L'EFFICIENZA ENERGETICA
I dispositivi impiantistici impiegati
calcolo delle trasmittanze e della classe energetica

TESI DI LAUREA IN PROGETTAZIONE AMBIENTALE
Relatrice : Prof. Arch. E. Cangelli Studentessa : F.Castellano
Correlatori : Arch. P.Altamura, Ing. F.Mancini

FACOLTA' DI ARCHITETTURA
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE A CICLO UNICO U.E.
A.A. 2015/2016

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Dati dell'area di progetto - Parametri climatici

LOCALITA' : **Tragliatella** (fraz. di Fiumicino)
PROVINCIA : Roma
ZONA CLIMATICA : **D**

ALTITUDINE :161 m s.l.m.
LATITUDINE : 42°00′54.79″N
LONGITUDINE: 12°13′24.46″E

GRADI GIORNO : 1642
T. ESTERNA : 0° C
VELOCITA' VENTO : 6 nodi
DIREZIONE VENTO PREVALENTE : SO

Valori limite della trasmittanza termica utile U delle strutture componenti l'involucro edilizio espressa in (W/m2K) in vigore dal 14 marzo 2010, DPR 59:

Strutture opache verticali	0.36 / 0.29
Chiusure apribili e assimilabili	2.4
Strutture opache orizzontali o inclinate:	
Coperture	0.32 / 0.26
Pavimenti (*)	0.36 / 0.34**

(*) Pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno.
(**) Detraibilità fiscale di coibentazione

UNITA' ABITATIVA

Valori della trasmittanza termica utile U delle strutture componenti l'involucro edilizio espressa in (W/m2K)

Parte perimetrale		**0.189**
Chiusure apribili		**2**
Strutture opache orizzontali o inclinate:		
Copertura	1	**0.206**
	2	**0.214**
Solaio controterra		**0.185**

(I calcoli e la verifica delle prestazioni energetiche dell'edificio sono state effettuate con il software:Termus - ACCA, e Stima-10 ftm)

Irradiazione globale su superficie verticale (MJ/m²)

mese	N	NNE NNW	NE NW	ENE WNW	E W	ESE WSW	SE SW	SSE SSW	S	oriz	Te
novembre	2.3	2.3	2.7	4.0	5.7	7.7	9.5	11.1	11.9	7.3	12.6
dicembre	1.8	1.8	2.0	2.9	4.3	5.9	7.6	9.1	9.7	5.4	8.9
gennaio	2.1	2.1	2.3	3.4	5.0	6.7	8.4	10.0	10.7	6.3	7.6
febbraio	2.9	2.9	3.7	5.2	6.9	8.6	10.1	11.3	12.0	9.2	8.7
marzo	4.0	4.5	6.0	7.9	9.8	11.2	12.1	12.5	12.6	13.7	11.4
aprile	5.7	7.0	9.1	11.3	12.8	13.5	13.3	12.4	11.7	18.9	14.7

Inizio riscaldamento			01-11
Fine riscaldamento			15-04
Durata periodo di riscaldamento	p	[giorno]	166
Ore giornaliere di riscaldamento		[ore]	12
Situazione esterna :			in piccolo agglomerato
Temperatura aria ambiente	Ta	[°C]	20.0
Umidità interna	Ui	[%]	50.0
Classe di permeabilità all'aria dei serramenti esterni: (si veda singola struttura finestrata)			

Analisi energetica dell'abitazione di 168 mq

4
6000 kWh /anno

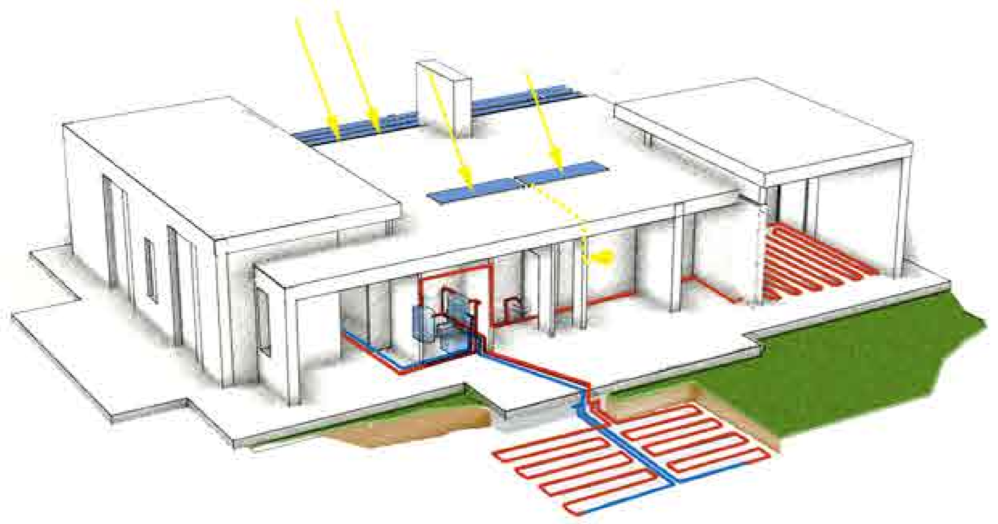
168 mq
80% riscaldamento
10% acs
10% illum.+ elettrod.

ROMA

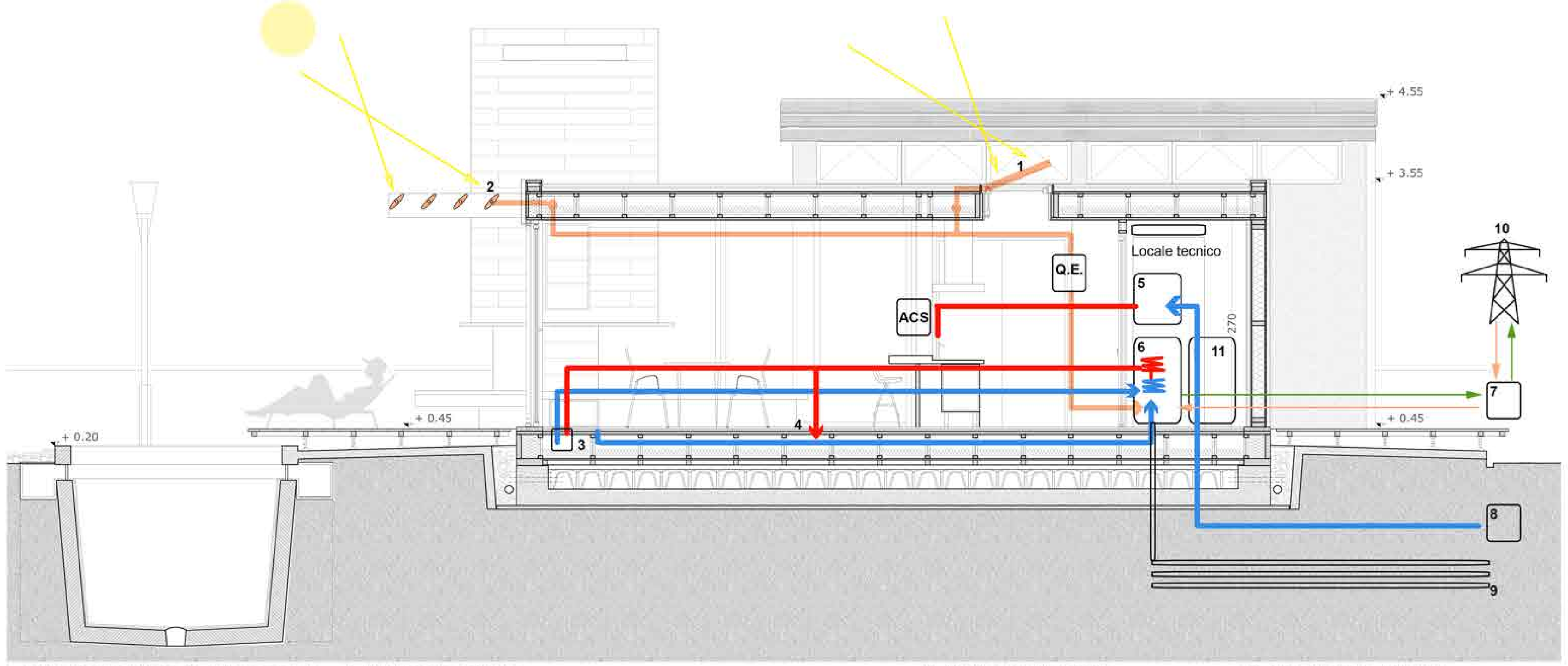
IMPIANTO GEOTERMICO
Rendimento del sistema: 4676 kWh
Potenza COP : 5

+

FOTOVOLTAICO
Area di installazione: 24 mq
Potenza impianto: 1 kWp
Produzione stimata dell'impianto : 1358 kWh /anno
Risparmio in bolletta: 272 euro /anno



Principio schematico del dimensionamento degli impianti



1. Fotovoltaico integrato sul lucernario
2. Frangisole fotovoltaici
3. Ventilconvettori a pavimento
4. Pavimento radiante
5. Pompa di calore per il fabbisogno di ACS
6. Pompa di calore geotermica per i terminali a bassa temperatura
7. Contatore di scambio
8. Rete idrica cittadina
9. Sonde geotermiche orizzontali
10. Rete elettrica cittadina
11. Accumulatore

Per il fabbisogno dell'edificio si è deciso di installare, per la produzione elettrica , 24mq di fotovoltaico orizzontale (1 - 2) che produranno 1270 kwh di energia, convertita tramite inverter in energia elettrica a corrente alternata.Ad integrazione di questa si aggiunge quella proveniente dalla rete cittadina (10). Al quadro elettrico (Q.E) saranno attaccati gli elettrodomestici e 2 pompe di calore (PDC) : una (5) allacciata alla rete idrica (8) per la produzione di acqua calda sanitaria , l'altra (6) andrà invece ad alimentare i pannelli radianti a pavimento (4) e i ventilconvettori posti anch'essi pavimento (3). Entrambe le PDC hanno una resa di COP= 5.E' stato inolte deciso di installare un accumulatore di energia (11) che conserva il surpls generato dalle pompe di calore ad alto rendimento e dal fotovoltaico.

Impianto geotermico
per il riscaldamento e raffrescamento

Gli impianti di riscaldamento geotermico sono installabili ovunque,in ogni località e ad ogni altitudine,(salvo inpresen-za di particolari vincoli idrogeologici) con la sola necessità di utilizzare un **impianto di distribuzione del calore a bassa temperatura** a pavimento o a parete.
Un edificio ben coibentato inoltre è un presupposto indi-spensabile per un corretto dimensionamento dell'impianto geotermico.

COMPOSIZIONE DELL'IMPIANTO

- **Sonda geotermica :** inserita in profondità per scambiare calore con il terreno
- **Pompa di calore** : installata all'interno dell'edificio
- **Sistema di distribuzione** del calore a bassa temperatu ra: pannelli radianti e bocchette di ventilazione.

INSTALLAZIONE DELL'IMPIANTO

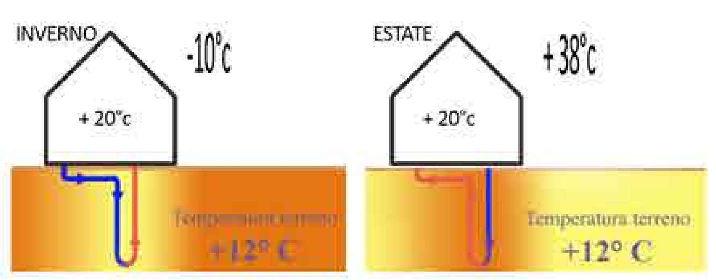
- Viene eseguita una **perforazione del diametro di pochi centimetri**, per inserire la sonda di captazione in un foro scavato accanto all'edificio, invisibile dopo la costruzione. Oppure si può optare per uno scavo unico per la posa delle sonde orizzontali.

- Il numero delle sonde geotermiche e la profondità d'in stallazione (**da 50 a 150 metri**) variano in funzione dell'energia termica richiesta.Ogni sonda è formata da due moduli ciascuno dei quali costituito da una coppia di tubi in polietilene uniti a formare un circuito chiuso (un tubo di "andata" e uno di "ritorno") all'interno dei quali circola un fluido glicolato (miscela di acqua e anticongelante non tossico).
- I tubi delle sonde sono collegati in superficie ad un apposito **collettore** connesso alla pompa di calore.

- La realizzazione richiede circa **3 - 4 giorni.**

COSTI

Per una superficie abitativa di circa 150 metri quadri, l'inve-stimento (prezzo del 2011) si aggira intorno ai **20 mila euro** (installazione e fornitura impianto).
A parità di superficie infatti i costi per la realizzazione dell'impianto sono del tutto simili a quelli per la realizzazio-ne di un moderno impianto a gasolio, nel caso di un impian-to di riscadamento geotermico con sonde orizzontali. Nel caso invece si dovesse optare per la soluzione con sonde verticali, le cifre tendono invece a salire, ma vengono co-munque ammortizzate in un breve lasso di tempo.



Pompa di calore
per il riscaldamento e produzione ACS

Un sistema a pompa di calore è un impianto che riesce a estrarre calore da un elemento esterno (tipicamente aria fredda fino a -25 °C) e a veicolarlo tramite acqua o aria all'interno dell'edificio.
Attualmente il rendimento (COP) medio degli impianti ad alta efficienza è di circa 3.5, cioè ad ogni kwh di energia elettrica consumata corrisponde una quantità di calore vei-colata all'interno dell'edificio pari a 3,5 kwh termiche.

Nei calcoli è stata utilizzata una pompa di calore con un alto grado di efficienza energetica pari a : 5 COP

COSTI

- costo kwh termico/ di calore con caldaia tradizionale: circa 13 Eurocent
- costo kwh termico /di calore con sistema a pompa di calore: circa 6 Eurocent

Da questi semplici conti risulta quindi che gli attuali sistemi a pompa di calore ad alta efficienza **si risparmia più del 60%** rispetto alla caldaia tradizionale

POMPA DI CALORE GEOTERMICA
CON COLLETTORE ORIZZONTALE

Potenza termica 4- 34 kW (risc.)
Potenza termica 1.8 kW (ACS)

HELIOTHERM
La pompa di calore

Tabella delle prestazioni – Pompa di calore per acqua sanitaria

Pompa di calore Heliotherm – Modello		H300BL-WTE	H300BE-WTE
L150W15-55 °C	Potenza termica [kW]	1,8	1,8
	Potenza frigorifera [kW]	1,2	1,2
Dimensioni in cm (A x L x P)		172 x 60 x 72	172 x 60 x 72

Tabella delle prestazioni – Pompa di calore geotermica con collettore orizzontale. Serie Web Control

Pompa di calore Heliotherm – Modello		HP05E-WEB	HP07E-WEB	HP08E-WEB	HP10E-WEB	HP12E-WEB	HP16E-WEB	HP20E-WEB	HP28E-WEB
Max. temperatura di mandata		60 °C*							
E4W35 sec. EN255 / Δ 10 K	Potenza termica [kW]	6,71	7,94	9,58	12,60	16,00	20,13	25,39	34,07
	COP	5,76	5,80	5,77	5,79	5,77	5,77	5,62	5,58
E4W35 sec. EN15879-1 / Δ 5 K	Potenza termica [kW]	6,56	7,75	9,05	12,30	15,67	19,66	24,88	33,57
	COP	5,46	5,00	5,47	5,46	5,47	5,47	5,33	5,29
Dimensioni in cm (A x L x P)		[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

* specifico del compressore

Tabella delle prestazioni – Pompa di calore geotermica modulante con collettore orizzontale, Serie Web Control

Pompa di calore Heliotherm – Modello		HP08E-M-WEB	HP12E-M-WEB	HP20E-M-WEB
Max. temperatura di mandata		60 °C*		
E4W35 sec. EN255 / Δ 10 K	Potenza termica [kW]	4,1 - 14,5	6,1 - 18,5	8,2 - 22,9
	COP	5,6 - 5,9	5,7 - 6,0	5,7 - 6,0
E4W35 sec. EN15879-1 / Δ 5 K	Potenza termica [kW]	4,0 - 14,2	6,0 - 18,1	8,0 - 22,4
	COP	5,4 - 5,6	5,4 - 5,6	5,4 - 5,7
Dimensioni in cm (A x L x P)		138 x 55 x 62	138 x 55 x 62	138 x 55 x 62

Heliotherm Tecnologia modulante**
Intelligente, economica e flessibile:

Impianto fotovoltaico
applicazioni integrate per l'energia elettrica

Il funzionamento prevede la conversione diretta della radiazione solare in energia elettrica mediante l'impiego delle celle fotovoltaiche (generalmente in silicio).
Le celle fv applicabili sono composte secondo :
- la tipologia monocristallina
- la tipologia policristallina
Le celle utilizzate nel progetto sono quelle realizzate da **film sottili :** sono celle solari di tipo monoc. il cui semiconduttore è depositato su strati applicabili a vari supporti in vetro,plastici o in lastre di alluminio,prevedendo la connessione per cablaggio.

ASSEMBLAGGIO
L'esecuzione dei moduli avviene in forma frameless o con una cornice in profili di alluminio, e sono impiegati singolarmente o collegati per realizzare "stringhe".
La loro applicazione rispetto all'involucro segue criteri di assemblaggio indipendente, se la disposizione non ha funzione di chiusura.

La costruzione assume la compatibilità sia con l'involucro edilizio (e quindi con le relative strutture di fissaggio dei pannelli) sia con le condizioni di orientamento.

L'impiego dei **brise-soleil fotovoltaici** permette inoltre dicalibrare (mediante i pattern delle celle) e di assorbire la radiazione luminosa: la distanza tra le celle di una stringa è variabile (tra 2-10 mm), così come la distanza tra le stringhe stesse che possono addensarsi o distanziarsi secondo le esigenze di schermatura.

CARATTERISTICHE DI POTENZA

- Potenza nominale 136 wp
-Tolleranza di produzione 5%

DATI TECNICI

- Lunghezza : 5486 mm, Larghezza 394mm
- Peso 7.7kg
- Collegamento elettrico: 4mmq - lunghezza 560mm con 7 connettori preassemblati sul lato superiore del laminato
- Incapsulamento: polimero sul lato anteriore ETFE ad alta trasparenza e resistente ai raggi uv e agli agenti atmosferici
- Adesivo: copolimero di etilen-propilene
- Tipo di cella : 22 celle solari Tripla Glunzione di Silicio amorfo collegate in serie

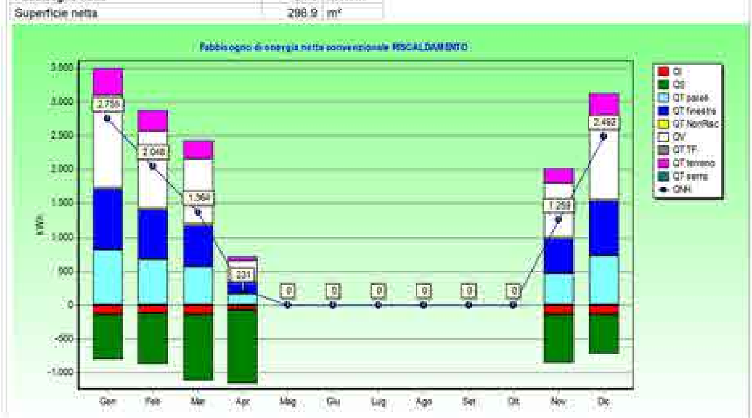
Calcolo del consumo energetico dell'edificio tramite il sw STIMA-10 tfm

RIEPILOGO DISPERSIONI						
GLOBALE EDIFICIO	794.2	896.8	0.886	0.285	0.937	6997
Appart/zona/ambiente	A	volume	S/V	Cdr	Cdl	dispers
Piano/Scala: 01 Piano terra						6997
0101 unica	794.2	896.8	0.886			6997
01 cucina e soggiorno	464.82	613.83	0.757			4147
02 hobby	103.67	81.97	1.265			884
03 servizi	85.38	61.02	1.399			500
04 camera1	50.35	55.48	0.908			540
05 disimpegno e bagno	18.76	23.18	0.809			171
06 camera2	71.24	61.27	1.163			755

Dettaglio analitico e grafico del fabbisogno di energia netta convenzionale (in regime di RISCALDAMENTO)

ENERGIA IN [MJ]	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Ottobre	Novembre	Dicembre	Totali
QT strutture opache	2939	2419	2038	608	0	1697	2631	12331
QT finestre	3259	2682	2260	674	0	1882	2917	13674
QT non riscaldati	0	0	0	0	0	0	0	0
QT ambienti adiacenti TF	0	0	0	0	0	0	0	0
QT terreno	1424	1172	988	295	0	823	1275	5977
QT totale	8180	6776	5839	1842	0	4936	7379	34952
QV ventilazione	4964	4086	3443	1027	0	2867	4443	20829
QL	13144	10862	9282	2869	0	7803	11823	55782
QI apporti interni	512	463	512	248	0	496	512	2743
Qs apporti solari (opachi + trasp.)	2769	3150	4278	2454	0	3001	2385	18037
Qse apporti serra	0	0	0	0	0	0	0	0
Rapporto apporti/dispersioni	0.250	0.333	0.516	0.942	0.000	0.448	0.245	
nu Fattore utilizzazione apporti	0.983	0.966	0.913	0.753	0.000	0.935	0.984	
Qn,h Fabbisogno riscaldamento	9919	7371	4909	833	0	4833	8972	36837

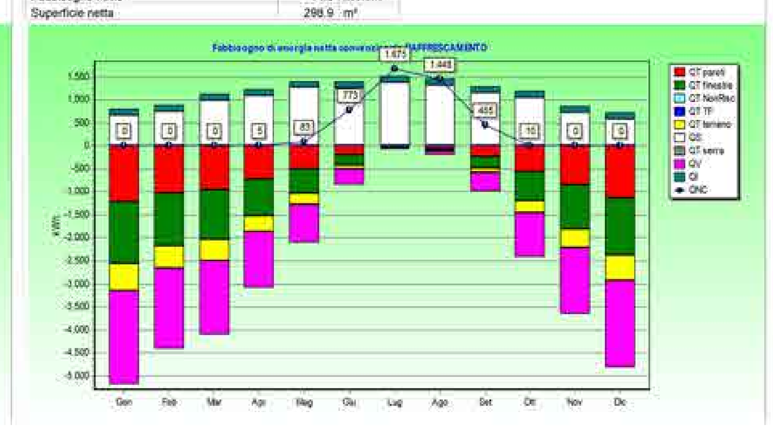
RISCALDAMENTO	Totale	Unità
Dispersione per trasmissione	32.5	kWh/m²
Dispersione per ventilazione	19.4	kWh/m²
Apporti serra	0.0	kWh/m²
Costante di tempo	25.9	h
Apporti interni	2.5	kWh/m²
Apporti solari	16.8	kWh/m²
Fabbisogno netto	34.0	kWh/m²
Superficie netta	298.9	m²



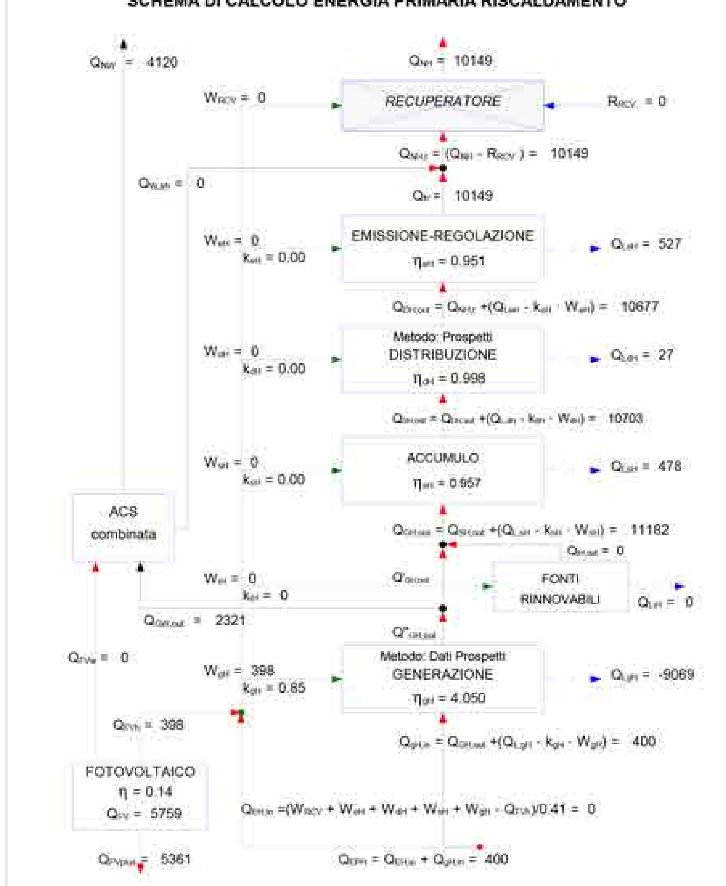
Dettaglio analitico e grafico del fabbisogno di energia netta convenzionale (in regime di RAFFRESCAMENTO)

ENERGIA IN [MJ]	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Totali
QT strutture opache	2592	1777	711	71	166	826	2038	26830
QT finestre	2874	1971	788	79	184	916	2260	29753
QT non riscaldati	0	0	0	0	0	0	0	0
QT ambienti adiacenti TF	0	0	0	0	0	0	0	0
QT terreno	1256	862	345	34	80	400	988	13005
QT totale	7253	5155	2366	720	966	2664	5832	76030
QV ventilazione	4378	3002	1201	120	280	1395	3443	45320
QL	11631	8157	3567	840	1247	4058	9275	121350
QI apporti interni	496	512	496	512	512	496	512	6032
Qs apporti solari (opachi + trasp.)	4908	5766	5815	6360	5947	5046	4412	43879
Qse apporti serra	0	0	0	0	0	0	0	0
Rapporto apporti/dispersioni	0.465	0.770	1.770	8.180	5.182	1.365	0.531	
nu Fattore utilizzazione dispersioni	0.463	0.733	0.990	1.000	1.000	0.962	0.527	
Qn,c Fabbisogno raffrescamento	19	300	2781	6032	5213	1638	36	16020

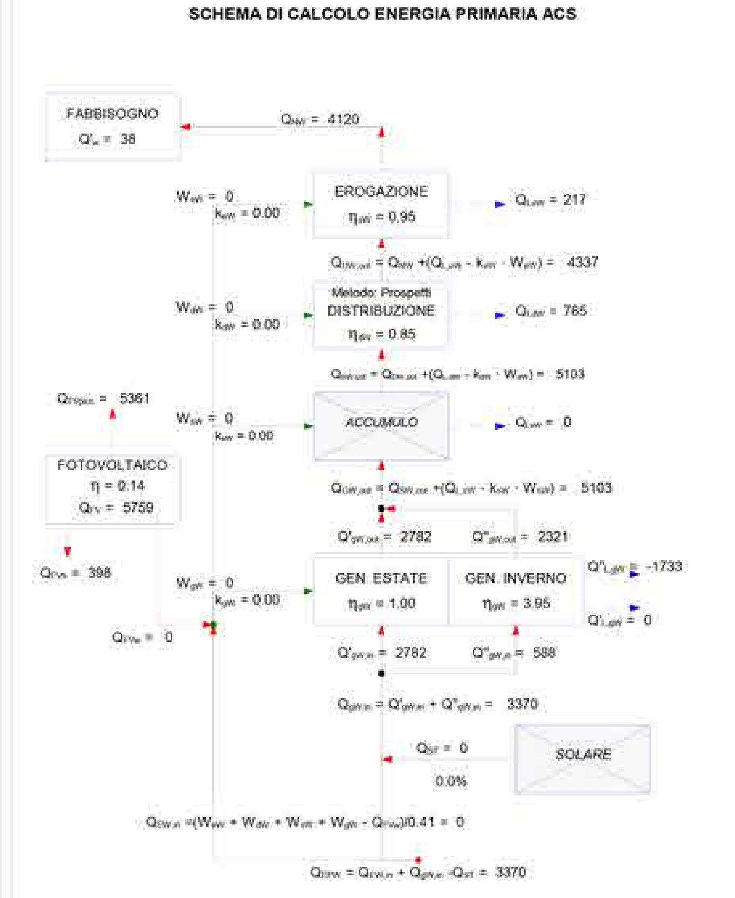
RAFFRESCAMENTO	Totale	Unità
Dispersione per trasmissione	70.7	kWh/m²
Dispersione per ventilazione	42.1	kWh/m²
Costante di tempo	25.9	h
Apporti interni	5.6	kWh/m²
Apporti solari	40.8	kWh/m²
Apporti solari opaco	9.3	kWh/m²
Fabbisogno netto	14.9	kWh/m²
Superficie netta	298.9	m²



SCHEMA DI CALCOLO ENERGIA PRIMARIA RISCALDAMENTO

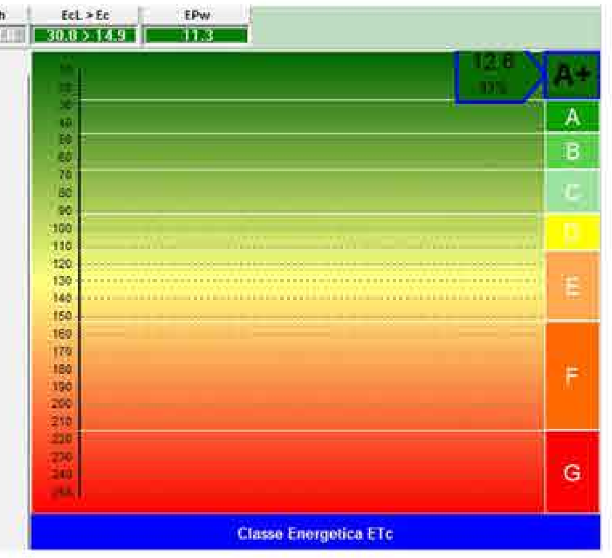


SCHEMA DI CALCOLO ENERGIA PRIMARIA ACS



CONCLUSIONI
Dopo un primo calcolo sul consumo energetico con impianto standard,nel modello è stato inserito un impianto di riscaldamen-to/raffrescamento autonomo che prevede : Pompa di calore con potenza 28 kw e COP 5; installazione di 24mq di FV in coper-tura al silicio monocristallino; pavimenti radianti a pavimento e posizionamento di ventilconvettori a pavimento dove occorre. Secondo i calcoli riportati l'edificio risulta in **classe A+** con un consumo annuo di **12.6 kwh/mq**

Strutture	ngL < ng	EPciL > EPci	EN 13788	Pn > Ppicco [kW]	Eh	EcL > Ec	EPw
Non conformi	0.675 <*.***	73.9 > 1.3	sup int	7.0 > 7.0	[illegible]	30.0 > 14.9	11.3

Tabella | Schema

	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	▼	%	energia [kWh]
QT	894	1541	1721	1417	1194	358	7224	+ 47	energia scambiata per trasmissione con l'esterno
QG	229	354	396	326	274	82	1660	+ 11	energia scambiata per trasmissione con il terreno
QV	796	1234	1379	1135	956	285	5786	+ 37	energia scambiata per ventilazione/infiltrazione
QU	0	0	0	0	0	0	0	+ 0	energia scambiata con ambienti non riscaldati
QA	0	0	0	0	0	0	0	+ 0	energia scambiata con ambienti a temperatura fiss
QL	2167	3284	3651	3017	2578	797	15495	—	energia scambiata totale
QI	138	142	142	129	142	69	762	- 5	apporti energia dovuti a sorgenti interne
QS	722	575	667	745	981	547	4237	- 27	apporti energia radiaz. solare (componenti traspar
QSe	112	87	102	130	207	135	773	- 5	apporti energia radiaz. solare (componenti opachi)
QTs	0	0	0	0	0	0	0		perdite per trasmissione attraverso serra
QSeS	0	0	0	0	0	0	0	+ 0	apporti per surriscaldamento serra
QSsS	0	0	0	0	0	0	0		apporti diretti serra
nu	0.935	0.984	0.983	0.966	0.913	0.753			fattore utilizzazione apporti gratuiti
QNH	1259	2492	2755	2048	1364	231	10149		fabbisogno energetico netto
Rrcv	0	0	0	0	0	0	0		recupero di calore
Wrcv	0	0	0	0	0	0	0		energia elettrica recuperatore
QLeh	65	130	143	106	71	12	527		Perdite sistema emissione
Weh	0	0	0	0	0	0	0		energia elettrica sistema emissione
QLdh	3	7	7	5	4	1	27		Perdite sistema distribuzione
Wdh	0	0	0	0	0	0	0		energia elettrica sistema distribuzione
QLsh	86	89	89	81	89	43	478		Perdite sistema accumulo