0,02	0,9
$ISO_{cop,1}$	0,49	0,08	0,50	0,04	1,5
$ISO_{cop,2}$	0,49	0,08	0,50	0,04	1,5
$ISO_{cop,3}$	0,49	0,08	0,50	0,04	1,5
VRV_A	0,67	1,34	0,54	0,07	1,6
VRV_W	0,74	1,65	0,54	0,07	1,6
ST	0,50	0,08	0,55	0,09	1,7
PV	0,50	0,08	0,50	0,09	1,7
FIN	0,70	2,08	0,55	0,02	0,6

CONCLUSIONI

- Interventi sull'involucro riducono le dispersioni termiche
- Il solo utilizzo di rinnovabili non migliora la classe energetica
- E' necessario l'utilizzo di impianti ad alta efficienza
- Per un corretto efficientamento energetico è necessario l'insieme di tutti gli interventi migliorativi analizzati