



Politecnico di Milano

Facoltà di Architettura e Società

Corso di laurea in Architettura

ANALISI DEGLI EDIFICI A RISPARMIO ENERGETICO CERTIFICATI

PROGETTO E VERIFICA DEI PROTOCOLLI CASACLIMA, MINERGIE E
PASSIVHAUS SUL TERRITORIO ITALIANO

relatori: Prof. Arch. Ingrid Paoletti

Dott. Arch. Alessandra Lelli

studente: Massimiliano Catena

matricola: 165864

Anno accademico 2009/2010

INDICE

<i>Premessa</i>	pag. 1
1 LA QUESTIONE CLIMATICA	
1.1 L'ONU e la protezione del clima	pag. 3
1.2 I danni ambientali provocati dell'uomo	pag. 6
1.3 Il rapporto IPCC sugli scenari futuri	pag. 7
1.4 L'obiettivo di una tonnellata di CO ₂ a persona	pag. 9
1.5 La politica ambientale dell'Unione Europea	pag. 9
1.6 La Conferenza sul clima di Copenhagen	pag. 11
2 LA QUESTIONE ENERGETICA	
2.1 La pericolosa dipendenza dalle fonti energetiche di origine fossile	pag. 12
2.2 L'agricoltura come alternativa ai combustibili fossili	pag. 16
2.3 Il rapporto IPCC sui costi della tutela del clima	pag. 19
2.4 La Politica Energetica dell'Unione Europea	pag. 19
3 L'EVOLUZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI	
3.1 L'evoluzione del sistema edificio-impianto	pag. 23
3.2 Lo standard tedesco "passivhaus"	pag. 30
3.3 Gli edifici Zero Energy e Energy Plus	pag. 31
4 L'EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA ENERGETICA	
4.1 La normativa italiana sul risparmio energetico	pag. 32
4.2 La direttiva europea 2002/91/CE	pag. 34

4.3	La provincia autonoma di Bolzano e il comune di Carugate	pag. 37
4.4	Il recepimento della direttiva europea 2002/91/CE	pag. 39
4.5	Le normative regionali sulla certificazione energetica	pag. 39
4.5	Il certificato energetico	pag. 41
5	LE CONDIZIONI DI BENESSERE	
5.1	Il concetto di benessere	pag. 47
5.2	Il benessere termoigrometrico	pag. 47
5.2.1	Il discomfort	pag. 56
5.3	Il benessere respiratorio	pag. 59
5.4	Il benessere acustico	pag. 64
5.5	Il benessere luminoso	pag. 69
6	L'EDILIZIA BIOCLIMATICA	
6.1	Principi generali	pag. 71
6.2	Le condizioni climatiche locali	pag. 72
6.3	L'orientamento dell'edificio	pag. 75
6.4	I caratteri morfologici e distributivi degli edifici	pag. 78
6.5	La progettazione bioclimatica dell'involucro edilizio	pag. 80
6.6	Il riscaldamento solare passivo	pag. 88
6.7	Il raffrescamento solare passivo	pag. 100
7	L'USO DELLE FONTI RINNOVABILI DI ENERGIA	
7.1	Premessa	pag. 106
7.2	Il solare termico	pag. 107
7.3	Il solare fotovoltaico	pag. 118

7.4	Le pompe di calore	pag. 127
7.5	Le caldaie a pellets	pag. 132
8	ESEMPI DI EDIFICI BIOCLIMATICI	
8.1	Localizzazione	pag. 134
8.2	Il museo etnografico Pirámides de Güimar	pag. 136
8.3	La borsa di Malta	pag. 138
8.4	Una vivienda a El Escorial	pag. 140
8.5	La sede centrale I Guzzini	pag. 144
8.6	Una villa a Brembate Sopra	pag. 148
8.7	Gli uffici della BRE	pag. 150
8.8	L'università delle scienze applicate di Bonn-Rhein-Sieg	pag. 152
8.9	Il museo di Arte Moderna di Kristinehamn	pag. 156
9	LO STANDARD PASSIVHAUS	
9.1	La storia	pag. 158
9.1.1	Il progetto europeo Cepheus	pag. 161
9.1.2	Il progetto europeo Passive-On	pag. 163
9.1.3	Il progetto europeo CEPH	pag. 166
9.2	Definizione e criteri di qualità	pag. 166
9.3	L'involucro	pag. 168
9.4	Gli impianti	pag. 182
9.5	Il PHPP come strumento di progetto	pag. 187
9.6	I controlli e la certificazione	pag. 188
9.7	I principi della bioclimatica e le "passivhaus"	pag. 190

10	LO STANDARD CASACLIMA	
10.1	La storia	pag. 192
10.2	La classificazione ed il calcolo dell'efficienza energetica	pag. 194
10.3	L'involucro	pag. 198
10.4	Il contrassegno CasaClima più	pag. 201
10.5	Gli impianti	pag. 202
10.6	L'agenzia CasaClima	pag. 203
10.7	I principi della bioclimatica e le CasaClima	pag. 207
10.8	Le CasaClima in legno	pag. 207
11	LO STANDARD MINERGIE	
11.1	La storia	pag. 214
11.2	La norma SIA 380/1:2009 e l'indice energetico ponderato	pag. 215
11.3	Il comfort	pag. 220
11.4	Il sistema edificio impianto	pag. 221
11.5	Il problema del surriscaldamento estivo	pag. 224
11.6	Gli standard MINERGIE e MINERGIE-P	pag. 225
11.7	Lo standard ECO	pag. 227
11.8	I principi della bioclimatica ed i MINERGIE	pag. 228
12	ESEMPI DI EDIFICI CERTIFICATI	
12.1	Localizzazione	pag. 230
12.1.1	Le influenze locali	pag. 231
12.1.2	Le interazioni degli standard energetici	pag. 233
12.1.3	L'evoluzione degli edifici	pag. 235
12.2	Casa esposizione Heidi	pag. 236

12.3	Villa Blasbichler	pag. 240
12.4	Villa Novo	pag. 244
12.5	Dogana commerciale di Chiasso Brogeda	pag. 250
12.6	Condominio IPES di Bronzolo	pag. 254
12.7	Uffici Rubner	pag. 258
12.8	Nuova sede della Provincia Autonoma di Bolzano	pag. 262
12.9	Nuova sede ASSA	pag. 268
12.10	Villa Ciani	pag. 274
12.11	Villa Canellini	pag. 278
13	STANDARD A CONFRONTO	
13.1	L'area di progetto	pag. 284
13.2	I riferimenti normativi	pag. 286
13.3	Le scelte progettuali sull'area di progetto	pag. 289
13.4	La progettazione degli edifici a "norma di legge"	pag. 291
13.4.1	Il metodo delle trasmittanze U limite (verifica semplificata)	pag. 293
13.4.2	Il metodo dell'EPi limite (verifica completa)	pag. 297
13.4.3	Le altre verifiche	pag. 298
13.5	Il calcolo delle dispersioni di calore	pag. 299
13.5.1	La conduttività termica λ	pag. 299
13.5.2	La capacità termica specifica c	pag. 300
13.5.3	La resistenza termica delle intercapedini d'aria	pag. 301
13.5.4	La trasmittanza termica U	pag. 302
13.5.5	Il calcolo del valore U per elementi omogenei e disomogenei	pag. 303
13.5.6	Il calcolo dei ponti termici	pag. 308

13.6	Un software per il calcolo della prestazione energetica	pag. 309
13.7	Il progetto di undici edifici per il confronto degli standard energetici	pag. 310
13.7.1	L'edificio bifamiliare n.1 - edificio base	pag. 310
13.7.2	L'edificio bifamiliare n.2 - con serra bioclimatica	pag. 319
13.7.3	L'edificio bifamiliare n.3 - standard CasaClima B	pag. 323
13.7.4	L'edificio bifamiliare n.4 - standard CasaClima A	pag. 329
13.7.5	L'edificio bifamiliare n.5 - standard Passivhaus	pag. 336
13.7.6	L'edificio bifamiliare n.6 - standard Minergie	pag. 341
13.7.7	Gli involucri delle ville bifamiliari a confronto	pag. 343
13.7.8	La villa singola n.1 - edificio base	pag. 351
13.7.9	La villa singola n.2 - standard CasaClima B	pag. 360
13.7.10	La villa singola n.3 - standard CasaClima A	pag. 364
13.7.11	La villa singola n.4 - standard Passivhaus	pag. 368
13.7.12	La villa singola n.5 - standard Minergie	pag. 371
13.7.13	Gli involucri delle ville singole a confronto	pag. 373
13.8	La palazzina a destinazione mista	pag. 380
14	ANALISI DEGLI EDIFICI PROGETTATI E CONCLUSIONI	
14.1	Il calcolo della S.U.L e dei bonus volumetrici	pag. 392
14.2	Il calcolo degli extra costi	pag. 394
14.3	Il calcolo delle spese di riscaldamento	pag. 410
14.4	Il calcolo dei tempi di ammortamento degli extra-costi	pag. 415
14.5	Analisi dell'inquinamento prodotto e valutazioni ambientali	pag. 418
14.6	Analisi del comfort interno	pag. 420
14.7	Considerazioni finali	pag. 422

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - La Terra protetta dalla sua atmosfera	pag. 4
Figura 2 - L'orso polare, prima vittima del surriscaldamento	pag. 7
Figura 3 - Paesi aderenti al protocollo di Kyoto	pag. 11
Figura 4 - Domanda e offerta mondiale di petrolio dal 1970 al 2008	pag. 13
Figura 5 - Prezzo del petrolio dal 1946 al 2008 in dollari di oggi	pag. 14
Figura 6 - Prezzo dell'olio di palma	pag. 18
Figura 7 - Prezzo del Mais	pag. 19
Figura 8 - Consumo di energia per tipo di combustibile	pag. 20
Figura 9 - Previsioni di crescita nella produzione di elettricità verde nell'U.E.	pag. 21
Figura 10 - L'Unione Europea	pag. 22
Figura 11 - Torri del vento a Yazd	pag. 24
Figura 12 - Institute du Monde Arabe a Parigi di J. Nouvel, 1987	pag. 26
Figura 13 - Palazzina per uffici "iGuzzini" di M. Cucinella, 2002	pag. 27
Figura 14 - Palazzina "iGuzzini", sistema di ventilazione	pag. 28
Figura 15 - Edificio S.I.E.E.B. di M. Cucinella, 2003	pag. 29
Figura 16 - Edificio Gemini di E. Kaltenegger, 1993	pag. 31
Figura 17 - Classificazione energetica degli edifici	pag. 38
Figura 18 - Attestato Cened e Casa Clima a confronto	pag. 40
Figura 19 - Prospetto nord-est dell'edificio da certificare	pag. 41
Figura 20 - Prospetto sud-ovest dell'edificio da certificare	pag. 41
Figura 21 - Rilievo dell'appartamento da certificare	pag. 42
Figura 22 - Bilancio energetico mensile	pag. 44
Figura 23 - L'attestato CENED dell'edificio certificato	pag. 46
Figura 24 - Persone in stato di benessere ma in ambienti differenti	pag. 47

Figura 25 - Neutralità termica	pag. 49
Figura 26 - Attività fisica e valori di met	pag. 50
Figura 27 - Valori di clo per capo di vestiario	pag. 51
Figura 28 - Concetto di temperatura media radiante	pag. 52
Figura 29 - Indici PMV e PPD	pag. 54
Figura 30 - Le 4 categorie di discomfort termico locale	pag. 56
Figura 31 - Casi di asimmetria media radiante	pag. 57
Figura 32 - Discomfort da diff. verticale della temp. dell'aria e da pavimento freddo	pag. 58
Figura 33 - Rappresentazione del cambio d'aria	pag. 61
Figura 34 - Ventilazione insoddisfacente dovuta a corto circuito e ottimale	pag. 62
Figura 35 - Rappresentazione dell'età dell'aria in un ambiente	pag. 62
Figura 36 - Efficienza di ventilazione	pag. 63
Figura 37 - Sorgenti di rumore interno ed esterno	pag. 65
Figura 38 - Posa in opera di tappeto fonoisolante	pag. 69
Figura 39 - Localizzazione dell'edificio	pag. 72
Figura 40 - Architetture delle regioni con climi estremi	pag. 73
Figura 41 - Dammusi di Pantelleria	pag. 73
Figura 42 - Trullo pugliese e sassi di Matera	pag. 74
Figura 43 - Zone climatiche italiane	pag. 75
Figura 44 - Incidenza del sole su un piano orizzontale e su una parete	pag. 76
Figura 45 - Angolo zenitale α e angolo azimutale β	pag. 76
Figura 46 - Orientamento ideale e geometria solare	pag. 77
Figura 47 - Rapporto tra superficie e volume	pag. 78
Figura 48 - Suddivisione dell'edificio in zone climatiche	pag. 79
Figura 49 - Termografia di un ponte termico ed effetti sulle pareti	pag. 80

Figura 50 - Isolamento esterno, a intercapedine e interno	pag. 82
Figura 51 - Materiali termoisolanti	pag. 82
Figura 52 - Inerzia termica	pag. 84
Figura 53 - Le schermature nella sede del Sole 24 Ore a Milano	pag. 87
Figura 54 - Sistema a guadagno diretto	pag. 88
Figura 55 - Muro solare	pag. 89
Figura 56 - Muro di Trombe-Michel	pag. 91
Figura 57 - Muro di Trombe-Michel progettato per il Visitors Center del NREL	pag. 92
Figura 58 - Serre bioclimatiche	pag. 93
Figura 59 - Lo "skytherm" installato ad Atascadero in California	pag. 94
Figura 60 - Sistemi a Termosifone	pag. 95
Figura 61 - Sistemi Barra-Costantini a "loop aperto"	pag. 96
Figura 62 - Edificio bioclimatico a circolazione naturale	pag. 97
Figura 63 - Edificio bioclimatico con ausilio di ventilazione meccanica	pag. 98
Figura 64 - Effetto camino	pag. 100
Figura 65 - Ventilazione passante orizzontale	pag. 101
Figura 66 - Wing Wall	pag. 101
Figura 67 - Torre di captazione	pag. 102
Figura 68 - Schema dei flussi d'aria in una torre iraniana	pag. 103
Figura 69 - Schema dei flussi d'aria nel qa'a di Othman Katkhuda	pag. 104
Figura 70 - Camino solare realizzato in una abitazione bioclimatica di Cusago	pag. 105
Figura 71 - Camini solari realizzati nel B.R.E. a Garston	pag. 105
Figura 72 - Sole e vento: due fonti di energia rinnovabile	pag. 106
Figura 73 - Centrale solare termica a torre, Odeillo (Francia)	pag. 107
Figura 74 - Collettori solari piani	pag. 110

Figura 75 - Collettori a tubi sottovuoto	pag. 110
Figura 76 - Collettore scoperto	pag. 111
Figura 77 - Collettore ad aria calda	pag. 112
Figura 78 - Sistema a circuito aperto ed a circuito chiuso	pag. 113
Figura 79 - Schema di un circuito solare chiuso a circolazione forzata	pag. 114
Figura 80 - Sistemi a circolazione naturale	pag. 115
Figura 81 - Schematizzazione di una cella fotovoltaica	pag. 119
Figura 82 - Energia solare annualmente incidente su un piano orizzontale	pag. 120
Figura 83 - Generatore fotovoltaico	pag. 121
Figura 84 - Schema di funzionamento di un impianto fotovoltaico	pag. 122
Figura 85 - Schema di impianto grid-connected	pag. 124
Figura 86 - Fiera di Primiero, Trento	pag. 125
Figura 87 - Ciclo della pompa di calore	pag. 128
Figura 88 - Tipologie di pompe di calore	pag. 129
Figura 89 - Integrazione di impianto geotermico con solare termico	pag. 130
Figura 90 - Pellets	pag. 132
Figura 91 - Caldaia a pellets e schema impianto	pag. 133
Figura 92 - Caldaia a pellets da soggiorno	pag. 133
Figura 93 - Localizzazione edifici bioclimatici	pag. 135
Museo etnografico Pirámides de Güimar	
<i>Figura 94 - Vista esterna</i>	<i>pag. 136</i>
<i>Figura 95 - Vista interna</i>	<i>pag. 136</i>
<i>Figura 96 - Ingresso auditorio</i>	<i>pag. 136</i>
<i>Figura 97 - Uscita auditorio</i>	<i>pag. 136</i>
<i>Figura 98 - Pianta piano terra e Planimetria generale</i>	<i>pag. 136</i>

<i>Figura 99 - Muro in Basalto</i>	<i>pag. 137</i>
<i>Figura 100 - Cortile interno</i>	<i>pag. 137</i>
<i>Figura 101 - Ingresso di una sala espositiva.</i>	<i>pag. 137</i>
<i>Figura 102 - Consumi energetici</i>	<i>pag. 137</i>
<i>Figura 103 - Funzionamento del cortile ai fini della ventilazione</i>	<i>pag. 137</i>
Borsa di Malta	
<i>Figura 104 - Facciata ovest</i>	<i>pag. 138</i>
<i>Figura 105 - Facciata principale</i>	<i>pag. 138</i>
<i>Figura 106 - Atrio centrale ed uffici</i>	<i>pag. 138</i>
<i>Figura 107 - Copertura lignea</i>	<i>pag. 138</i>
<i>Figura 108 - Prospetto ovest</i>	<i>pag. 138</i>
<i>Figura 109 - Ventilazione passante verticale o a torre di captazione</i>	<i>pag. 139</i>
<i>Figura 110 - Ventilazione indotta dal sistema di raffreddamento</i>	<i>pag. 139</i>
<i>Figura 111 - Effetto camino</i>	<i>pag. 139</i>
Vivienda a El Escorial	
<i>Figura 112 - Vista d'insieme</i>	<i>pag. 140</i>
<i>Figura 113 - Fronte est</i>	<i>pag. 140</i>
<i>Figura 114 - Ingresso principale</i>	<i>pag. 140</i>
<i>Figura 115 - Vista facciata sud</i>	<i>pag. 140</i>
<i>Figura 116 - Vista serra</i>	<i>pag. 141</i>
<i>Figura 117 - Funzionamento serra</i>	<i>pag. 141</i>
<i>Figura 118 - Prospetto sud</i>	<i>pag. 141</i>
<i>Figura 119 - Pianta piano terra</i>	<i>pag. 142</i>
<i>Figura 120 - Pianta piano primo</i>	<i>pag. 142</i>
<i>Figura 121 - Vista facciata nord</i>	<i>pag. 142</i>

Figura 122 - Vista interna P.T. pag. 143

Figura 123 - Schema ventilazione pag. 143

Figura 124 - Prospetto nord pag. 143

Sede centrale I Guzzini

Figura 125 - Il Giardino nell'atrio pag. 144

Figura 126 - Atrio e lucernari pag. 144

Figura 127 - Ubicazione edificio e vista fronte sud pag. 144

Figura 128 - Facciata est pag. 144

Figura 129 - Il Giardino nell'atrio pag. 145

Figura 130 - Disimpegni al P.1 pag. 145

Figura 131 - Uffici direzionali pag. 145

Figura 132 - Uffici amministrativi pag. 145

Figura 133 - Uffici amministrativi pag. 145

Figura 134 - Schizzi "bioclimatici" di progetto pag. 146

Figura 135 - Flussi d'aria nella ventilazione pag. 146

Figura 136 - Schermatura esterna pag. 147

Figura 137 - Sistema di riscaldamento pag. 147

Figura 138 - Ventilconvettore pag. 147

Villa a Brembate Sopra

Figura 139 - Vista da sud-ovest pag. 148

Figura 140 - Vista facciata sud pag. 148

Figura 141 - Vista facciata ovest pag. 148

Figura 142 - Schermatura pag. 148

Figura 143 - Pianta piano terra e piano primo pag. 148

Figura 144 - Sezione del lato sud pag. 149

<i>Figura 145 - Schema impiantistico</i>	<i>pag. 149</i>
<i>Figura 146 - Schema del flusso energetico nel periodo estivo ed invernale</i>	<i>pag. 149</i>
Ufficio BRE	
<i>Figura 147 - Vista generale</i>	<i>pag. 150</i>
<i>Figura 148 - Pannelli fotovoltaici</i>	<i>pag. 150</i>
<i>Figura 149 - Particolare solaio</i>	<i>pag. 150</i>
<i>Figura 150 - Vista interna dell'ingresso</i>	<i>pag. 150</i>
<i>Figura 151 - Ingresso principale e sezione tipo</i>	<i>pag. 150</i>
<i>Figura 152 - Sezione solaio</i>	<i>pag. 151</i>
<i>Figura 153 - Schermature</i>	<i>pag. 151</i>
<i>Figura 154 - Funzionamento della ventilazione nel solaio e nei camini solari</i>	<i>pag. 151</i>
Università delle scienze applicate di Bonn-Rhein-Sieg	
<i>Figura 155 - Ingresso principale</i>	<i>pag. 152</i>
<i>Figura 156 - Vista del campus</i>	<i>pag. 152</i>
<i>Figura 157 - Atrio</i>	<i>pag. 152</i>
<i>Figura 158 - Planimetria generale e pianta piano terra</i>	<i>pag. 152</i>
<i>Figura 159 - Muro di Trombe-Michel nel salone attrezzature</i>	<i>pag. 153</i>
<i>Figura 160 - Visuale esterna del salone delle attrezzature</i>	<i>pag. 153</i>
<i>Figura 161 - Schermatura esterna</i>	<i>pag. 153</i>
<i>Figura 162 - Cellule fotovoltaiche integrate nella copertura d'ingresso</i>	<i>pag. 153</i>
<i>Figura 163 - Filosofia d'illuminazione delle aule</i>	<i>pag. 153</i>
<i>Figura 164 - Impianto di cogenerazione</i>	<i>pag. 154</i>
<i>Figura 165 - Ventilazione delle aule</i>	<i>pag. 154</i>
<i>Figura 166 - Ventilazione auditori</i>	<i>pag. 154</i>
<i>Figura 167 - Sezione auditorio</i>	<i>pag. 154</i>

<i>Figura 168 - Particolare aula</i>	<i>pag. 155</i>
<i>Figura 169 - Particolare atrio P.T.</i>	<i>pag. 155</i>
<i>Figura 170 - Particolare atrio P.I.</i>	<i>pag. 155</i>
<i>Figura 171 - Particolare atrio P.I.</i>	<i>pag. 155</i>
<i>Figura 172 - Fossato per il recupero dell'acqua piovana</i>	<i>pag. 155</i>
Museo di Arte Moderna di Kristinehamn	
<i>Figura 173 - Vista generale</i>	<i>pag. 156</i>
<i>Figura 174 - Collettore solare</i>	<i>pag. 156</i>
<i>Figura 175 - Vista tridimensionale dell'area e schema di ventilazione-</i>	<i>pag. 156</i>
<i>Figura 176 - Airlock ingresso</i>	<i>pag. 157</i>
<i>Figura 177 - Airlock ingresso</i>	<i>pag. 157</i>
<i>Figura 178 - Sala mostre</i>	<i>pag. 157</i>
<i>Figura 179 - Sezione del muro e della copertura</i>	<i>pag. 157</i>
Figura 180 - Dr. Wolfgang Feist	pag. 158
Figura 181 - Il condominio costruito a Darmstadt nel 1991	pag. 159
Figura 182 - Insieme dei sistemi passivi utilizzati a Darmstadt	pag. 160
Figura 183 - Consumo energetico: confronto tra edifici tradizionali e Cepheus	pag. 162
Figura 184 - Passivhaus in Germania	pag. 163
Figura 185 - Strategie di climatizzazione del modello italiano	pag. 165
Figura 186 - Il comfort di una "passivhaus" rispetto ad una casa tradizionale	pag. 168
Figura 187 - Involucro termico	pag. 169
Figura 188 - Valori U tipici delle passivhaus tedesche	pag. 169
Figura 189 - Collegamento parete fondazione con blocchi in gasbeton	pag. 175
Figura 190 - Ponte termico leggero (collegamento solaio balcone)	pag. 176
Figura 191 - Prestazioni di differenti componenti vetriati	pag. 177

Figura 192 - Parametri tecnici delle finestre	pag. 178
Figura 193 - Serramenti: varianti di installazione certificata	pag. 178
Figura 194 - Finestre certificate per passivhaus	pag. 179
Figura 195 - Confronto degli apporti energetici in 4 diverse località	pag. 180
Figura 196 - Blower Door test	pag. 181
Figura 197 - Funzionamento di una “passivhaus”	pag. 182
Figura 198 - Impianto tipo con recupero di calore e pompa di calore	pag. 183
Figura 199 - Funzionamento estivo ed invernale del condotto interrato	pag. 184
Figura 200 - Aggregati compatti Aerosmart	pag. 185
Figura 201 - Bocchette d'areazione	pag. 185
Figura 202 - Etichette energetiche	pag. 186
Figura 203 - Piano di cottura tradizionale e ad induzione	pag. 186
Figura 204 - Diagramma di flusso del PHPP	pag. 187
Figura 205 - Bilancio energetico per il calcolo del fabbisogno di riscaldamento	pag. 187
Figura 206 - Bilancio energetico mensile	pag. 188
Figura 207 - Analisi termografica di un edificio	pag. 189
Figura 208 - Bilanciamento dell'impianto di ventilazione	pag. 190
Figura 209 - Norbert Lantschner	pag. 192
Figura 210 - Classificazione energetica degli edifici	pag. 193
Figura 211 - Certificato energetico 2006 e 2008 a confronto	pag. 194
Figura 212 - Bilancio energetico	pag. 195
Figura 213 - Volume netto ventilato e involucro termico	pag. 198
Figura 214 - Ponti termici da risolvere al fine di ottenere la certificazione	pag. 200
Figura 215 - Ponte termico di un oggetto risolto correttamente	pag. 201
Figura 216 - L'opera GRÜN completa e uno dei suoi 100 quadri	pag. 204

Figura 217 - Targhetta CasaClima A e A+	pag. 205
Figura 218 - Struttura dei corsi CasaClima	pag. 206
Figura 219 - Sviluppo dei sistemi costruttivi in legno	pag. 208
Figura 220 - Casa realizzata con il sistema a telaio portante	pag. 208
Figura 221 - Parete a telaio e lastre	pag. 209
Figura 222 - Case realizzate con il sistema a telaio e lastre	pag. 209
Figura 223 - Casa realizzata con il sistema a tavole impilate	pag. 210
Figura 224 - Pannello multistrato	pag. 210
Figura 225 - Edificio realizzato in pannello multistrato	pag. 211
Figura 226 - Pacchetto parete a telaio e lastre	pag. 212
Figura 227 - Pacchetto parete in pannello multistrato	pag. 212
Figura 228 - La massa termica nelle CasaClima in legno	pag. 213
Figura 229 - Impianto radiante a pavimento	pag. 213
Figura 230 - Il primo edificio MINERGIE-P, Dintikon (Svizzera)	pag. 214
Figura 231 - Funzionamento di una MINERGIE	pag. 221
Figura 232 - Lista di controllo dei ponti termici	pag. 222
Figura 233 - Eliminazione corretta dei ponti termici	pag. 222
Figura 234 - Distribuzione dell'aria a cascata	pag. 223
Figura 235 - Sistemi di produzione termica Tipo	pag. 224
Figura 236 - Aerazione naturale "automatica" attraverso le finestre	pag. 224
Figura 237 - Confronto tra gli standard MINERGIE e MINERGIE-P	pag. 225
Figura 238 - I proprietari di una casa con il certificato	pag. 226
Figura 239 - Lo standard MINERGIE-ECO in breve	pag. 227
Figura 240 - Localizzazione edifici certificati	pag. 230
Figura 241 - L'edificio Klas (standard passivhaus)	pag. 231

Figura 242 - CasaClima a Chienes (BZ) ed a Tromello (PV)	pag. 232
Figura 243 - Passivhaus a Chiusa (BZ) ed a Cherasco (CN)	pag. 232
Figura 244 - Il tetto verde dell'ex Palazzo delle poste (BZ)	pag. 233
Figura 245 - Uffici Rubner a Chienes (BZ)	pag. 234
Figura 246 - La Passivhaus di Cherasco e di Forlì	pag. 235
Figura 247 - Canali d'areazione dell'ex palazzo delle poste a Bolzano	pag. 235
Casa esposizione Heidi	
<i>Figura 248 - Vista da sud ovest</i>	<i>pag. 236</i>
<i>Figura 249 - Vista da sud</i>	<i>pag. 236</i>
<i>Figura 250 - Vista da nord ovest</i>	<i>pag. 236</i>
<i>Figura 251 - Pianta piano terra</i>	<i>pag. 236</i>
<i>Figura 252 - Camera da letto</i>	<i>pag. 237</i>
<i>Figura 253 - Vista interna</i>	<i>pag. 237</i>
<i>Figura 254 - Vista bagno</i>	<i>pag. 237</i>
<i>Figura 255 - Pianta piano primo</i>	<i>pag. 237</i>
<i>Figura 256 - Vista da est con in evidenza la struttura frangisole in larice</i>	<i>pag. 238</i>
<i>Figura 257 - Sezione trasversale</i>	<i>pag. 238</i>
<i>Figura 258 - Prospetto sud</i>	<i>pag. 239</i>
Villa Blasbichler	
<i>Figura 259 - Vista da est</i>	<i>pag. 240</i>
<i>Figura 260 - Vista da sud ovest</i>	<i>pag. 240</i>
<i>Figura 261 - Facciata principale</i>	<i>pag. 240</i>
<i>Figura 262 - Panorama osservato dalla serra solare</i>	<i>pag. 241</i>
<i>Figura 263 - Pianta piano primo</i>	<i>pag. 242</i>
<i>Figura 264 - Pianta piano terra</i>	<i>pag. 242</i>

Figura 265 - Collettori solari per la produzione dell'acqua calda pag. 243

Villa Novo

Figura 266 - Vista del fabbricato rurale (fronte nord) pag. 244

Figura 267 - Vista del fabbricato rurale (fronte strada) pag. 244

Figura 268 - Vista notturna dell'edificio (nord ovest) pag. 244

Figura 269 - Persiane chiusa pag. 245

Figura 270 - Veneziana chiusa pag. 245

Figura 271 - Veneziana aperta pag. 245

Figura 272 - Prospetto sud ovest pag. 245

Figura 273 - Pianta piano terra pag. 246

Figura 274 - Pianta piano primo pag. 246

Figura 275 - Isolamento parete pag. 247

Figura 276 - Isolamento tetto pag. 247

Figura 277 - Pianta piano interrato pag. 247

Figura 278 - Risoluzione del ponte termico tra terrazzo ed edificio pag. 248

Figura 279 - Vista della terrazza pag. 248

Figura 280 - Sezioni pag. 248

Figura 281 - Impianto di ventilazione (distribuzione verticale) pag. 249

Figura 282 - L'impianto di ventilazione (distribuzione orizzontale) pag. 249

Figura 283 - Schema dell'impianto di distribuzione dell'aria pag. 249

Dogana commerciale di Chiasso Brogeda

Figura 284 - Vista d'angolo pag. 250

Figura 285 - Visuale dall'interno pag. 250

Figura 286 - Facciata principale (vista da nord) pag. 250

Figura 287 - Particolare angolo pag. 251

<i>Figura 288 - Particolare fronte</i>	<i>pag. 251</i>
<i>Figura 289 - Particolare lastre</i>	<i>pag. 251</i>
<i>Figura 290 - Sezione trasversale con particolari costruttivi</i>	<i>pag. 252</i>
<i>Figura 291 - Pianta e sezione longitudinale</i>	<i>pag. 253</i>
Condominio IPES di Bronzolo	
<i>Figura 292 - Vista d'angolo</i>	<i>pag. 254</i>
<i>Figura 293 - Montaggio balconi</i>	<i>pag. 254</i>
<i>Figura 294 - Facciata principale (sud)</i>	<i>pag. 254</i>
<i>Figura 295 - Caldaia a pellets</i>	<i>pag. 255</i>
<i>Figura 296 - Sezione serramento</i>	<i>pag. 255</i>
<i>Figura 297 - Vista da nord</i>	<i>pag. 255</i>
<i>Figura 298 - Piante</i>	<i>pag. 256</i>
<i>Figura 299 - Modello di studio</i>	<i>pag. 257</i>
Uffici Rubner	
<i>Figura 300 - Vista d'angolo</i>	<i>pag. 258</i>
<i>Figura 301 - Finestre in aggetto</i>	<i>pag. 258</i>
<i>Figura 302 - Facciata principale</i>	<i>pag. 258</i>
<i>Figura 303 - Vista atrio</i>	<i>pag. 259</i>
<i>Figura 304 - Vista uffici P.1°</i>	<i>pag. 259</i>
<i>Figura 305 - Vista reception</i>	<i>pag. 259</i>
<i>Figura 306 - Prospetti</i>	<i>pag. 260</i>
<i>Figura 307 - Pianta piano terra</i>	<i>pag. 260</i>
<i>Figura 308 - Sezione longitudinale</i>	<i>pag. 260</i>
<i>Figura 309 - Vista generale</i>	<i>pag. 261</i>

Nuova sede della Provincia Autonoma di Bolzano

<i>Figura 310 - Lavori di demolizione</i>	<i>pag. 262</i>
<i>Figura 311 - Lavori di ampliamento</i>	<i>pag. 262</i>
<i>Figura 312 - L'ex palazzo delle poste nel 2004</i>	<i>pag. 262</i>
<i>Figura 313 - Realizzazione sguinci</i>	<i>pag. 263</i>
<i>Figura 314 - Realizzazione cappotto</i>	<i>pag. 263</i>
<i>Figura 315 - L'ex palazzo delle poste oggi</i>	<i>pag. 263</i>
<i>Figura 316 - Sezione dell'edificio con l'isolamento a cappotto</i>	<i>pag. 264</i>
<i>Figura 317 - Funzionamento degli sguinci esterni</i>	<i>pag. 264</i>
<i>Figura 318 - Disegno della facciata</i>	<i>pag. 265</i>
<i>Figura 319 - Schema dell'impianto di ventilazione</i>	<i>pag. 266</i>
<i>Figura 320 - Particolare delle condutture d'aerazione nei corridoi</i>	<i>pag. 266</i>
<i>Figura 321 - Vista corridoio interno</i>	<i>pag. 267</i>
<i>Figura 322 - Il convettore nella porta</i>	<i>pag. 267</i>
<i>Figura 323 - Pannelli fotovoltaici</i>	<i>pag. 267</i>
<i>Figura 324 - La vecchia pianta dell'edificio e la nuova</i>	<i>pag. 267</i>

Sede ASSA

<i>Figura 325 - Pianta del piano primo</i>	<i>pag. 268</i>
<i>Figura 326 - Prospetto sud del progetto originale</i>	<i>pag. 268</i>
<i>Figura 327 - Fronte ovest</i>	<i>pag. 269</i>
<i>Figura 328 - Fronte sud</i>	<i>pag. 269</i>
<i>Figura 329 - Fronte sud-est</i>	<i>pag. 269</i>
<i>Figura 330 - Prospetto sud definitivo</i>	<i>pag. 269</i>
<i>Figura 331 - Sezione trasversale</i>	<i>pag. 270</i>
<i>Figura 332 - Sezione longitudinale</i>	<i>pag. 271</i>

<i>Figura 333 - Modello tridimensionale</i>	<i>pag. 272</i>
<i>Figura 334 - Impianto fotovoltaico</i>	<i>pag. 273</i>
<i>Figura 335 - Unità esterna dell'impianto di condizionamento</i>	<i>pag. 273</i>
<i>Figura 336 - Vista da via dei Conciatori</i>	<i>pag. 273</i>
Villa Ciani	
<i>Figura 337 - Giunto sismico da 8 cm</i>	<i>pag. 274</i>
<i>Figura 338 - Costruzione portafinestra</i>	<i>pag. 274</i>
<i>Figura 339 - Facciata principale (est)</i>	<i>pag. 274</i>
<i>Figura 340 - Passerella finita con canali d'aerazione all'interno</i>	<i>pag. 275</i>
<i>Figura 341 - Costruzione passerella e scala a sbalzo</i>	<i>pag. 275</i>
<i>Figura 342 - Fronte ovest</i>	<i>pag. 275</i>
<i>Figura 343 - Angolo cottura con piano ad induzione</i>	<i>pag. 276</i>
<i>Figura 344 - Soggiorno con camino a tenuta d'aria</i>	<i>pag. 276</i>
<i>Figura 345 - Sezione dell'edificio, pianta del piano terra e del piano primo</i>	<i>pag. 277</i>
Villa Canellini	
<i>Figura 346 - Vista dell'intercapedine</i>	<i>pag. 278</i>
<i>Figura 347 - Fibra di cellulosa</i>	<i>pag. 278</i>
<i>Figura 348 - Vista generale (fronte sud)</i>	<i>pag. 278</i>
<i>Figura 349 - Sistemi schermati su struttura autoportante</i>	<i>pag. 279</i>
<i>Figura 350 - Particolare serramento</i>	<i>pag. 279</i>
<i>Figura 351 - Modello tridimensionale</i>	<i>pag. 279</i>
<i>Figura 352 - Pianta piano primo</i>	<i>pag. 280</i>
<i>Figura 353 - Pianta piano terra</i>	<i>pag. 280</i>
<i>Figura 354 - Sezione e modello di studio</i>	<i>pag. 281</i>
<i>Figura 355 - Realizzazione della platea aerata in cemento armato</i>	<i>pag. 282</i>

<i>Figura 356 - Costruzione intelaiatura a secco</i>	<i>pag. 282</i>
<i>Figura 357 - Tamponamento a secco</i>	<i>pag. 282</i>
<i>Figura 358 - Telo per la tenuta al vento</i>	<i>pag. 283</i>
<i>Figura 359 - Controparete interna</i>	<i>pag. 283</i>
<i>Figura 360 - Rasatura e vista d'insieme</i>	<i>pag. 283</i>
Figura 361 - Il Comune di Vigevano con evidenziata l'area di progetto	pag. 284
Figura 362 - Planivolumetrico illustrativo del piano di lottizzazione	pag. 285
Figura 363 - L'area di progetto nel piano di lottizzazione	pag. 285
Figura 364 - Localizzazione degli edifici nell'area di progetto	pag. 290
Figura 365 - Rapporto tra l'area di progetto e la città	pag. 291
Figura 366 - Suddivisione dei tipi di intervento	pag. 292
Figura 367 - Verifiche associate al tipo di intervento	pag. 292
Figura 368 - Classificazione termica delle pareti	pag. 295
Figura 369 - Cartina italiana delle zone climatiche	pag. 296
Figura 370 - Visualizzazione della conduttività termica	pag. 299
Figura 371 - Stratigrafia di una parete semplice	pag. 303
Figura 372 - Stratigrafia di una parete composta	pag. 304
Figura 373 - Stratigrafia di un tetto composto	pag. 305
Figura 374 - Stratigrafia di una solaio con isolamento a cuneo	pag. 306
Figura 375 - Diagramma per superfici cuneiformi 1	pag. 306
Figura 376 - Diagramma per superfici cuneiformi 2	pag. 307
Figura 377 - Diagramma per superfici cuneiformi 3	pag. 307
Figura 378 - Visualizzazione dei dati per il calcolo della trasmittanza di una finestra	pag. 308
Figura 379 - Villa Montemiele	pag. 310
Figura 380 - Bifamiliare 1: fronte sud	pag. 311

Figura 381 - Bifamiliare 1: fronte est	pag. 311
Figura 382 - Bifamiliare 1: fronte nord	pag. 311
Figura 383 - Bifamiliare 1: pianta P.1	pag. 312
Figura 384 - Bifamiliare 1: pianta P.T	pag. 312
Figura 385 - Bifamiliare 1: pianta interrato	pag. 313
Figura 386 - Bifamiliare 1: pianta copertura	pag. 314
Figura 387 - Bifamiliare 1: sezione B-B	pag. 315
Figura 388 - Bifamiliare 1: sezione A-A	pag. 315
Figura 389 - Bifamiliare 1: bilancio energetico	pag. 318
Figura 390 - Bifamiliare 1: quadro riassuntivo	pag. 319
Figura 391 - Edificio 2 quartiere Gneiss Moss	pag. 320
Figura 392 - Bifamiliare 2: fronte sud	pag. 320
Figura 393 - Bifamiliare 2: fronte nord	pag. 320
Figura 394 - Bifamiliare 2: fronte est	pag. 321
Figura 395 - Bifamiliare 2: pianta P.1	pag. 321
Figura 396 - Bifamiliare 2: pianta P.T.	pag. 321
Figura 397 - Bifamiliare 2: sezione A-A	pag. 322
Figura 398 - Bifamiliare 2: bilancio energetico	pag. 322
Figura 399 - Bifamiliare 2: quadro riassuntivo	pag. 323
Figura 400 - Bifamiliari: dettaglio particolari costruttivi	pag. 327
Figura 401 - Particolari costruttivi delle bifamiliari 1 e 3	pag. 328
Figura 402 - Bifamiliare 3: quadro riassuntivo	pag. 329
Figura 403 - Bifamiliare 4: pianta P.1	pag. 330
Figura 404 - Bifamiliare 4: pianta P.T	pag. 331
Figura 405 - Bifamiliare 4: pianta interrato	pag. 331

Figura 406 - Bifamiliare 4: quadro riassuntivo	pag. 334
Figura 407 - Bifamiliare 4: bilancio energetico estivo	pag. 335
Figura 408 - Bifamiliare 4: bilancio energetico invernale	pag. 335
Figura 409 - Bifamiliare 5: sezione A-A	pag. 338
Figura 410 - Bifamiliare 5: particolari costruttivi	pag. 339
Figura 411 - Bifamiliare 5: bilancio energetico estivo	pag. 340
Figura 412 - Bifamiliare 5: bilancio energetico invernale	pag. 340
Figura 413 - Bifamiliare 5: quadro riassuntivo	pag. 341
Figura 414 - Bifamiliare 6: quadro riassuntivo	pag. 343
Figura 415 - Bifamiliare 1: involucro termico P.T.	pag. 344
Figura 416 - Bifamiliare 1: involucro termico sezione A-A	pag. 344
Figura 417 - Bifamiliare 1: grafico del fabbisogno energetico	pag. 345
Figura 418 - Bifamiliare 2: involucro termico P.T.	pag. 345
Figura 419 - Bifamiliare 2: involucro termico sezione A-A	pag. 346
Figura 420 - Bifamiliare 2: grafico del fabbisogno energetico	pag. 346
Figura 421 - Bifamiliare 3: involucro termico P.T.	pag. 347
Figura 422 - Bifamiliare 3: involucro termico sezione A-A	pag. 347
Figura 423 - Bifamiliare 3: grafico del fabbisogno energetico	pag. 348
Figura 424 - Bifamiliari 4 e 6: involucro termico P.T.	pag. 348
Figura 425 - Bifamiliari 4 e 6: involucro termico sezione A-A	pag. 349
Figura 426 - Bifamiliari 4 e 6: grafico del fabbisogno energetico	pag. 349
Figura 427 - Bifamiliare 5: involucro termico P.T.	pag. 350
Figura 428 - Bifamiliare 5: involucro termico sezione A-A	pag. 350
Figura 429 - Bifamiliare 5: grafico del fabbisogno energetico	pag. 351
Figura 430 - Villa singola 1: fronte est	pag. 352

Figura 431 - Villa singola 1: fronte ovest	pag. 352
Figura 432 - Villa singola 1: fronte sud	pag. 352
Figura 433 - Villa singola 1: fronte nord	pag. 353
Figura 434 - Villa singola 1: pianta copertura	pag. 353
Figura 435 - Villa singola 1: pianta P.1	pag. 354
Figura 436 - Villa singola 1: pianta P.T.	pag. 354
Figura 437 - Villa singola 1: pianta interrato	pag. 355
Figura 438 - Villa singola 1: sezione B-B	pag. 355
Figura 439 - Villa singola 1: sezione A-A	pag. 356
Figura 440 - Villa singola 1: bilancio energetico	pag. 358
Figura 441 - Villa singola 1: quadro riassuntivo	pag. 359
Figura 442 - Villa singola 2: sezione A-A	pag. 362
Figura 443 - particolari costruttivi delle ville singole 1 e 2	pag. 363
Figura 444 - Villa singola 2: quadro riassuntivo	pag. 364
Figura 445 - Villa singola 3: bilancio energetico estivo	pag. 365
Figura 446 - Villa singola 3: bilancio energetico invernale	pag. 365
Figura 447 - Villa singola 3: quadro riassuntivo	pag. 368
Figura 448 - Villa singola 4: quadro riassuntivo	pag. 371
Figura 449 - Villa singola 5: fronte sud	pag. 372
Figura 450 - Villa singola 5: quadro riassuntivo	pag. 373
Figura 451 - Villa singola 1: involucro termico P.T.	pag. 374
Figura 452 - Villa singola 1: involucro termico sezione A-A	pag. 374
Figura 453 - Villa singola 1: grafico del fabbisogno energetico	pag. 375
Figura 454 - Villa singola 2: involucro termico P.T.	pag. 375
Figura 455 - Villa singola 2: involucro termico sezione A-A	pag. 376

Figura 456 - Villa singola 2: grafico del fabbisogno energetico	pag. 376
Figura 457 - Ville singole 3 e 5: involucro termico P.T.	pag. 377
Figura 458 - Ville singole 3 e 5: involucro termico sezione A-A	pag. 377
Figura 459 - Ville singole 3 e 5: grafico del fabbisogno energetico	pag. 378
Figura 460 - Villa singola 4: involucro termico P.T.	pag. 378
Figura 461 - Villa singola 4: involucro termico sezione A-A	pag. 379
Figura 462 - Villa singola 4: grafico del fabbisogno energetico	pag. 379
Figura 463 - Palazzina: fronti est ed ovest	pag. 380
Figura 464 - Palazzina: fronte sud	pag. 381
Figura 465 - Palazzina: fronte nord	pag. 381
Figura 466 - Palazzina: pianta interrato	pag. 382
Figura 467 - Palazzina: pianta P.T.	pag. 382
Figura 468 - Palazzina: piante P.1 e P.2	pag. 383
Figura 469 - Palazzina: pianta terrazzo	pag. 383
Figura 470 - Palazzina: sezione B-B	pag. 384
Figura 471 - Palazzina: sezione A-A	pag. 385
Figura 472 - Palazzina: sezione C-C	pag. 387
Figura 473 - Palazzina: bilancio energetico estivo	pag. 389
Figura 474 - Palazzina: bilancio energetico invernale	pag. 389
Figura 475 - Palazzina: quadro riassuntivo	pag. 390
Figura 476 - Vista generale dell'area di progetto	pag. 391
Figura 477 - Calcolo della S.U.L degli edifici di progetto	pag. 393
Figura 478 - Abaco serramenti della villa singola n.1	pag. 395
Figura 479 - Serramenti certificati CasaClima "Genius Plus"	pag. 397
Figura 480 - Depliant dei blocchi Clima Plus Ytong	pag. 399

Figura 481 - Serramenti certificati Passivhaus “Activa”	pag. 400
Figura 482 - Abaco serramenti della bifamiliare n.1	pag. 403
Figura 483 - Serramenti certificati CasaClima “Genius”	pag. 405
Figura 484 - Edificio anni '60: fronte nord	pag. 423
Figura 485 - Edificio anni '60: fronte sud	pag. 423
Figura 486 - Edificio anni '60: fronte ovest	pag. 423
Figura 487 - Edificio anni '60: piano rialzato	pag. 424
Figura 488 - Edificio anni '60: piano seminterrato	pag. 425
Figura 489 - Edificio anni '60: sezione A-A	pag. 426
Figura 490 - Edificio anni '60: sezione B-B	pag. 427
Figura 491 - Edificio anni '60: bilancio energetico estivo	pag. 427
Figura 492 - Edificio anni '60: bilancio energetico invernale	pag. 428
Figura 493 - Edificio anni '60: quadro riassuntivo	pag. 428
Figura 494 - Edificio anni '60 riqualificato: fronte nord	pag. 429
Figura 495 - Edificio anni '60 riqualificato: fronte sud	pag. 429
Figura 496 - Edificio anni '60 riqualificato: fronte ovest	pag. 430
Figura 497 - Edificio anni '60 riqualificato: fronte est	pag. 430
Figura 498 - Edificio anni '60 riqualificato: piano mansarda	pag. 431
Figura 499 - Edificio anni '60 riqualificato: sezione B-B	pag. 432
Figura 500 - Edificio anni '60 riqualificato: bilancio energetico invernale	pag. 433
Figura 501 - Edificio anni '60 riqualificato: bilancio energetico estivo	pag. 433
Figura 502 - Edificio anni '60 riqualificato: quadro riassuntivo edificio esistente	pag. 434
Figura 503 - Edificio anni '60 riqualificato: quadro riassuntivo mansarda	pag. 434

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - allegata al decreto DPR n.551/99	pag. 33
Tabella 2 - Il bilancio energetico annuale di un edificio	pag. 36
Tabella 3 - Fattori di emissione per il calcolo della quantità di CO _{2eq}	pag. 45
Tabella 4 - Condizioni di benessere in ambiente con attività sedentarie	pag. 59
Tabella 5 - Livelli di prestazione DPCM 5/12/97	pag. 66
Tabella 6 - Requisiti acustici passivi degli edifici DPCM 5/12/97	pag. 66
Tabella 7 - Radiazione percentuale incidente su piani diversamente orientati	pag. 77
Tabella 8 - Caratteristiche di alcuni materiali utilizzati per l'accumulo termico	pag. 90
Tabella 9 - Sistemi per il riscaldamento solare passivo	pag. 99
Tabella 10 - Dimensionamento collettori solari termici	pag. 116
Tabella 11 - Capacità produttiva di un impianto fotovoltaico	pag. 126
Tabella 12 - Tipologie di utilizzo delle pompe di calore	pag. 131
Tabella 13 - Quadro riassuntivo dei progetti Cepheus	pag. 162
Tabella 14 - Requisiti per la certificazione di una passivhaus in Europa centrale	pag. 164
Tabella 15 - Criteri per il conseguimento dello standard "passivhaus"	pag. 167
Tabella 16 - Esempi di pareti e solai per "passivhaus"	pag. 174
Tabella 17 - Valori U indicativi per lo standard CasaClima	pag. 198
Tabella 18 - Classificazione delle soluzioni termotecniche	pag. 203
Tabella 19 - Valori limiti di fabbisogno energetico (requisito primario)	pag. 216
Tabella 20 - Fattori di ponderazione	pag. 217
Tabella 21 - Grado di rendimento di alcuni impianti	pag. 218
Tabella 22 - Valori limiti dell'indice energetico ponderato MINERGIE	pag. 219
Tabella 23 - Valori limite dell'indice energetico ponderato MINERGIE-P	pag. 220
Tabella 24 - Involucro di un edificio norma SIA 380/1	pag. 221

Tabella 25 - Quantificazione economica delle soluzioni bioclimatiche	pag. 229
Tabella 26 - Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali	pag. 293
Tabella 27 - Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate	pag. 293
Tabella 28 - Trasmittanza termica U delle chiusure trasparenti	pag. 294
Tabella 29 - Trasmittanza termica U delle pareti divisorie	pag. 295
Tabella 30 - Trasmittanza termica U delle pareti esterne di ambienti non riscaldati	pag. 295
Tabella 31 - Valori limite di EPi per edifici residenziali	pag. 297
Tabella 32 - Valori limite di EPi per altre categorie di edifici	pag. 297
Tabella 33 - Tabella delle resistenze termiche superficiali	pag. 301
Tabella 34 - Tabella delle resistenze termiche delle intercapedini d'aria	pag. 302
Tabella 35 - Extra costi delle ville singole a confronto	pag. 402
Tabella 36 - Extra costi delle bifamiliari a confronto	pag. 409
Tabella 37 - Tariffa Enel Monoraria D2 con prezzi dal 1 gennaio 2010	pag. 411
Tabella 38 - Tariffa A.S.M. del gas metano con prezzi dal 1 gennaio 2010	pag. 411
Tabella 39 - Spese di riscaldamento delle bifamiliari	pag. 413
Tabella 40 - Spese di riscaldamento delle ville singole	pag. 414
Tabella 41 - Spese di riscaldamento degli edifici anni '90	pag. 414
Tabella 42 - Spese di riscaldamento delle bifamiliari dal 2010 al 2019	pag. 416
Tabella 43 - Spese di riscaldamento delle ville singole dal 2010 al 2019	pag. 416
Tabella 44 - Tempi di ammortamento degli extra costi delle ville singole	pag. 417
Tabella 45 - Tempi di ammortamento degli extra costi delle bifamiliari	pag. 418
Tabella 46 - Emissioni di CO ₂ nell'atmosfera	pag. 419
Tabella 47 - Patrimonio italiano dell'edilizia abitativa	pag. 422

INDICE DELLE TAVOLE

- 1) Tavola 001: Inquadramento dell'area di progetto nella città di Vigevano
- 2) Tavola 002: Inquadramento e lottizzazione dell'area di progetto
- 3) Tavola 003: Calcolo della Superficie Utile Lorda degli edifici progettati
- 4) Tavola 004: Bifamiliare 1
- 5) Tavola 005: Bifamiliare 2
- 6) Tavola 006: Bifamiliare 3
- 7) Tavola 007: Bifamiliare 4
- 8) Tavola 008: Bifamiliare 5
- 9) Tavola 009: Bifamiliare 6
- 10) Tavola 010: Monofamiliare 1
- 11) Tavola 011: Monofamiliare 2
- 12) Tavola 012: Monofamiliare 3
- 13) Tavola 013: Monofamiliare 4
- 14) Tavola 014: Monofamiliare 5
- 15) Tavola 015: Palazzina
- 16) Tavola 016: Particolari costruttivi degli edifici bifamiliari
- 17) Tavola 017: Particolari costruttivi degli edifici monofamiliari
- 18) Tavola 018: Particolari costruttivi della palazzina
- 19) Tavola 019: Confronto e analisi delle bifamiliari
- 20) Tavola 020: Confronto e analisi delle ville singole
- 21) Tavola 021: Tavola riassuntiva degli edifici progettati
- 22) Tavola 022: Rilievo e analisi energetica di edificio anni '60
- 23) Tavola 023: Riqualificazione ed ampliamento edificio anni '60

ABSTRACT

La tesi, divisa in quattro parti, indaga gli edifici a risparmio energetico certificati negli standard CasaClima, Minergie e Passivhaus, al fine di verificarne la loro praticabilità sul territorio italiano. Nella prima fase è stata effettuata una ricerca generale sugli edifici a risparmio energetico, sulla loro storia, sulla loro evoluzione, sull'edilizia bioclimatica e sulla normativa che per loro è nata e si è sviluppata, sugli edifici realizzati più significativi e sugli argomenti per il quale questi edifici sono stati pensati e per il quale si sono evoluti: il costo dei combustibili, la questione ambientale ed il comfort degli ambienti interni. Nella seconda parte sono stati analizzati gli standard energetici esistenti per la realizzazione degli edifici a risparmio energetico, ovvero lo standard tedesco Passivhaus, lo svizzero Minergie e l'italiano CasaClima. Si tratta di standard "normati" da istituti, associazioni e agenzie che impongono precisi protocolli per la progettazione, che ne seguono la realizzazione e ne certificano la qualità. Sono stati quindi analizzati alcuni edifici realizzati e certificati in questi standard in Italia. Nella terza parte si è proceduto alla progettazione di un area all'interno di un Piano di lottizzazione, in cui sono state inserite tre tipologie di edifici, due dei quali realizzati prima a "norma di legge" e successivamente nei vari standard energetici. In questo modo si è potuto localizzare questi standard in Italia, nello specifico in Lombardia nella città di Vigevano, confrontarli e verificarne l'interazione con la normativa italiana, regionale e locale. Nella quarta parte si è proceduto all'analisi ed al confronto degli edifici progettati al fine di calcolarne gli extra costi ed i loro tempi di ammortamento, valutarne le prestazioni energetiche, l'inquinamento prodotto ed il comfort interno, per stabilire se conviene o meno realizzare un edificio nei tre standard analizzati.

PREMESSA

“Quanto consuma la tua casa? La mia 5 litri al m² l’anno e la tua? 7 litri, ma è niente rispetto a quella del mio vicino che ne consuma ben 16”.

Questa immaginaria conversazione, che fino a qualche anno fa era impossibile, è oggi frequente nei dialoghi degli italiani, o almeno in quelli dell’Alto Adige, e tutto questo grazie al lavoro svolto negli ultimi otto anni dell’Agenzia CasaClima di Bolzano, che ha fatto conoscere e diffondere le case a basso consumo energetico. Quello che però non tutti sanno, è che di risparmio energetico negli edifici si è cominciato a parlare già dagli anni ’70, dopo la guerra del Kippur e le famose domeniche a piedi degli italiani, con studi che sono proseguiti fino ai giorni nostri, anche se non più motivati dal rischio dell’esaurimento dei pozzi di petrolio, ma da preoccupazioni legate all’inquinamento ambientale ed alle problematiche dei cambiamenti climatici ad esso connessi.

Nel 1992 l'ENEA pubblicò un volume intitolato "Edifici bioclimatici in Italia"¹ in cui furono riportati 151 esempi di edifici solari passivi, ovvero, edifici che sfruttano l'energia solare in maniera passiva per il riscaldamento. Da allora sono passati diciotto anni, e nel frattempo il termine "edificio passivo" è diventato, almeno nell'Europa centrale, un preciso standard energetico conosciuto col nome di “passivhaus” e che indica un edificio caratterizzato da un fabbisogno termico inferiore ai 15 kWh/m²a (o case da 1,5 litri per dirla in altoatesino).

Questo basso fabbisogno termico consente di riscaldare una casa esclusivamente con energie rinnovabili, senza l'ausilio di un impianto convenzionale di riscaldamento e senza diminuire il comfort abitativo. Per questo motivo gli edifici passivi non godono solo dell'interesse della politica energetica ed ambientale, ma anche di quello degli abitanti che devono pagare bollette meno salate. Per arrivare a questi risultati, nell'Europa Centrale, un edificio passivo tipo necessita di un isolamento termico dell'involucro molto buono, di un impianto di ventilazione

¹ Edifici bioclimatici in Italia, 151 edifici solari passivi - Roma 1992.

meccanica con recupero di calore e di finestre con triplo vetro dotate di telai coibentati. Quello che rimane da appurare è se lo standard “passivhaus” è esportabile in un paese dal clima variegato come l’Italia. Di seguito, attraverso un’analisi degli standard Passivhaus, Minergie e CasaClima; una disamina degli edifici certificati e realizzati in questi standard in Italia, cercheremo di capire se: “Tra i sistemi costruttivi in grado di garantire un significativo risparmio energetico ed un’importante contrazione dei consumi e delle risorse naturali, lo standard “Passivhaus” è per l’Italia il modello da seguire”.

LA QUESTIONE CLIMATICA

1.1 L'ONU e la protezione del clima

L'aumento della concentrazione nell'atmosfera terrestre dei gas serra, trasparenti alla radiazione solare alle basse lunghezze d'onda, ma opachi alla radiazione di ritorno ritrasmessa dalla terra verso lo spazio, determina l'accentuazione di un fenomeno noto come effetto serra, causa dell'aumento della temperatura terrestre. Questo fenomeno, naturale e benefico, impedisce la dispersione del calore fornito dal sole, innalzando la temperatura media del nostro pianeta da -18°C a 15°C . Si tratta quindi di un importante fenomeno naturale perché rende possibile la vita sulla terra, ma che accentuato dalle attività umane, ha portato nel solo XX secolo ad un innalzamento della temperatura media del nostro pianeta di altri $0,76^{\circ}\text{C}$, con conseguenze negative sull'ecologia, sul clima e sulla produzione alimentare. I primi gas ad essere immessi nell'atmosfera furono quelli dell'industria pesante che, a causa della tecnologia rudimentale utilizzata nelle fabbriche, ha inquinato l'aria delle città tanto da oscurare il cielo e togliere il respiro ai suoi abitanti. Per rimediare ai notevoli danni alla salute si sono costruiti camini sempre più alti e sistemi di filtrazione sempre più sofisticati consentendo di ridurre notevolmente i rischi ambientali. Dalla seconda metà del '900, si è aggiunto quello causato dalle automobili, divenuto la principale fonte d'inquinamento atmosferico. Il numero di automobili è aumentato a livelli tali da costringere intere città a dichiarare l'allarme anti smog ed a prendere provvedimenti come i blocchi programmati del traffico e la circolazione a targhe alterne, il tutto nonostante i notevoli passi in avanti compiuti dall'industria automobilistica nella produzione di auto sempre meno inquinanti. A dare un ulteriore contributo all'immissione di gas serra nell'atmosfera, hanno provveduto i sistemi di riscaldamento e condizionamento degli uffici e delle abitazioni, che dal 1970 a oggi hanno progressivamente aumentato la quantità di gas immessi nell'atmosfera, diventando, dopo

traffico e industria, il terzo settore causa di inquinamento. Furono però le prove che i clorofluorocarburi (i famosi gas CFC²) stavano distruggendo l'ozono atmosferico a mobilitare la comunità scientifica internazionale. Si cominciò a parlare di “buco nell'ozono” e la sfida ambientale cambiò dimensione, da problema locale divenne problema planetario, tanto che l'ONU riunì i capi di stato di tutto il mondo alla ricerca di una soluzione comune. Fu così che nel 1987 si giunse alla firma del protocollo di Montreal³, un trattato internazionale volto a ridurre la quantità di sostanze che minacciano lo strato di ozono presente nell'atmosfera. L'applicazione dei provvedimenti concordati nel protocollo internazionale ha consentito di ridurre efficacemente le emissioni di gas CFC, riduzione favorita dal fatto che la produzione di questi gas era concentrata nelle mani di poche aziende, che in tempi rapidissimi furono in grado di mettere in commercio prodotti alternativi e meno dannosi. Per la prima volta nella storia, l'umanità si trovò confrontata ad una situazione di pericolo a livello planetario, e capì l'importanza di questo strato molto sottile di gas che avvolge la terra.



Figura 1 - *La Terra protetta dalla sua atmosfera* -fonte NASA

² Famiglia di gas derivati dal metano e dall'etano per sostituzione degli atomi di idrogeno con atomi di alogeni (cloro, fluoro, bromo). Chimicamente questo tipo di composti appartengono alla famiglia degli alogenuri alchilici.

³ Firmato il 16 settembre 1987, entrato in vigore il 1° gennaio 1989 e sottoposto alle revisioni del 1990 (Londra), 1992 (Copenaghen), 1995 (Vienna), 1997 (Montreal) e 1999 (Pechino).

La questione dei cambiamenti climatici diventò un tema della politica mondiale e nel 1988 l'ONU istituì l'Intergovernmental Panel on Climate Change⁴ (foro intergovernativo sul mutamento climatico, IPCC) al fine di studiare il fenomeno del surriscaldamento globale. Nel suo primo rapporto pubblicato nel 1990 l'IPCC mise in evidenza gli effetti che i gas clima alteranti producono sull'atmosfera, indipendentemente dal luogo in cui questi vengono emessi, ed in particolare gli effetti dell'anidride carbonica, il più importante tra i gas clima alteranti, rilasciata da ogni processo di combustione del petrolio, del carbone e del gas naturale. Queste fonti energetiche sono attualmente la principale fonte di energia del pianeta ed in particolar modo dei paesi industrializzati. L'utilizzo diffuso di queste fonti rende difficile l'attuazione di efficaci provvedimenti a livello internazionale e ad oggi la loro sostituzione con fonti energetiche alternative non sembra essere di facile attuazione. Nel 1992, in occasione della conferenza di Rio de Janeiro⁵ (primo vertice mondiale sul clima), la comunità internazionale si accordò su una prima convenzione internazionale per la protezione del clima, ricca di buone intenzioni, ma incapace di mettere in moto un meccanismo di riduzione delle emissioni di anidride carbonica. Ci vollero altri cinque anni per arrivare all'approvazione del protocollo di Kyoto⁶ (1997) ed altri 8 anni per la sua entrata in vigore. E' infatti solo dal febbraio 2005, con la ratifica di detto protocollo da parte della Russia che si può parlare di una norma internazionale sulla protezione del clima⁷.

⁴ Foro scientifico formato nel 1988 da due organismi delle Nazioni Unite, la World Meteorological Organization (WMO) e l'United Nations Environment Programme (UNEP) allo scopo di studiare il riscaldamento globale. Nel 2007 il comitato ha vinto il premio Nobel per la pace (in data 12 ottobre).

⁵ Meglio nota come Eco '92. Vi parteciparono 172 governi e 2.400 rappresentanti di organizzazioni non governative.

⁶ Trattato internazionale in materia ambientale riguardante il riscaldamento globale sottoscritto nella città giapponese di Kyoto l'11 dicembre 1997 da più di 160 paesi in occasione della Conferenza COP3 della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC).

⁷ Il trattato prevede l'obbligo per i paesi industrializzati di operare una riduzione delle emissioni di biossido di carbonio ed altri cinque gas serra (metano, ossido di azoto, idrofluorocarburi, perfluorocarburi ed esafluoruro di zolfo) in una misura non inferiore al 5% rispetto alle emissioni registrate nel 1990 entro il 2012.

1.2 I danni ambientali provocati dell'uomo

Nel 1995 e nel 2001, furono pubblicati altri due rapporti dell'IPCC che misero in evidenza i danni ambientali provocati dal surriscaldamento globale. Secondo i rapporti, dal 1960 al 2001 gli oceani si sono riscaldati fino ad una profondità di 3000 metri, assorbendo l'80 % circa del calore causato dal surriscaldamento globale, con un aumento del livello medio dei mari di circa 17 centimetri. Aumento non ancora concluso, dato che lo scioglimento dei ghiacci dell'Antartide e della Groenlandia produce un ulteriore aumento del livello dei mari. Sempre secondo il rapporto, dal 1980 al 2001, le temperature della parte più superficiale dei terreni del circolo polare artico sono aumentate da 1°C a 2°C. Gli inverni polari sono più brevi e meno freddi, i ghiacci si sciolgono e gli orsi polari trovano la morte perché i percorsi di caccia cedono a causa del ridotto spessore e della conseguente fragilità del ghiaccio. Si stanno sciogliendo le nevi perenni ed i ghiacciai di alta montagna si stanno ritirando sia nell'emisfero settentrionale che in quello meridionale (nelle Alpi è già scomparsa la metà dei giganti bianchi). La zona del Sahel, l'Africa meridionale ed alcune parti dell'Asia sono colpite da una sempre maggiore siccità. Nelle zone orientali del Nord e del Sud America, così come nel nord dell'Europa e nell'Asia centrale si registra un aumento significativo delle precipitazioni. Aumentano le tempeste tropicali nell'Atlantico settentrionale ed anche le temperature dei mari tropicali e del mar Mediterraneo. Nel Mozambico e nello Zambia le inondazioni distruggono sempre più frequentemente le coltivazioni, mentre in Australia ed in Sudafrica è la siccità a causare gravi danni ai raccolti. Nelle regioni meridionali dell'India le piogge torrenziali dei monsoni spazzano via il terreno fertile. Anche i contadini di alcune parti del Sud America non possono più fare affidamento sui ritmi naturali delle stagioni.

Dal quarto rapporto IPCC sullo stato del clima⁸, emerge che l'umanità sta agendo sul clima terrestre in modo ancora più veloce e pesante di quanto finora ipotizzato. Gli anni tra il 1995

⁸ Presentato a Parigi il 2 febbraio 2007.

ed il 2006 sono tra gli anni più caldi da quando sono iniziate le registrazioni delle temperature (1850) e la temperatura media registrata nella seconda metà del 20° secolo nell'emisfero settentrionale è maggiore di un qualsiasi altro cinquantennio degli ultimi 500 anni. Se l'emissione di gas clima alteranti non si ridurrà almeno della metà, rispetto ai livelli del 1990 entro il 2050, il riscaldamento terrestre metterà in moto meccanismi irreversibili.



Figura 2 - L'orso polare, prima vittima del surriscaldamento - fonte WWF

1.3 Il rapporto IPCC sugli scenari futuri

Secondo il rapporto IPCC, i combustibili fossili domineranno sull'insieme delle fonti energetiche fino al 2030 e questo perché, tra l'emissione dei gas clima alteranti ed il manifestarsi delle conseguenze prodotte, vi è un lasso di tempo di alcuni decenni. Pertanto, non avvertendo effetti immediati, le persone sono poco sensibili alle effettive conseguenze delle emissioni di gas serra. Eppure se non si riesce a mantenere l'aumento della temperatura media terrestre al di sotto dei 2°C, sarà messa in serio pericolo la vita di milioni di persone. Le conseguenze saranno la fame, le malattie, le inondazioni e la siccità. Le mutazioni

climatiche avranno conseguenze catastrofiche sia per gli uomini che per l'ecosistema terrestre. Sei sono gli scenari possibili elaborati dall'IPCC per il futuro. Nell'ipotesi più vantaggiosa, tra il 1990 ed il 2100 la temperatura media aumenterà di 1,8°C (tra 1,1°C e 2,9°C) rispetto al periodo 1980-1999, nel peggiore degli scenari l'aumento previsto è pari a 4°C (tra 2,4°C e 6,4°C). Basandosi su considerazioni di carattere temporale e sulle caratteristiche fisiche dei fenomeni climatici, gli scienziati affermano la necessità di bloccare l'aumento delle emissioni di anidride carbonica entro i prossimi quindici anni. Solo così sarà possibile mantenere la quantità di gas clima alteranti in atmosfera ad una concentrazione di anidride carbonica equivalente tra i 445 ed i 490 ppm⁹. L'aumento della temperatura media terrestre potrà così stabilizzarsi su valori compresi tra i 2,0°C ed i 2,4°C rispetto alla temperatura dell'era preindustriale. Entro il 2050 le emissioni di gas serra dovranno essere ridotte del 60%. Nello scenario in cui viene ipotizzata una stabilizzazione della concentrazione atmosferica su valori tra i 535 ed i 590 ppm di anidride carbonica equivalente, la temperatura media terrestre aumenterebbe tra i 2,8°C ed i 3,2°C. Nello scenario che ipotizza la concentrazione di anidride carbonica pari a 720 ppm, la temperatura aumenterebbe tra i 3,2°C ed i 4,0°C. In entrambe gli scenari si avrebbe il superamento della temperatura critica per i ghiacci della Groenlandia (l'aumento di temperatura nelle regioni nordiche è superiore alla media globale) con notevoli conseguenze sull'aumento del livello dei mari. Gli studi indicano anche che i valori di temperatura sopracitati potrebbero risultare sottostimati se si considerassero i possibili meccanismi a catena nel ciclo del carbonio e nel sistema climatico. Gli scenari variano tra un ipotesi di aumento di anidride carbonica del 25% ed una del 90% rispetto all'anno di riferimento 2000. L'aumento potrebbe raggiungere addirittura il 270% fino al 2100 se crescono le emissioni di anidride carbonica dei paesi in via di sviluppo. In quest'ultimo scenario infatti, le emissioni pro capite di anidride carbonica di tali paesi

⁹ Parti per milione.

saranno tra le 2,8 e 5,1 tonnellate contro le 9,6 e le 15,1 tonnellate di anidride carbonica pro capite prodotte dai paesi industrializzati. Per far avverare il più vantaggioso tra gli scenari e mantenere l'aumento della temperatura media terrestre al di sotto dei 2°C, a medio termine l'emissione pro capite di anidride carbonica dovrà arrivare al massimo a due tonnellate l'anno e nel lungo termine dovrà scendere ad una sola tonnellata.

1.4 L'obiettivo di una tonnellata di CO₂ a persona

Secondo l'IPCC le questioni che ognuno di noi deve porsi sono: quanta anidride carbonica può essere immessa nell'atmosfera ogni anno per ogni abitante della terra ed entro quando deve essere raggiunto tale obiettivo? La risposta ampiamente condivisa tra gli esperti è la seguente: tenendo in debita considerazione la capacità di assorbimento dell'atmosfera e le risorse naturali del pianeta, il limite di sostenibilità è pari ad una tonnellata di anidride carbonica per ogni abitante e per anno. L'obiettivo è da raggiungere entro la metà di questo secolo. Considerando che in un futuro oramai non molto lontano la terra sarà popolata da circa dieci miliardi di persone, un ritardo nel raggiungimento degli obiettivi aggraverebbe ulteriormente la situazione. Pertanto per riuscire a concretizzare un obiettivo talmente importante ed ambizioso sono necessari efficaci accordi internazionali che garantiscano equità e protezione dell'ambiente.

1.5 La politica ambientale dell'Unione Europea

Il Parlamento Europeo ha deciso che la strada migliore per contenere il surriscaldamento del pianeta entro i 2°C, consiste nella riduzione entro il 2020 da parte delle potenze industrializzate, delle proprie emissioni di gas responsabili dell'effetto serra ad un livello inferiore del 30% rispetto ai livelli del 1990. Per dare il buon esempio, l'Europa ha deciso di ridurre le proprie emissioni di almeno il 20 % entro il 2020, a prescindere da quel che faranno gli altri paesi, attraverso un programma intitolato «Programma europeo per il cambiamento

climatico», finalizzato ad aiutare gli Stati membri al raggiungimento di questo obiettivo. Il programma, che ha finora consentito l'attuazione di circa 40 strategie (dalle norme energetiche sugli edifici ai regolamenti volti a limitare l'uso di alcuni gas industriali che contribuiscono in modo particolare al surriscaldamento del clima) ha nel sistema comunitario di scambi delle quote d'emissione dei gas responsabili dell'effetto serra il suo punto di forza. Questo sistema, chiamato UE ETS ed introdotto nel gennaio 2005, prevede che le autorità nazionali di ciascun paese dell'Unione Europea, assegni un determinato numero di diritti di emissione a ciascuno degli 11600 impianti produttori di gas serra presenti in Europa. Le imprese che mantengono le loro emissioni al di sotto del livello dei loro diritti possono vendere i diritti di cui non hanno bisogno. Quelle che fanno fatica a conservare i propri diritti devono invece adottare misure per ridurre le emissioni (ad esempio, investendo in tecniche più efficaci o utilizzando meno fonti d'energia a forte tasso di carbonio) o rivolgersi al mercato per acquistare i diritti supplementari di cui necessitano, pagando altre imprese perché riducano le emissioni a loro nome. Le imprese partecipanti al sistema UE ETS possono anche utilizzare crediti di emissione generati da progetti di riduzione delle emissioni in paesi terzi. Si tratta di due meccanismi previsti dal protocollo di Kyoto, ovvero il meccanismo di sviluppo ecologico¹⁰ (CDM) e l'attuazione congiunta¹¹ (JI). La domanda di tali crediti rappresenta un potente motore per investimenti in idee che contribuiscono a ridurre le emissioni in altri paesi. Tuttavia, gli impianti dei settori dell'energia e dell'industria non sono gli unici responsabili dell'aumento del livello di anidride carbonica nell'atmosfera, per questo

¹⁰ Il Clean Development Mechanism è uno dei meccanismi previsti dal Protocollo di Kyoto per aiutare i Paesi in via di sviluppo a raggiungere lo sviluppo sostenibile. In un progetto CDM il Paese sviluppato investe in un progetto che comporta la riduzione di emissioni di gas clima alteranti in un Paese in via di sviluppo. In questo modo il Paese in via di sviluppo è aiutato a ridurre le sue emissioni, mentre lo stato industrializzato adempie ai propri vincoli di emissione.

¹¹ Il Joint Implementation è una modalità attraverso la quale i Paesi industrializzati possono raggiungere i loro impegni di riduzione di emissione dei gas effetto serra a costi economicamente convenienti sviluppando un progetto JI in un altro stato. Questa iniziativa consente ai Paesi industrializzati di condividere tecnologie pulite con altri Paesi.

la Commissione europea ha proposto di estendere il sistema UE ETS, a partire dal 2011, anche al settore aeronautico.

1.6 La Conferenza sul clima di Copenhagen

La COP 15, ovvero la conferenza internazionale sul cambiamento climatico organizzata dalle Nazioni Unite a Copenhagen nel dicembre 2009, era considerata una grande opportunità per una riflessione a livello mondiale sulle politiche sociali, economiche e ambientali per il XXI secolo, così come Rio 92 lo fu per il XX secolo. Il riscaldamento globale, la crisi economica e le sue conseguenze dovevano cambiare il corso e le priorità delle politiche economiche di tutti i Paesi, oltre a causare grandi cambiamenti comportamentali in tutto il genere umano. Le aspettative per il nuovo trattato erano molto alte, anche perché è cambiato il governo degli Stati Uniti (che non ha mai sottoscritto il protocollo di Kyoto), e il nuovo presidente Barack Hussein Obama aveva dichiarato la sua volontà a ridurre le emissioni degli U.S.A. di almeno il 15% entro il 2015 e del 50% entro il 2050. Purtroppo il vertice è stato un vero fallimento, in quanto pur avendo tutti riconosciuto che l'obiettivo è quello di mantenere il surriscaldamento entro i "2 Gradi", nessuno, a parte l'Europa, si è imposto dei vincoli. Tutte le speranze sono quindi rivolte al summit che su terra in Messico nel dicembre 2010.

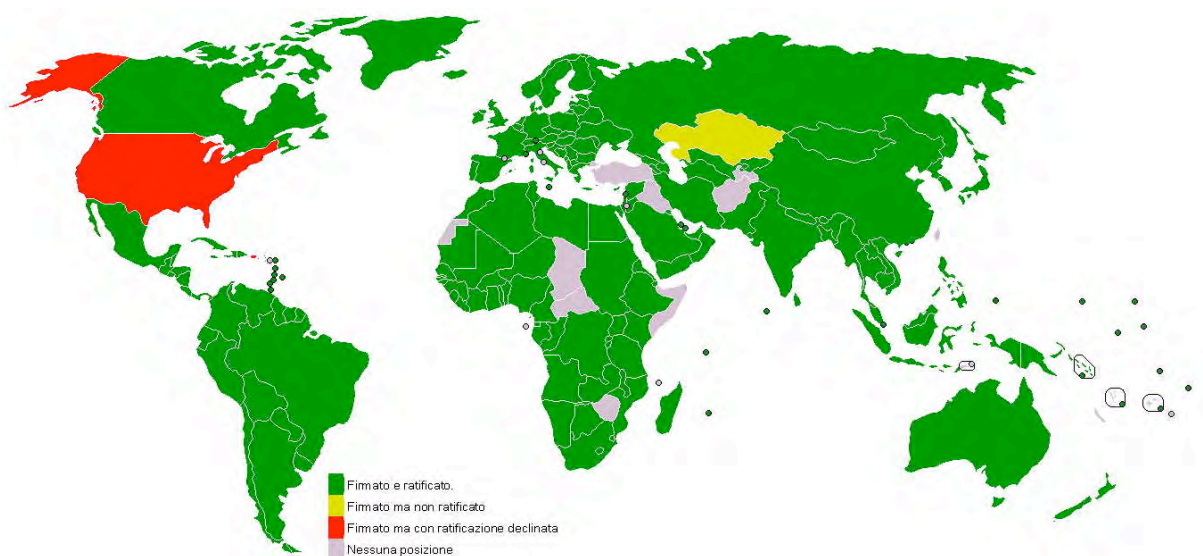


Figura 3 - Paesi aderenti al protocollo di Kyoto - fonte IstitutoMattei

LA QUESTIONE ENERGETICA

2.1 *La pericolosa dipendenza dalle fonti energetiche di origine fossile*

Il consumo giornaliero di petrolio, carbone e gas naturale è enorme e continua ad aumentare, ogni giorno a livello mondiale consumiamo 10 milioni di tonnellate di petrolio, 12,5 milioni di tonnellate di carbone e 7,5 miliardi di m³ di gas naturale. L'80% dei consumi mondiali d'energia viene coperto con il ricorso a fonti energetiche di origine fossile, le energie rinnovabili coprono il 13% dei consumi, mentre l'energia atomica arriva al 7%. I maggiori consumatori di energia sono gli Stati Uniti, con un consumo giornaliero di 20 milioni di barili di petrolio greggio ed una emissione di anidride carbonica pari a quasi un quarto di quella mondiale. Nella classifica dei maggiori consumatori di petrolio troviamo anche paesi emergenti come Cina, India, Corea del Sud e Brasile con un consumo di petrolio dai 2 ai 6,5 milioni barili al giorno. Un consumo in continua e forte crescita che garantisce loro un altrettanto rapida crescita economica. Questa chiara tendenza all'aumento della domanda si contrappone all'impossibilità di un aumento dell'offerta. Nonostante gli intensi sforzi di governi e multinazionali, negli ultimi anni non sono stati scoperti giacimenti di petrolio e di gas di grande capacità. Non sono necessari degli esperti per comprendere che un determinato bene diventa sempre più caro quanto più questo è ricercato e raro. Le dichiarazioni degli esperti suonano particolarmente preoccupanti. Mike Bowlin, direttore generale della ARCO (multinazionale americana del petrolio) afferma: "Sono cominciati gli ultimi giorni dell'era del petrolio", e non è certo l'unico a sollevare il problema. Colin Campbell (fondatore della ASPO¹²) ammonisce: "La punta massima nella produzione del petrolio è stata raggiunta, essa rappresenta un punto di svolta per l'umanità. Il benessere economico dell'ultimo secolo si è alimentato di energia a basso costo basata sull'estrazione del petrolio. È un po' come se

¹² Association for the Study of Peak Oil and Gas, associazione nata nel 2001 grazie a fondi dell'istituto per le scienze geologiche tedesco (BGR).

ognuno di noi avesse avuto alle sue dipendenze alcuni schiavi che non serviva pagare e neanche nutrire. Ora, questi schiavi cominciano ad invecchiare e non possiamo aspettarci che essi lavoreranno per noi ancora per molto tempo. Dobbiamo trovare un altro sistema per garantirci la sopravvivenza”. L'aspetto decisivo non è tanto sapere quando si esauriranno le riserve di petrolio (con ogni probabilità esse dureranno ancora per qualche decennio), ma piuttosto quando finirà il petrolio a basso costo e quando saremo costretti a confrontarci con sempre maggiori difficoltà nell'approvvigionamento. Questioni d'importanza capitale a cui gli esperti del settore rispondono in modo davvero preoccupante affermando che i tempi del petrolio a basso costo sono ormai finiti e tra non molto inizieranno a manifestarsi le prime serie difficoltà d'approvvigionamento.

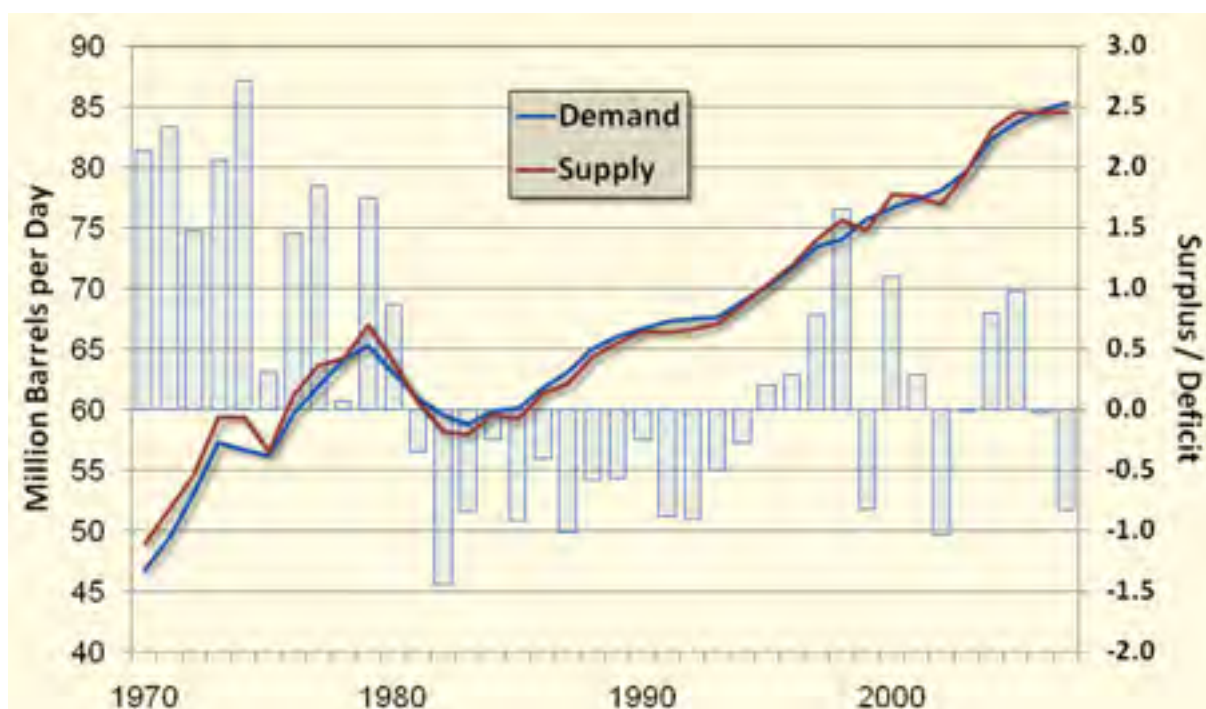


Figura 4 - Domanda e offerta mondiale di petrolio dal 1970 al 2008 - fonte Scinico

Quanto tempo dureranno ancora le riserve di petrolio?

Negli ambienti specializzati, il punto di maggiore produzione storica del petrolio si definisce con il termine di “picco di Hubbert”. Secondo gli specialisti il picco sarà raggiunto già intorno all'anno 2012. Secondo le stime più ottimistiche il picco verrà raggiunto più tardi. Ma quanto

tempo dureranno ancora le riserve di petrolio? Secondo la Shell e l'agenzia internazionale per l'energia 46 anni. Altre stime indicano un periodo tra i 20 ed i 50 anni. Tra i più ottimisti troviamo i governi e le multinazionali del petrolio, mentre le previsioni meno ottimistiche sono quelle di geologi e scienziati. Un'analisi indipendente possiamo ricavarla dallo studio compiuto dalla Douglas Westwood, una delle più note aziende di analisi nel settore del mercato petrolifero. Nel rapporto «Douglas-Westwoods-World Oil Supply Report 2004-2050» viene stimato che dopo il raggiungimento del picco di Hubbert vi saranno rilevanti cadute di produzione da cui deriverà un'importante crisi petrolifera.

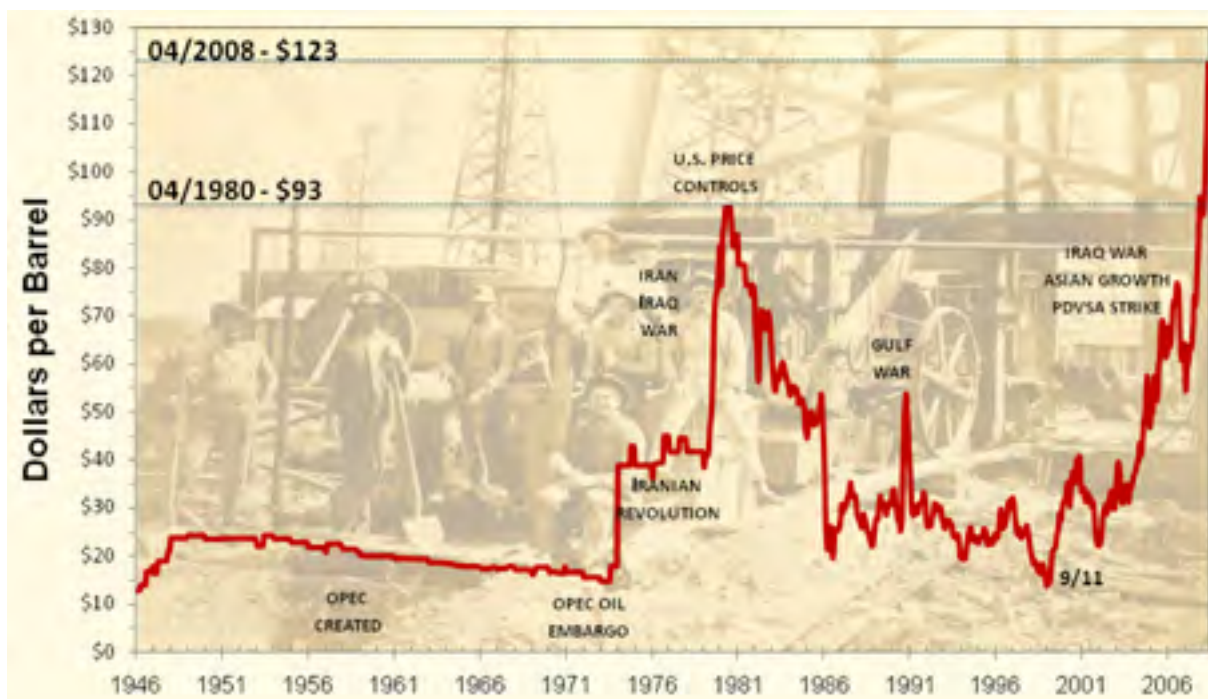


Figura 5 - Prezzo del petrolio dal 1946 al 2008 in dollari di oggi - fonte Scinico

Il mondo utilizza più che mai intensamente le riserve di petrolio e nel medio periodo vi è da aspettarsi un aumento dei prezzi. Le conseguenze dovute all'aumento del prezzo del greggio cambieranno radicalmente la vita di numerose persone. I cambiamenti saranno qualcosa di molto più profondo delle file ai distributori di benzina, dei prezzi alti dei carburanti o delle difficoltà dei mercati azionari. Il nostro stile di vita dovrà modificarsi in un modo talmente profondo che oggi facciamo davvero fatica ad immaginarlo. Inimmaginabili saranno anche le conseguenze per l'industria agroalimentare che ha una forte dipendenza dal petrolio per la

produzione dei concimi. Vi è infatti seriamente da dubitare che saremo in grado di produrre alimenti a sufficienza per soddisfare una domanda mondiale di otto o addirittura dieci miliardi di persone se non saremo in grado di trovare valide alternative al petrolio.

E le riserve di gas?

Subito dopo il petrolio è il gas la fonte energetica più ambita al mondo. Le statistiche ufficiali indicano che è la Russia il paese con le maggiori riserve mondiali di gas naturale. Viene tuttavia taciuto il fatto che i suoi tre maggiori giacimenti di gas, Urengoy, Medveshye e Yamburg hanno già oltrepassato la loro massima capacità estrattiva. Solo pochi anni fa, è stato possibile sfruttare un nuovo giacimento di grandi dimensioni, quello di Zapolyarnoye. Ma nonostante questo importante giacimento, il nuovo apporto di gas non basterà a garantire la costante copertura di una domanda sempre crescente. La continua diminuzione della quantità di gas estratto rendono assolutamente necessaria la scoperta di nuovi giacimenti di gas naturale. I nuovi possibili giacimenti russi di grande capacità si trovano però in luoghi remoti (ad est e nel nord) e presentano non poche difficoltà per il loro sfruttamento. L'alta dipendenza dei paesi industrializzati dalle forniture di gas e la conseguente dipendenza da paesi come la Russia fa temere che si possano generare situazioni alquanto esplosive. Paolo Scaroni, amministratore delegato dell'ENI, si esprime in questo modo nelle pagine del Financial Times del 18 gennaio 2006: “I Paesi fornitori operano con il totale sostegno di un forte Stato centrale che può piegare le regole a proprio favore e deviare la concorrenza nel libero mercato”. L'Europa, con l'Italia in particolare, è dunque esposta a uno scenario che rischia di relegarla in una posizione vulnerabile e debole”. Ed ancora: “La crisi tra Russia e Ucraina sugli approvvigionamenti di gas non dovrebbe essere vista come un fatto isolato: ce ne saranno altre”. Scaroni sostiene che gli eventi di inizio 2006 erano dunque solo un campanello d'allerta. Cosa accadde? La Russia prese come pretesto una disputa con l'Ucraina

sui prezzi del gas per interrompere per qualche giorno la fornitura, l'interruzione si verificò durante i giorni più freddi del 2005. Un inverno che si contraddistinse per la sua particolare rigidità. All'inizio del 2006 l'Ucraina dovette infine piegarsi davanti alla "potenza del gas". Sotto dettatura russa si vide così costretta a sottoscrivere un nuovo contratto con clausole decisamente svantaggiose e con una scadenza altrettanto penalizzante: sei mesi, solo fino al luglio 2006. Quello che irritò non poco fu il fatto che, una volta conclusa la vicenda tra Russia ed Ucraina, le forniture di gas verso l'Italia si fecero irregolari. Tra la metà di gennaio e la metà di marzo 2006, fu fornita all'Italia una quantità di gas complessivamente inferiore del 6,5 % rispetto a quanto pattuito a livello contrattuale. Si fa strada il sospetto che nei giorni più freddi dell'anno, la Russia abbia avuto bisogno di una quantità talmente alta di gas per coprire il fabbisogno interno, che raggiunse la propria capacità massima di estrazione. Si può quindi ritenere che la sospensione delle forniture verso l'Ucraina sia stata utilizzata allo scopo di mascherare le difficoltà di fornitura. I successivi problemi di fornitura registrati in Italia nei giorni successivi testimoniano a favore della plausibilità di tale ipotesi. Non possiamo quindi sfuggire dall'oggettiva constatazione che dobbiamo prepararci ad un periodo in cui le fonti energetiche d'origine fossile diventeranno sempre più care e sempre meno disponibili.

2.2 L'agricoltura come alternativa ai combustibili fossili

Da quando i prezzi del metano e del petrolio continuano la loro ininterrotta corsa al rialzo, la politica e l'industria hanno dato maggiore vigore alla ricerca di nuove fonti energetiche scoprendo così le potenzialità dell'agroenergia. Con la biomassa si può produrre elettricità, calore e combustibile. Esiste però anche l'altra faccia della medaglia, la trasformazione dell'agricoltura da un'attività rivolta alla produzione alimentare ad un'attività dedicata alla produzione d'energia. Da quando quasi tutto ciò che è commestibile può essere anche trasformato in combustibile, le coltivazioni di mais, colza, riso, soia, olio di palma e canna da

zucchero, stanno progressivamente passando dall'industria alimentare a quella energetica. Quantità sempre maggiori di prodotti agricoli non sono più disponibili a fini alimentari e non è difficile prevedere che ciò porterà a conflitti tra poveri affamati e ricchi assetati d'energia. La questione è quindi reale: cibare uomini o alimentare automobili? Al contrario dei sistemi di riscaldamento o delle centrali per la produzione d'energia elettrica che possono essere alimentati da diverse forme di energia (geotermia, idroelettrica, eolica), i veicoli a motore e gli aerei hanno bisogno di carburanti ad alto contenuto energetico. Una forma energetica d'alta qualità che può essere fornita solamente dai combustibili di origine fossile o dalla biomassa. Non vi è pertanto da stupirsi che ad un aumento dei prezzi del petrolio corrisponda un sempre maggior ricorso a carburanti provenienti da produzioni agricole. Una dinamica che consente anche di rendersi sempre più indipendenti dai paesi produttori di petrolio. Negli Stati Uniti la produzione di etanolo ammonta già oggi ad un quinto della superficie agricola totale. Tra pochi anni lo stato dello Iowa, uno dei più grandi produttori di grano, utilizzerà l'intera raccolta di mais esclusivamente per la produzione di biocarburanti. Nello stato federale del South Dakota, uno tra i dieci maggiori produttori di cereali dell'America del nord, la metà dei raccolti viene destinata alla produzione di carburanti. La Svezia vuole diventare la prima nazione al mondo che a partire dal 2020 non dovrà più dipendere dalle forniture di petrolio. Per quella data dovranno essere prodotte quantità di bioetanolo tali da garantire l'alimentazione di tutti i veicoli a motore del paese. In Brasile l'etanolo copre già la metà del proprio fabbisogno di benzina. Il ministero statunitense per l'agricoltura stima che nel 2006 il consumo mondiale di mais sia stato maggiore di circa 20 milioni di tonnellate rispetto all'anno precedente. Di queste, 14 milioni di tonnellate sono state destinate alla produzione di etanolo e solo sei milioni alla produzione alimentare. Per la prima volta nella storia si deve constatare che l'aumento di produzione agricola è causato principalmente dall'aumento dei consumi delle auto e non da quelli alimentari. Il boom dei biocarburanti fa salire i prezzi dei cereali. Nel

2006 il prezzo del grano è aumentato del 20%, l'anno precedente il prezzo del mais era aumentato dell'80%. Nel 2008 il raddoppio del prezzo della farina di mais ha scatenato manifestazioni popolari a Mexico City dove, va ricordato, la farina di mais è l'alimento base del popolo messicano. Secondo la FAO l'aumento dei prezzi dei cereali costituirà una seria minaccia per quasi due miliardi di poveri che già oggi spendono almeno la metà dei loro guadagni per l'acquisto di generi alimentari. Cambiamenti del clima, sicurezza degli approvvigionamenti energetici e limitazione dei costi energetici, come porsi di fronte a questi tre temi di fondamentale importanza? Una strategia lungimirante può basarsi solamente su un'accorta ed efficiente gestione dell'energia e la conseguente riduzione della dipendenza da petrolio, carbone e gas. Per giungere a tale obiettivo è necessario far ricorso ad un utilizzo sempre maggiore di energie rinnovabili senza però pagare come prezzo la distruzione delle ultime foreste tropicali di questo pianeta. Una pericolosa tendenza che già oggi vede la distruzione delle foreste pluviali dell'Indonesia e della Malesia, allo scopo di ricavare nuovo terreno coltivabile per la produzione di olio di palma.

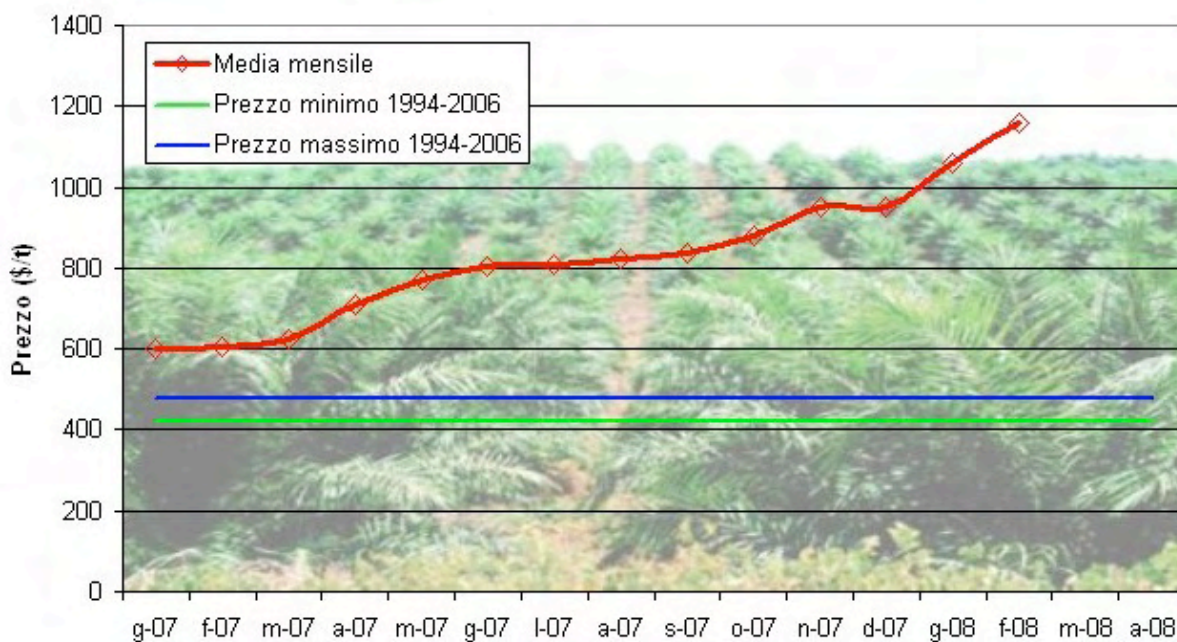


Figura 6 - Prezzo dell'olio di palma - fonte FAO

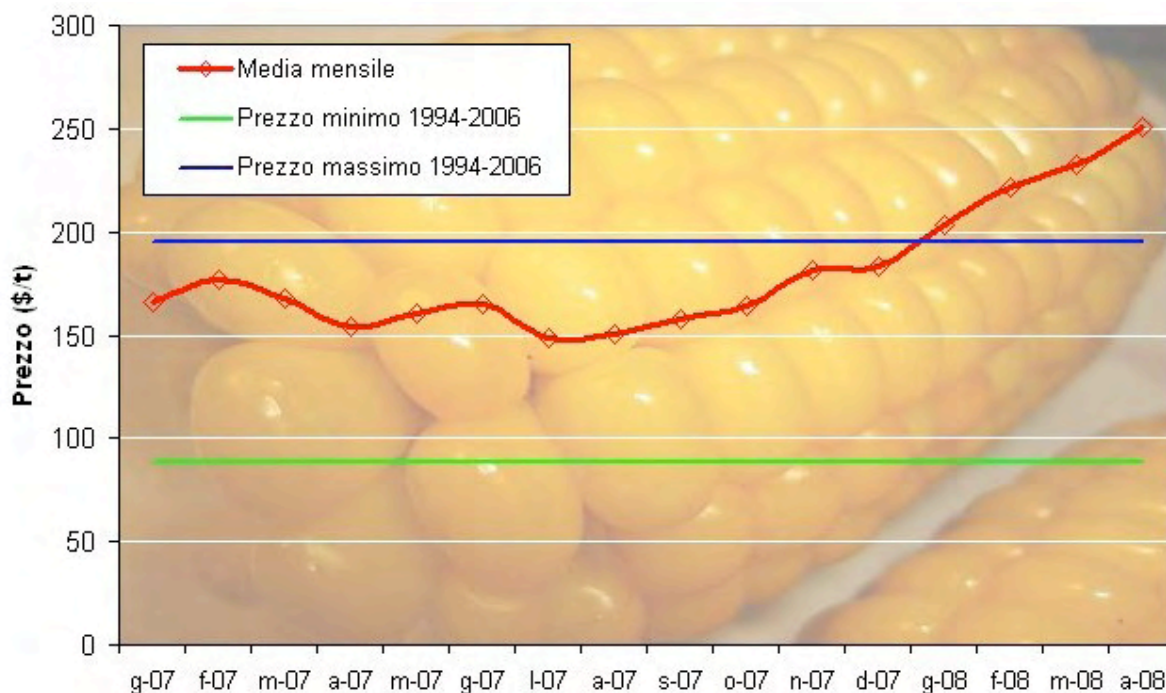


Figura 7 - Prezzo del Mais - fonte FAO

2.3 *Il rapporto IPCC sui costi della tutela del clima*

Nella terza ed ultima parte del suo rapporto, l'IPCC si occupa dei possibili provvedimenti per contrastare il mutamento del clima terrestre, ipotizzando grandi potenzialità di riduzione delle emissioni di anidride carbonica in tutti i settori dell'economia. Si va dall'isolamento termico degli edifici, all'aumento dell'efficienza energetica degli impianti, dall'utilizzo delle risorse energetiche rinnovabili, allo sviluppo di tecnologie innovative per il risparmio energetico fino alla sostituzione del carbone con il gas naturale. I costi macro economici stimati dall'IPCC sono inferiori al 3% del prodotto interno lordo globale. Su incarico del governo britannico anche Nicholas Stern, ex direttore della banca mondiale ha effettuato la stessa ricerca stimando che la protezione del clima costerebbe solo il 2% del prodotto interno lordo mondiale.

2.4 *La politica energetica dell'Unione Europea*

Per quanto riguarda la politica energetica comunitaria, in generale si può dire che essa si è in questi anni sviluppata in relazione a cinque fondamentali obiettivi: 1) La liberalizzazione dei

mercati dell'energia e del gas, permettendo ad ogni cittadino europeo di acquistare energia dal fornitore da lui scelto, compresi quelli specializzati in energie rinnovabili;

2) La diversificazione, al fine di ridurre la dipendenza dalle importazioni di energia, aumentando contestualmente la sicurezza degli approvvigionamenti. E' compresa la condivisione tra i paesi membri delle proprie fonti energetiche durante i periodi di crisi;

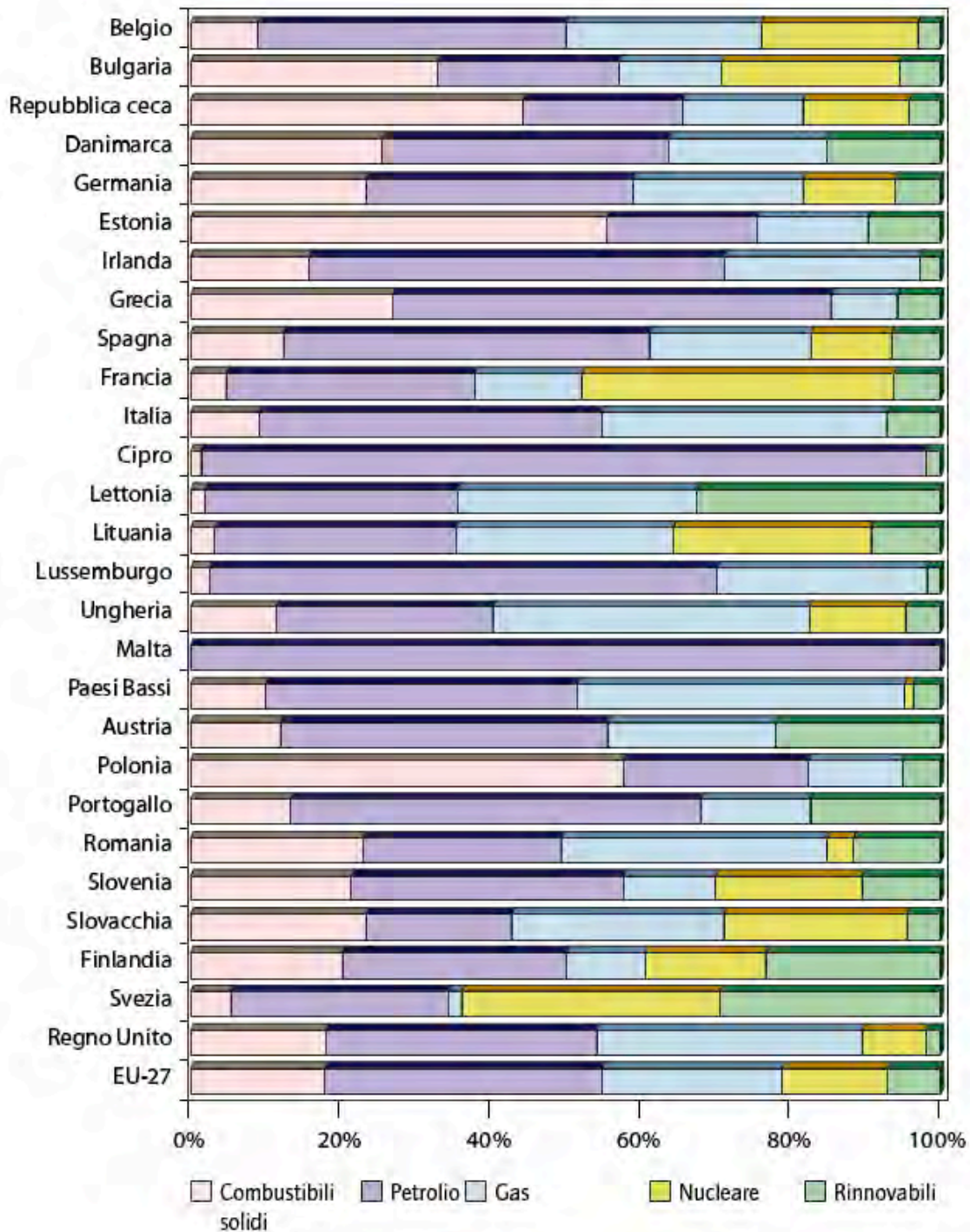


Figura 8 - Consumo di energia per tipo di combustibile. - fonte C.E.

3) Una politica a favore delle energie rinnovabili, che si pone come obiettivo la produzione tramite dette fonti del 20% dell'energia consumata entro il 2020;

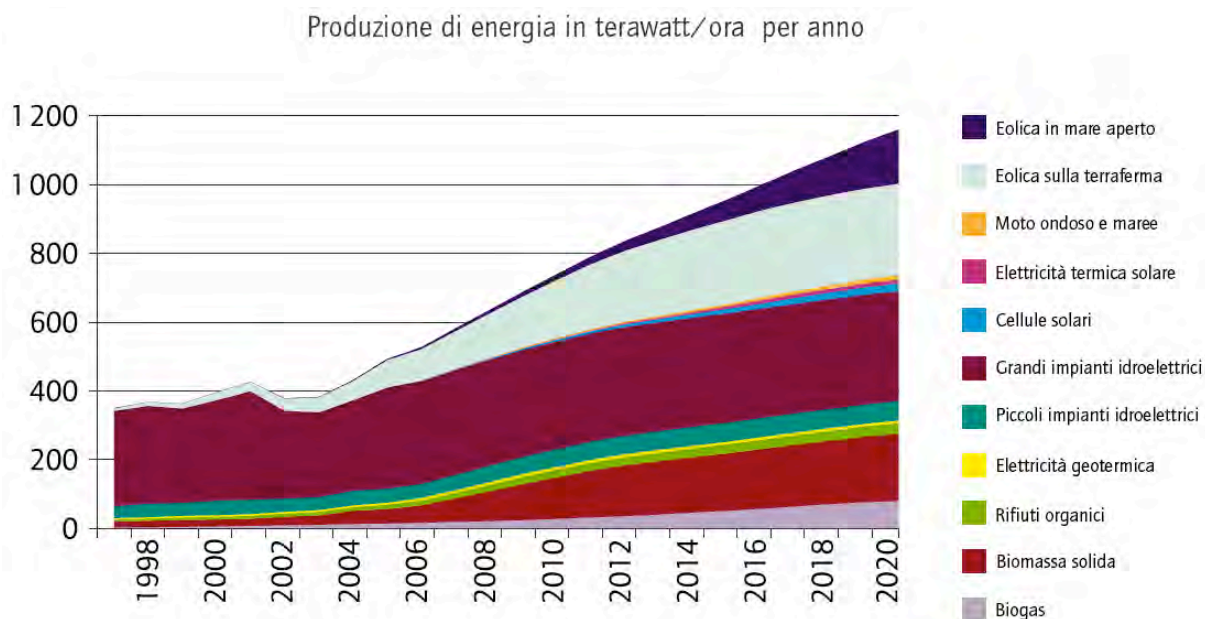


Figura 9 - Previsioni di crescita nella produzione di elettricità verde nell'U.E.. - fonte C.E.

4) Il risparmio energetico, da perseguire mediante un utilizzo più efficiente dell'energia. Tale politica spazia dagli elettrodomestici (attraverso l'etichettatura indicante il consumo di energia, le norme minime di efficienza ed il programma "Energy Star"), ai trasporti (con le direttive per le emissioni di auto e moto EURO 1, EURO 2, EURO 3, EURO 4 ed EURO 5) fino ad arrivare agli edifici¹³, responsabili di consumare il 40% dell'intera produzione di energia dell'Unione Europea;

5) La cooperazione internazionale, non potendo eliminare la dipendenza dalle importazioni, l'Europa dovrà mantenere buone relazioni con i paesi produttori di energia o di transito dell'energia. Ciò significa cooperare con i paesi orientali e meridionali: la Russia, i paesi dell'Europa orientale che confinano con l'Unione, i paesi dell'Asia centrale e i paesi che si affacciano sul Mar Caspio, sul Mar Nero e sul Mediterraneo.

¹³ Regolamentati con la Direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia

L'EVOLUZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

3.1 *L'evoluzione del sistema edificio-impianto*

Se si ripercorrono le tappe dell'evoluzione nel tempo del sistema edificio-impianto, si può vedere come storicamente si sia assistito ad una progressiva indipendenza tra lo sviluppo delle tecnologie costruttive degli edifici e gli impianti degli stessi, binomio che solo dagli anni '90 sta di nuovo trovando dei punti d'incontro. L'involucro edilizio¹⁶ costituisce la superficie di controllo che delimita il sistema termodinamico dell'edificio ed ha la funzione di controllare, in modo passivo, i flussi di calore tra interno ed esterno al fine di garantire le migliori condizioni di comfort negli ambienti interni, contenendo nel contempo i consumi energetici e proteggendo l'edificio dall'ambiente esterno. L'impianto, di riscaldamento o condizionamento, costituisce il sistema attivo dell'edificio, capace attraverso un'azione specifica di modificare e controllare la temperatura interna degli ambienti al fine di mantenere le desiderate condizioni microclimatiche interne. L'involucro edilizio ha subito nel tempo una lenta evoluzione, sia per i materiali utilizzati che per la tipologia costruttiva utilizzata, passando da semplice chiusura con funzioni di protezione, a dispositivo per lo sfruttamento delle energie naturali ed elemento tecnologico di mediazione tra l'ambiente esterno e quello interno che partecipa attivamente a garantire adeguate condizioni di comfort termoigrometrico e di qualità dell'aria interna, nonché di risparmio energetico. L'involucro edilizio, dalle prime capanne in paglia fino alle più massicce murature dell'800, ha avuto il ruolo intuitivo e fondamentale di dividere lo spazio abitato da quello esterno, proteggendolo dalle avversità del clima e creando un ambiente il più possibile confortevole, essendo contemporaneamente elemento strutturale

¹⁶ L'utilizzo del termine involucro riferito all'edilizia è piuttosto recente e nasce come evoluzione del concetto di chiusura, che identificava, come unità distinte tra loro, i tamponamenti esterni (orizzontali, verticali, opachi, trasparenti ecc.). Nel costruire contemporaneo l'involucro edilizio, che identifica l'intero sistema di chiusura esterno, è articolato in diversi strati funzionali e materiali ed è sempre più spesso indagato nelle sue relazioni con il sistema strutturale e quello impiantistico.

portante. Alla protezione offerta dall'involucro, fin dall'antichità, si sono affiancati sistemi di controllo microclimatico atti a creare condizioni ambientali interne più confortevoli. Si pensi ad esempio ai sistemi per il raffrescamento evaporativo delle ville romane di Pompei, ai camini delle residenze medievali e alle torri del vento delle città iraniane.



Figura 11 - *Torri del vento a Yazd* - fonte www.paesieimmagini.it

Con la rivoluzione industriale, l'evoluzione delle conoscenze scientifiche e tecniche e ancor più con l'avvento dell'architettura moderna, l'involucro edilizio perde progressivamente la sua funzione strutturale, diventando “facciata libera¹⁷”. Da allora, l'involucro edilizio perde la sua massa, inconsapevolmente bioclimatica, che conferiva all'edificio una eccezionale inerzia termica per diventare una struttura intelaiata e leggera, cui è demandata la sola funzione statica, chiusa da tamponamenti leggeri, sempre più trasparenti. La funzione regolatrice dei flussi termici viene affidata totalmente all'impianto di climatizzazione, cui viene demandato il controllo ed il mantenimento della temperatura di ogni singolo ambiente. Da questo momento si comincia a separare il "decoro dell'architettura" dal "dimensionamento degli impianti"

¹⁷ Definizione data nel 1926 da Le Corbusier nei cinque punti della nuova architettura.

dando inizio alla distinzione tra edificio ed impianti con il veloce sopravvento di questi ultimi nella definizione e controllo del microclima interno. La perdita di attenzione verso le caratteristiche climatiche esterne porta ad una generalizzata anisotropia ambientale degli edifici. Spetta agli impianti, che si evolvono e migliorano le proprie prestazioni, l'ottenimento delle condizioni di comfort all'interno dell'edificio. Si assiste alla nascita della produzione centralizzata del calore e l'impianto di riscaldamento a radiatori alimentati in colonna diventa lo standard per quasi tutte le abitazioni. Dopo la crisi petrolifera dei primi anni settanta si intensificano le ricerche nel campo dell'architettura bioclimatica e dello sfruttamento delle energie rinnovabili, con la conseguente rivalutazione dell'involucro edilizio ai fini dell'isolamento termico e del contenimento delle dispersioni energetiche (è il periodo della legge italiana 373/1976 che impone di limitare le dispersioni termiche degli edifici ai fini del risparmio energetico). L'involucro edilizio, sia opaco che trasparente, si evolve quindi ulteriormente. L'intercapedine d'aria delle murature a cassetta viene sostituita da materiali isolanti di "nuova generazione" di derivazione chimica, si diffondono i cosiddetti vetri camera, in grado di abbattere il valore della trasmittanza termica degli elementi vetrati di oltre il 50%, ed i vecchi serramenti ad elevata permeabilità all'aria vengono sostituiti da telai a taglio termico e ad elevata tenuta all'aria, riducendo ulteriormente gli scambi dell'edificio con l'esterno. Con l'applicazione della nuova legge, la ventilazione naturale degli alloggi subisce una forte penalizzazione. Negli edifici si ha una drastica riduzione dei ricambi d'aria che ha comportato un aumento della concentrazione di vapore acqueo all'interno degli ambienti e la conseguente comparsa di muffe sulle pareti interne in corrispondenza dei ponti termici, oltre che all'aumento della concentrazione interna di sostanze inquinanti prima poco conosciute. Negli anni '80, alla preoccupazione dell'approvvigionamento energetico si aggiunge quella dell'inquinamento ambientale e dei cambiamenti climatici dovuti ad effetti antropici. Per la prima volta nel 1987, all'interno del rapporto "Our common future" elaborato dalla

commissione preparatoria del vertice di Rio de Janeiro del 1992, presieduta dal primo ministro norvegese G.H. Brundtland, si cominciò a parlare di sviluppo sostenibile, definito come: *“uno sviluppo che soddisfi i bisogni delle generazioni presenti senza compromettere le possibilità per le generazioni future di soddisfare i propri”*. Grazie anche alle norme sul risparmio energetico degli anni novanta, che pongono particolare attenzione non solo alla corretta progettazione dell'involucro edilizio (riduzione dei ponti termici, isolamento termico, ecc.), ma anche alla ventilazione degli ambienti interni, si passa ad una ulteriore evoluzione dell'involucro che diventa un componente in grado di mutare "automaticamente" le proprie prestazioni al mutare delle situazioni ambientali e regolare quindi "intelligentemente" i flussi di energia e di massa che lo attraversano (Es. l'Institute du Monde Arabe di Parigi).



Figura 12 - *Institute du Monde Arabe a Parigi di J. Nouvel, 1987* - fonte www.paesieimmagini.it

Parallelamente, la sempre maggiore attenzione verso l'ambiente, nonché l'evoluzione delle tecniche per lo sfruttamento delle energie rinnovabili, comportano una evoluzione degli impianti di climatizzazione. Si diffondono i sistemi per il riscaldamento a bassa temperatura, quali pannelli radianti e ventilconvettori, integrabili con pannelli solari, pompe di calore e

caldaie a condensazione. In Italia, grazie anche alla “metanizzazione” del territorio e all'evoluzione normativa, le soluzioni con impianti autonomi sostituiscono gli impianti di tipo centralizzato, fino ad ora ampiamente diffusi sul territorio. Successivamente, anche in seguito ad approfonditi studi sull'inquinamento esterno dovuto agli impianti di riscaldamento, si cercherà di abbinare i vantaggi della gestione autonoma a quelli della produzione centralizzata del calore, tendenza supportata anche a livello normativo. La ricerca di livelli di comfort ambientale sempre maggiori, assieme all'avanzare degli strumenti normativi e alle conoscenze sugli inquinanti indoor, hanno portato ad una notevole evoluzione delle strategie di ventilazione degli edifici, che da naturale è diventata meccanizzata, fino ad arrivare ai recenti sistemi a ventilazione ibrida, fortemente integrata nell'involucro dell'edificio, dove la protezione dal surriscaldamento estivo ed i necessari ricambi d'aria sono raggiunti utilizzando strategie di tipo passivo affiancate a sistemi di controllo meccanico della ventilazione come nella palazzina per uffici “iGuzzini” a Recanati.

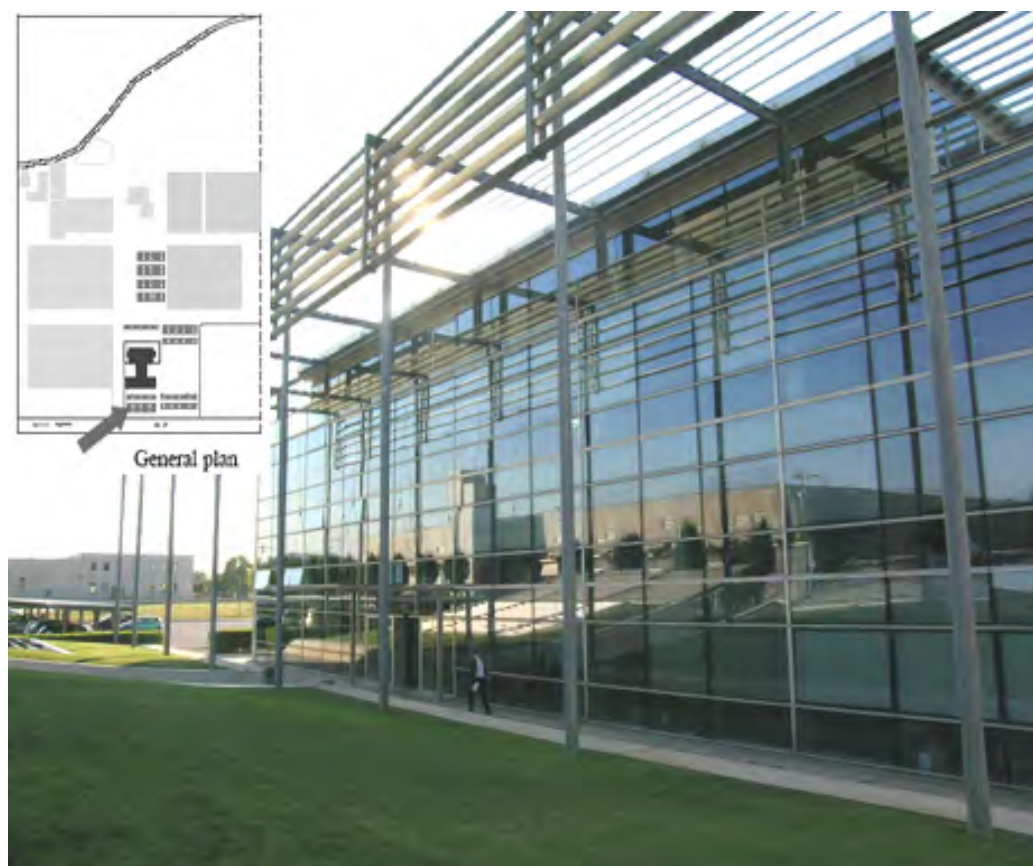


Figura 13 - Palazzina per uffici “iGuzzini” di M. Cucinella, 2002 - fonte Euleb

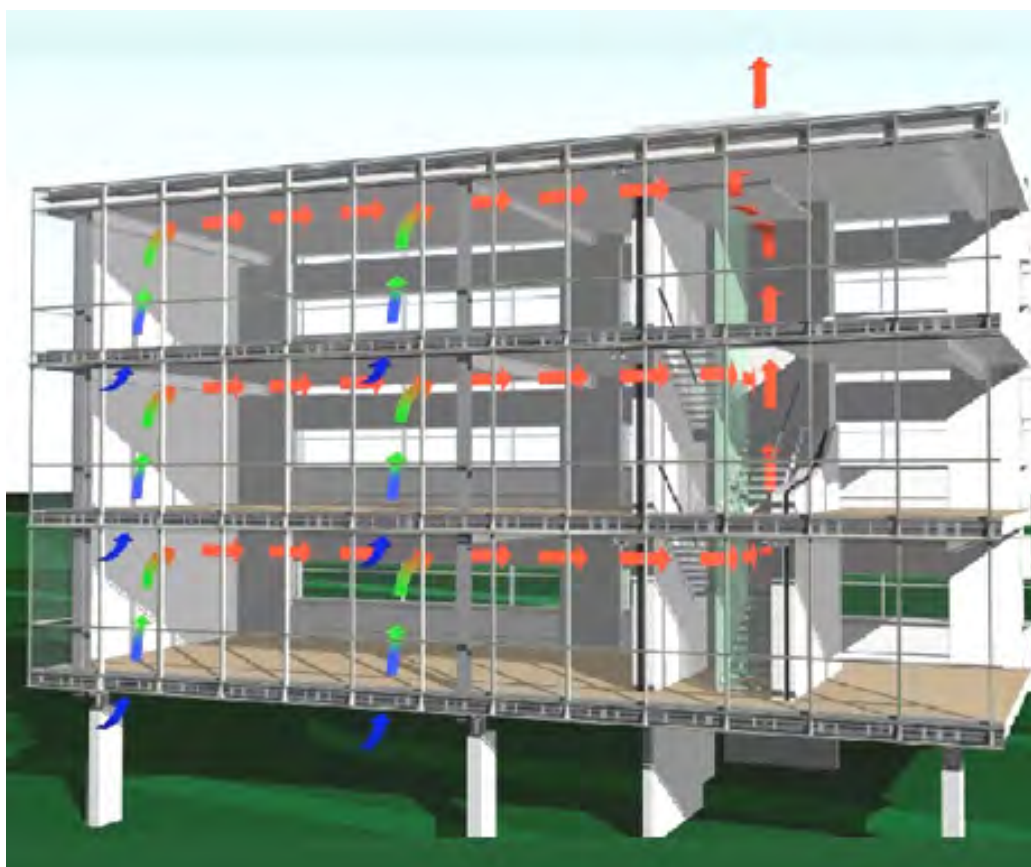


Figura 14 - Palazzina "iGuzzini", sistema di ventilazione - fonte Euleb

Sebbene soltanto recentemente i temi della ventilazione e le problematiche connesse alla qualità dell'aria interna abbiano assunto un ruolo strategico per la progettazione sostenibile, è possibile rintracciare nel più recente passato esempi di architetture in cui tali temi sono stati affrontati in maniera integrata dai progettisti fino a divenire talvolta elementi distintivi del loro linguaggio formale, come ad esempio il Larkin Building di Wright (Buffalo, 1904) con i percorsi differenziati per l'estrazione e l'immissione dell'aria che divengono elementi fortemente caratterizzanti il progetto architettonico. Nell'ultimo decennio, a seguito dell'evoluzione legislativa e normativa nel settore energetico e grazie anche ai molti progetti di ricerca europei, si è assistito ad una rapida evoluzione dei sistemi impiantistici per il controllo del microclima e delle tecnologie costruttive dell'involucro edilizio, evoluzione che ha necessariamente visto la nascita di nuovi edifici ad elevata efficienza energetica, caratterizzati dall'estrema integrazione dei sistemi impiantistici con l'involucro edilizio.



Figura 15 - *SIEEB: Sino-Italian Ecological and Energy Efficient Building* di M. Cucinella, 2003 - fonte Green.mnp

I primi paesi dove sono stati costruiti edifici a basso consumo energetico sono stati il Canada e la Svezia, dove le sperimentazioni risalgono agli anni '70, seguiti solamente negli anni '80 da Germania e Svizzera. Successivamente, nel corso degli anni '90, la tecnologia è stata ulteriormente sviluppata e si è creata una piccola nicchia di mercato fra le persone più sensibili ai problemi ambientali, disposte anche a pagare un prezzo maggiore pur di vivere in una “casa ecologica” e a basso consumo energetico. Grazie a queste persone, all'industrializzazione, all'uso di elementi prefabbricati, alla razionalizzazione dei processi di produzione, al coinvolgimento di costruttori e progettisti ed alla riduzione dei tempi di costruzione, i costi si sono notevolmente ridotti rendendo tali modelli costruttivi alla portata del più vasto pubblico, tanto che in Svezia, Germania, Svizzera e nella provincia autonoma di Bolzano gli standard delle case a basso consumo energetico¹⁸ sono addirittura obbligatori per

¹⁸ Edifici caratterizzati da un consumo di energia per il riscaldamento inferiore a 70 kWh/m²a

tutte le nuove costruzioni già da una decina di anni (rientrano in questa categoria lo standard energetico svizzero Minergie e l'italiano CasaClima).

3.2 *Lo standard tedesco “passivhaus”*

Il concetto della “passivhaus” tedesca (letteralmente casa passiva) è stato ideato nel 1988 dal prof. Wolfgang Feist che, grazie ad un contributo finanziario del Ministero per l'Economia della Regione tedesca dell'Assia, ha potuto eseguire prima degli studi sperimentali e poi realizzare quello che è stato il primo edificio passivo, un complesso di case a schiera a tre piani costruito a Darmstadt-Kranichstein (Germania) nel 1990, dove i consumi di energia sono risultati inferiori del 90% rispetto a quelli di una casa tradizionale. Dopo questa prima esperienza positiva, la realizzazione di edifici passivi si è intensificata e nel 1996 è stato fondato il Passivhausinstitut (PHI) di Darmstadt, un istituto indipendente di ricerca e sperimentazione che si occupa dell'analisi, dello sviluppo e della certificazione di edifici passivi e di componenti per edifici passivi. Il termine “passivhaus” deriva dal fatto che l'edificio è in grado di riscaldarsi pressoché da solo sfruttando i carichi gratuiti interni (persone, apparecchiature, illuminazione artificiale) e solari, e grazie all'elevato isolamento termico dell'involucro è in grado di mantenere a lungo il calore accumulato, richiedendo quindi un fabbisogno energetico di riscaldamento così basso da poter essere fornito all'occorrenza da un sistema impiantistico a bassa potenza riducendo notevolmente i consumi energetici, con conseguenze positive sia per l'ambiente (riduzione delle emissioni di gas serra e dell'inquinamento ambientale) sia per l'utente (riduzione delle spese per il riscaldamento a fronte di un miglioramento della qualità degli ambienti interni). Attualmente non esiste un documento ufficiale, riconosciuto come norma, in cui vengono definiti gli standard degli edifici passivi, che in base a continue sperimentazioni sugli edifici realizzati vengono continuamente aggiornati e migliorati. In ambito europeo si può dire che il principale livello

prestazionale energetico richiesto dal PHI ad un edificio passivo consiste in un fabbisogno energetico per riscaldamento invernale non superiore a 15 kWh/m² all'anno. Ciò significa che, se fino agli anni '90 si consumavano per m² di appartamento circa 25 litri di combustibile l'anno, con gli edifici a basso consumo energetico si è potuti arrivare a circa 7 litri e con gli edifici passivi addirittura a 1,5 litri.

3.3 *Gli edifici Zero Energy e Energy Plus*

In Europa sono anche stati costruiti edifici a consumo energetico nullo (edifici che producono tutta l'energia che consumano) ed edifici che producono più energia di quella necessaria (in grado di immettere in rete il surplus prodotto), anche se prevalentemente per scopi sperimentali a causa dell'alto costo delle tecnologie utilizzate.



Figura 16 - *Edificio Gemini di E. Kaltenegger, realizzato a Weiz (Austria) nel 1993* - fonte www.rinnovabili.it

In tutti gli edifici ad alta efficienza energetica, l'involucro si riappropria delle funzioni di controllo dei flussi di energia e massa e l'impianto torna ad essere elemento di supporto e di implementazione delle prestazioni globali, con il fine comune di creare le migliori condizioni di comfort ambientale per gli utenti sia in estate che in inverno con il minore consumo energetico ed il minore impatto ambientale possibile.

L'EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA ENERGETICA

4.1 *La normativa italiana sul risparmio energetico*

Dopo la crisi energetica conseguente alla così detta guerra del Kippur (guerra fra paesi arabi e Israele) del 1973, in Italia viene emanata la Legge n.373 del 30 aprile 1976 "*Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici*", con la quale per la prima volta viene espressa l'esigenza di attuare iniziative finalizzate al risparmio energetico. Con questa legge veniva imposto alle nuove costruzioni ed alle ristrutturazioni l'attuazione di misure idonee a perseguire un risparmio di energia, attraverso la diminuzione dei consumi per il riscaldamento invernale ottenuto mediante la realizzazione di idoneo isolamento di tutto l'involucro dell'edificio. La legge inoltre, subordinava il rilascio della "licenza d'uso" o della "abitabilità" alla verifica della conformità delle opere eseguite alle indicazioni in esso contenute, nonché ad una dichiarazione congiunta, da parte dei tecnici e dell'impresa, di rispondenza dei lavori eseguiti ai dettami della norma. Con la Legge n.308 del 29 maggio 1982, sempre in tema di consumi energetici, vengono introdotti alcuni incentivi per l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, in particolare viene finanziata una cifra pari a 590 miliardi delle vecchie lire destinata alla concessione di contributi per gli interventi di coibentazione negli edifici esistenti, d'installazione di generatori di calore ad alto rendimento e per l'utilizzo di impianti fotovoltaici. La successiva Legge n.10 del 9 Gennaio 1991 concernente "*Norme in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia*", ha integrato ed in parte sostituito la Legge 373/76. La Legge 10/91 è una tipica legge quadro che fissa principi ed obiettivi di validità generale, definiti successivamente da decreti attuativi e da norme tecniche di riferimento che contengono i requisiti prestazionali a cui riferirsi nel progetto e nella verifica dello stesso. La modifica dei rapporti fra il committente, il progettista ed il termotecnico costituisce uno degli aspetti più

qualificanti della legge. All'interno dell'art.4 commi 1 e 2 della legge sono riportati i principali fattori da prendere in esame per un progetto energeticamente consapevole, ovvero i fattori ambientali (caratteristiche microclimatiche dell'area di intervento), i fattori tipologici (tipologia dell'insediamento e orientamento dell'edificio, distribuzione degli spazi, strategie di controllo della radiazione solare, sistemi solari passivi, ventilazione naturale e illuminazione naturale), i fattori tecnico-costruttivi (prestazioni e certificazione dei componenti opachi e finestrati) ed i fattori impiantistici (efficienza dell'impianto di climatizzazione, recupero del calore, uso di fonti rinnovabili di energia, controllo dei parametri ambientali e di purezza dell'aria). Il 26 agosto 1993 viene emanato il DPR n.412 *“Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della L. 9 gennaio 1991, n. 10”*, integrato il 21 dicembre 1999 con il DPR n.551 *“Regolamento recante modifiche al decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia”* che introducono la classificazione climatica dei comuni italiani. Gli oltre 8.000 comuni vengono suddivisi in sei zone climatiche, per mezzo della tabella allegata al decreto.

Tabella delle zone climatiche		
Zona climatica	Periodo di accensione	Orario consentito
A	1° dicembre - 15 marzo	6 ore giornaliere
B	1° dicembre - 31 marzo	8 ore giornaliere
C	15 novembre - 31 marzo	10 ore giornaliere
D	1° novembre - 15 aprile	12 ore giornaliere
E	15 ottobre - 15 aprile	14 ore giornaliere
F	nessuna limitazione	nessuna limitazione

Tabella 1 - *allegata al decreto DPR n.551/99.*

Le zone climatiche di appartenenza indicano in quale periodo e per quante ore è possibile accendere il riscaldamento negli edifici. I sindaci dei comuni possono ampliare, a fronte di comprovate esigenze, i periodi annuali di esercizio e la durata giornaliera di accensione dei riscaldamenti, dandone immediata notizia alla popolazione. Al di fuori di tali periodi, gli impianti termici possono essere attivati solo in presenza di situazioni climatiche che ne giustifichino l'esercizio e, comunque, con durata giornaliera non superiore alla metà di quella prevista a pieno regime. Vengono definiti i requisiti per il dimensionamento degli impianti termici e imposta la verifica del sistema edificio-impianto (negli edifici di nuova costruzione e negli interventi di ristrutturazione) tramite la verifica dei seguenti parametri: il coefficiente di dispersione volumica globale per trasmissione dell'involucro (C_d), il rendimento medio stagionale dell'impianto termico (η_G) e il Fabbisogno Energetico Normalizzato (FEN). In pratica, nella legge viene proposto un percorso per la valutazione del bilancio energetico invernale di un edificio in cui vi sono apporti di calore e dispersioni di calore: la loro somma algebrica rappresenta il bilancio energetico. Per far sì che questo bilancio sia attivo (cioè l'interno dell'edificio sia più caldo dell'esterno) è necessario spendere dell'energia (primaria) per ottenere una determinata temperatura prefissata (21°C). Oltre a questo la legge impone una verifica igrometrica dei componenti al fine di evitare la formazione di condensa interstiziale e superficiale ed una verifica del surriscaldamento estivo. La Legge 10/91 prevedeva anche la certificazione energetica degli edifici, il cui recepimento attraverso apposito decreto attuativo è stato inutilmente atteso per anni.

4.2 La direttiva europea 2002/91/CE

Con la pubblicazione della direttiva 2002/91/CE del 16 dicembre 2002, l'Unione Europea adotta una serie di misure e di interventi per attuare il protocollo di Kyoto, intervenendo in un settore, quello residenziale, nel quale viene impiegato gran parte del consumo finale di

energia della Comunità. La direttiva stabilisce misure per il miglioramento del rendimento energetico degli edifici tenendo conto delle condizioni climatiche locali, degli apporti termici interni e dell'efficienza energetica degli impianti (valutandone l'efficacia anche sotto il profilo dei costi). Per raggiungere gli obiettivi proposti a livello comunitario¹⁹, la direttiva riporta disposizioni riguardanti: il quadro generale per impostare la metodologia per il calcolo del rendimento energetico "integrato" degli edifici; l'applicazione di requisiti minimi in materia di rendimento energetico (distinguendo fra edifici nuovi, ristrutturazioni e anche fra differenti tipologie di edifici); la certificazione energetica degli edifici²⁰, il cui rendimento è inteso come 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, l'ispezione periodica degli impianti termici e di condizionamento nonché la perizia degli impianti termici alimentati con caldaie installate da più di 15 anni. Per gli edifici nuovi con superficie utile superiore a 1.000 m² deve essere effettuata anche una valutazione tecnica, economica ed ambientale dei sistemi di fornitura energetica decentrati basati su energie rinnovabili (cogenerazione, pompe di calore e se disponibili sistemi di riscaldamento e climatizzazione a distanza). Per gli edifici esistenti con superficie superiore a 1.000 m² e sottoposti a ristrutturazioni importanti devono essere valutate le misure tecniche, i costi aggiuntivi e i risparmi conseguibili. Tali requisiti devono tener conto delle condizioni climatiche esterne ed interne, dell'uso a cui l'edificio è destinato e della sua età. I requisiti dovranno inoltre essere riveduti a scadenze regolari e, se necessario, aggiornati in funzione dei progressi tecnici nel settore dell'edilizia. Particolarmente interessante per i riflessi che avrà non solo sulla progettazione ma anche sul mercato immobiliare è l'attestato di certificazione energetica, di durata massimo decennale, che deve essere messo a disposizione del proprietario (o del futuro acquirente o locatario) in

¹⁹ Le modalità di attuazione restano di competenza degli Stati membri.

²⁰ Si obbliga al rilascio di un attestato di certificazione energetico associato all'edificio.

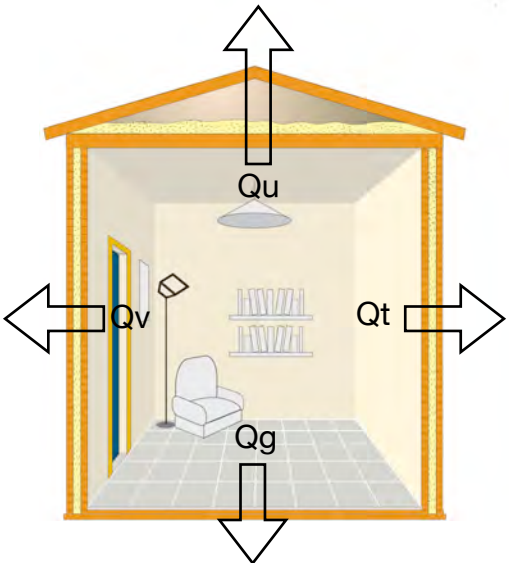
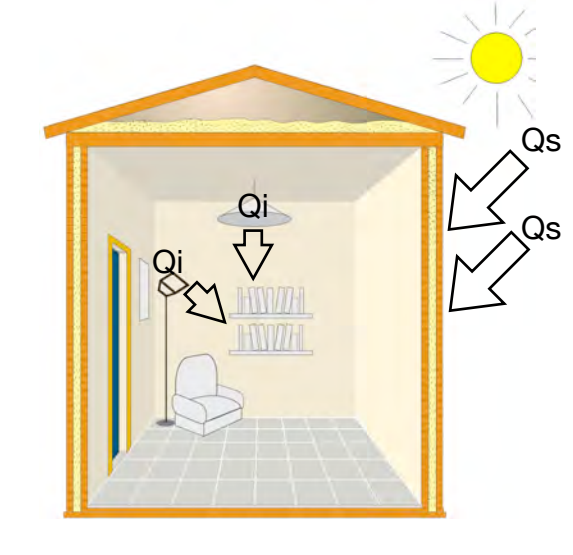
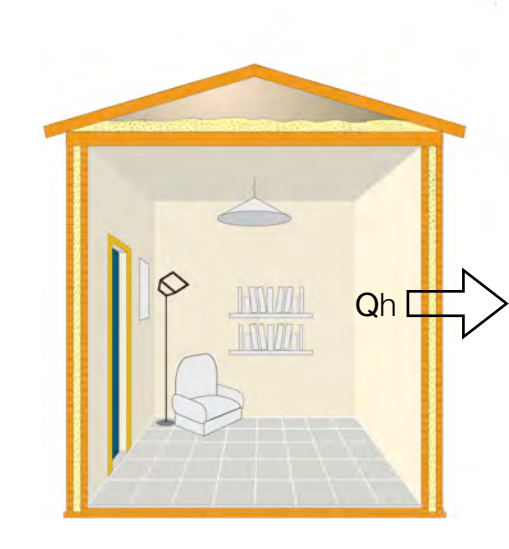
	<p>Perdita di energia</p> $Q_i = Q_t + Q_g + Q_u + Q_v + Q_a$ <p> Q_i perdite complessive Q_t perdite per trasmissione verso l'esterno Q_g perdite per trasmissione verso il terreno Q_u perdite per trasmissione e ventilazione verso locali non riscaldati Q_v perdite per ventilazione Q_a perdite per trasmissione e ventilazione con zone a temperatura prefissata </p>
	<p>Guadagni di energia</p> $Q_{gr} = Q_s + Q_i$ <p> Q_{gr} guadagni globali di energia Q_s apporti dovuti alla radiazione solare Q_i apporti energetici interni </p>
	<p>Bilancio energetico</p> $Q_h = Q_i - (\eta_u \times Q_{gr})$ <p> Q_h fabbisogno energetico utile in regime di funzionamento continuo annuale η_u fattore di utilizzo </p>

Tabella 2 - Il bilancio energetico annuale di un edificio

fase di costruzione, compravendita o locazione di un edificio. L'attestato di certificazione energetica degli edifici comprende dati di riferimento, quali i valori vigenti a norma di legge e i valori di riferimento, che consentono al committente/consumatore di valutare e raffrontare il rendimento energetico dell'edificio. L'attestato sarà anche corredato di raccomandazioni per il miglioramento del rendimento energetico in termini di costi-benefici. Per quanto attiene il metodo di calcolo del rendimento energetico degli edifici, classificati per tipologie (abitazioni, condomini, uffici, strutture scolastiche, ospedali, alberghi e ristoranti, impianti sportivi, esercizi commerciali per la vendita all'ingrosso o al dettaglio, altri tipi di fabbricati) la direttiva specifica che devono essere presi in esame i seguenti aspetti: posizione ed orientamento dell'edificio in riferimento alle caratteristiche microclimatiche dell'area; illuminazione naturale; caratteristiche termiche e di tenuta all'aria dell'edificio; dotazioni impiantistiche; sistemi solari passivi e protezione solare; sistema di condizionamento dell'aria e di ventilazione. In base all'autonomia riconosciuta dalla Comunità agli Stati membri, questi possono escludere dall'applicazione dei requisiti minimi di rendimento energetico alcune categorie di edifici, come ad esempio edifici storici, chiese, edifici agricoli ed i fabbricati temporanei con un tempo di utilizzo non superiore a due anni.

4.3 La provincia autonoma di Bolzano e il comune di Carugate

Un elemento che ha caratterizzato l'evoluzione della legislazione italiana in questo settore, è stata la realizzazione di numerose iniziative locali, volte ad anticipare gli obiettivi della direttiva europea 2002/91/CE. Di seguito si riportano due casi esemplari per l'impegno ed i risultati raggiunti: il progetto Casa Clima ed il regolamento edilizio del comune di Carugate. Istituito nel 2002 dalla provincia autonoma di Bolzano, il progetto Casa Clima si pone l'obiettivo di migliorare il risparmio energetico degli edifici permettendo a chiunque di poter comprendere, mediante alcuni dati semplici e comprensibili, il valore dell'efficienza

energetica di un edificio. L'Ufficio Aria e Rumore dell'Agencia per l'Ambiente di Bolzano²¹, ha deciso di utilizzare un sistema simile alla classificazione introdotta dalla Comunità Europea per gli elettrodomestici, per la classificazione degli edifici, creando quindi una certificazione energetica intuitiva e semplice dove vengono indicati la posizione dell'edificio, la classificazione e il relativo consumo, mentre una targhetta posta all'ingresso dell'edificio ne indica la classe²². L'obbligo di farsi riconoscere come minimo la classe C, ha poi contribuito a diffondere un sistema che ha permesso di abbattere i costi aggiuntivi necessari a migliorare l'efficienza energetica degli edifici, fino a rendere economicamente sconveniente la realizzazione un edificio tradizionale.

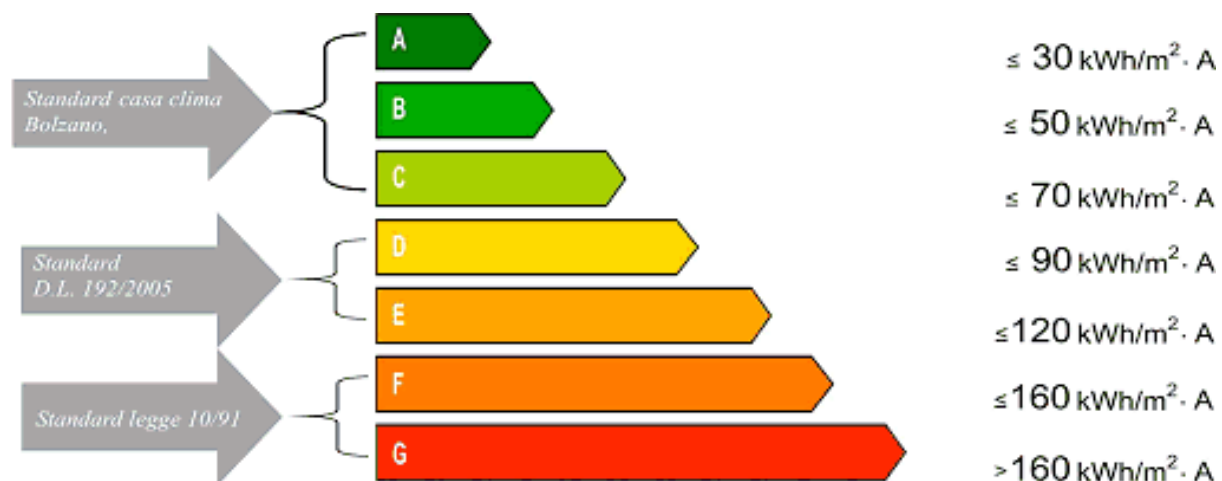


Figura 17 - Classificazione energetica degli edifici - fonte Casa Clima

Sulla scia della certificazione energetica Casa Clima, il Comune di Carugate (Mi) ha introdotto la certificazione energetica mediante lo strumento del Regolamento Edilizio, imponendo alcune prescrizioni che agiscono sul fronte del risparmio energetico, sull'utilizzo di fonti di energia rinnovabili e sull'impiego di tecnologie bioclimatiche. Tramite il Regolamento Edilizio, vengono aumentati i limiti imposti dalla legge 10/91, imponendo trasmittanze minime per ogni elemento edilizio (2,3 W/m²K per i serramenti, 0,50 W/m²K per basamenti su terreno o cantine, ecc), viene reso obbligatorio per tutti i nuovi edifici

²¹ Diretto da Norbert Lantschner, promotore del progetto CasaClima.

²² Soluzione che ha innestato una meccanismo di stimolo alla certificazione, in quanto ogni residente vuole dimostrare di aver realizzato una casa il più possibile efficiente.

l'installazione di impianti solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria e viene concessa la realizzazione di serre bioclimatiche, che se rispondenti ad una serie di caratteristiche obbligatorie, sono considerate volumi tecnici e quindi non computabili ai fini volumetrici. Il Regolamento interviene poi anche su aspetti riguardanti la progettazione sostenibile, introducendo l'obbligo alla schermatura delle superfici vetrate esposte ad alto irraggiamento solare, imponendo la razionalizzazione del consumo di acqua potabile e l'utilizzo delle acque meteoriche raccolte dalle coperture degli edifici per l'irrigazione dei giardini, la pulizia dei cortili e l'alimentazione delle lavatrici.

4.4 Il recepimento della direttiva europea 2002/91/CE

Il recepimento della direttiva 2002/91/CE è avvenuto nel nostro Paese con il Decreto Legislativo n.192 del 19 agosto 2005 “*Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia*”, rivisto ed integrato dal Decreto Legislativo n.311 del 29 dicembre 2006 “*Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia*” e dal Decreto del presidente della Repubblica n.59 del 2 aprile 2009 “*Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo n. 192 del 19 agosto 2005, concernente l'attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia*”. Come richiesto dalla direttiva Europea, i presenti decreti stabiliscono i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili di energia.

4.5 Le normative regionali sulla certificazione energetica

Con il Decreto Legislativo n.12 del 31 marzo 1998 “*Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59*”, la questione energetica è diventata materia a competenza legislativa

concorrente, nel senso che le norme statali di dettaglio sono sostituite dalle norme regionali quando adottate. In attesa dei decreti attuativi del D.Lgs. n.192 del 2005, alcune regioni (prima fra tutte la Lombardia, seguita poi da Piemonte, Emilia Romagna, Liguria e Valle d'Aosta) hanno legiferato in tal senso creando un certo “caos normativo” tra gli addetti ai lavori. Nonostante l’attuale confusione, la speranza è che la certificazione energetica degli edifici non diventi un punto di arrivo al quale tendere per documentare il rispetto di una norma, ma un punto di partenza in grado di supportare scelte progettuali finalizzate al miglioramento delle prestazioni energetiche complessive del sistema edilizio con l'obiettivo di ottimizzare la resa del sistema edificio-impianto, riducendo gli sprechi ed elevando il livello di qualità dell'intero settore, a vantaggio non solo degli utenti diretti ma anche degli organi di Governo e della società civile.

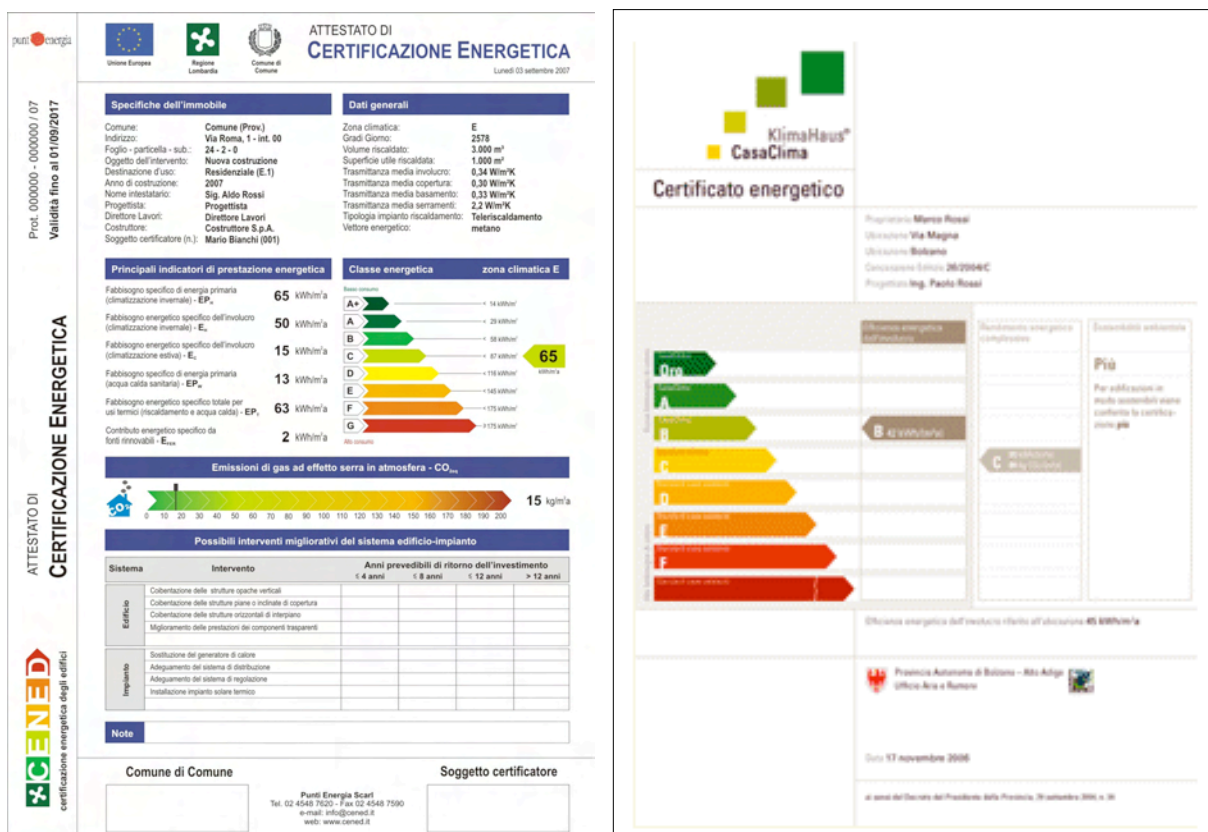


Figura 18 - Attestato Cened (Reg. Lombardia) e CasaClima a confronto - fonti Cened e Casa Clima

4.6 *Il certificato energetico*

Per capire come è fatto e quali informazioni contiene un certificato energetico, immaginiamo di doverne redigere uno per il sig. Mario Rossi, proprietario di un appartamento nel comune di Eupilio (CO). Poichè siamo in Lombardia attueremo i calcoli con il software CENED (il principio di calcolo è identico per tutte le regioni). Per prima cosa facciamo un rilievo fotografico per inquadrare l'edificio, capirne l'orientamento e verificare eventuali ombreggiamenti dovuti a piante o edifici vicini.



Figura 19 - *Prospetto nord est dell'immaginario edificio*



Figura 20 - *Prospetto sud ovest dell'immaginario edificio*

A questo punto eseguiamo il rilievo del nostro appartamento (al 1° piano) per ricavarne la superficie utile lorda e la superficie riscaldata (dati da inserire nel software);

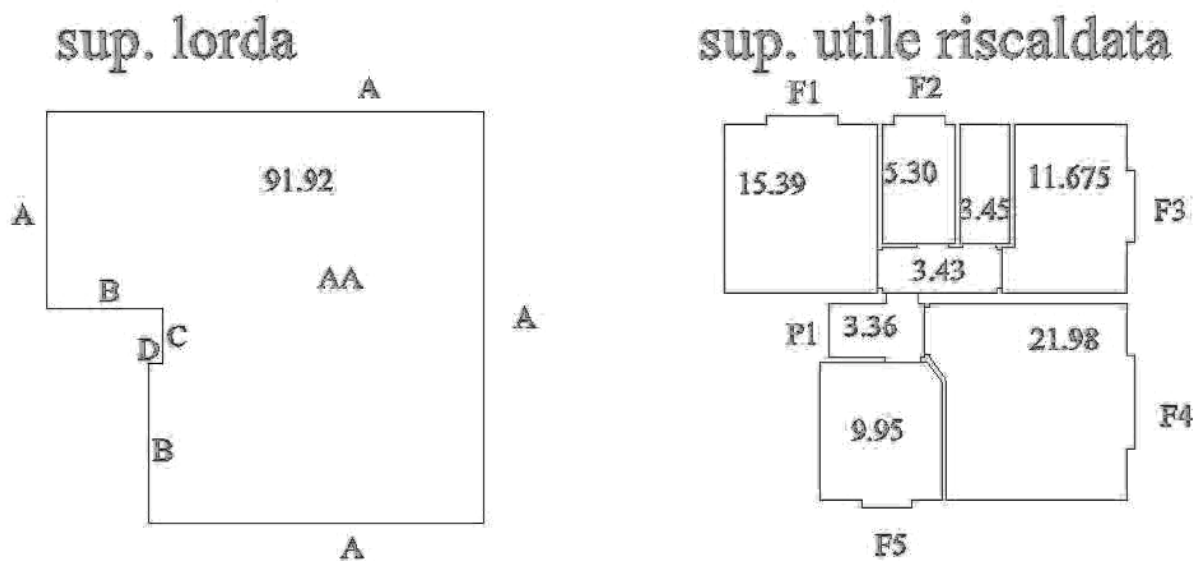


Figura 21 - Rilievo dell'appartamento da certificare

facciamo una ricerca storica per capire come è stato realizzato (tipo di muratura, impiantistica, ecc) e se nel corso degli anni sono stati eseguiti dei lavori di ristrutturazione; verificiamo i serramenti (rilevandoli) e gli impianti esistenti. Scopriamo quindi che il nostro edificio, composto da 3 appartamenti termoautonomi collegati da una scala interna non riscaldata, è stato realizzato nel 1961 in muratura portante e che nel 2004 il sig. Rossi ha sostituito gli infissi e rifatto i pavimenti. Dal rilievo ricaviamo invece che il nostro appartamento ha: un'altezza interna di 2,70 m; una superficie lorda di 91,92 m²; una superficie riscaldata di 74,54 m²; un volume lordo di 275,76 m³ (91,92 m² x 3,0 m) ed un volume riscaldato di 201,26 m³ (74,54 m² x 2,7 m). Dalla verifica: che i serramenti sono in legno con doppio vetro; che il calore per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria è prodotto da una caldaia a gas del 1994; che il calore viene immesso negli ambienti attraverso radiatori a parete; che l'impianto è regolato da un termostato a parete che interrompe la circolazione a temperatura ambiente raggiunta. Dal database UNI (già inserito nel software CENED) ricaviamo i dati climatici di Eupilio (zona climatica E, gradi giorno 2775, ecc..).

Elaboriamo adesso tutti i dati nel modo corretto:

- Pareti verticali di tipo A (vedi pianta della sup. lorda), pareti omogenee realizzate in mattoni pieni e intonacate, di spessore 45 cm e senza isolante:

Esposizione	Superficie lorda	Superficie serramento	Superficie cassonetti	Superficie sottofinestra	Superficie netta
EST	31,8 m ²	3,82 m ²	0,82 m ²	2,46 m ²	23,06 m ²
SUD	29,79 m ²	7,44 m ²	1,13 m ²	1,45 m ²	19,77 m ²
OVEST	24,36 m ²	2,64 m ²	0,33 m ²	0 m ²	21,39 m ²
NORD	14,25 m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²	14,25 m ²

- Pareti verticali di tipo B (tra appartamento e corpo scala), pareti omogenee realizzate in mattoni pieni e intonacate, di spessore 30 cm e senza isolante:

Esposizione	Superficie lorda	Superficie serramento	Superficie cassonetti	Superficie sottofinestra	Superficie netta
OVEST	11,64 m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²	11,64 m ²
NORD	7,23 m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²	7,23 m ²

- Parete verticale di tipo C (tra appartamento e corpo scala), parete omogenea realizzata in mattoni pieni e intonacata, di spessore 20 cm e senza isolante:

Esposizione	Superficie lorda	Superficie serramento	Superficie cassonetti	Superficie sottofinestra	Superficie netta
NORD	3,9 m ²	1,68 m ²	0 m ²	0 m ²	2,22 m ²

- Parete verticale di tipo D (tra appartamento e corpo scala), parete omogenea realizzata in mattoni forati e intonacata, di spessore 20 cm e senza isolante:

Esposizione	Superficie lorda	Superficie serramento	Superficie cassonetti	Superficie sottofinestra	Superficie netta
EST	1,17 m ²	1,68 m ²	0 m ²	0 m ²	1,17 m ²

- Solai AA (pavimento e soffitto), solai verso ambienti riscaldati da altro impianto:

Esposizione	Superficie lorda	Superficie serramento	Superficie cassonetti	Superficie sottofinestra	Superficie netta
SOPRA	91,92 m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²	91,92 m ²
SOTTO	91,92 m ²	0 m ²	0 m ²	0 m ²	91,92 m ²

e li inseriamo nel software CENED per ottenere il bilancio energetico mensile, le dispersioni per trasmissione, le dispersioni per ventilazione, gli apporti interni di calore, gli apporti solari ed il fabbisogno termico dell'appartamento (o fabbisogno energetico dell'involucro).



Figura 22 - Bilancio energetico mensile (foglio riscaldamento) - software Cened

Dal grafico otteniamo il bilancio energetico mensile dell'abitazione. I valori più rilevanti sono: le dispersioni per trasmissione (159,9 kW/m²); le dispersioni per ventilazione (27,9 kW/m²); gli apporti interni (23,9 kW/m²) e gli apporti solari (13,2 kW/m²). La somma degli apporti e delle dispersioni (159,90 + 27,90 - 23,90 - 13,20) ci dà il fabbisogno energetico dell'involucro, calcolato in 150,70 kW/m²a. Questo valore indica il fabbisogno di calore dell'edificio per metro quadrato e all'anno, calore necessario a mantenere all'interno dell'appartamento una temperatura di 21° C. Adesso è il momento di calcolare l'energia primaria consumata dall'impianto. Se, infatti, il nostro immobile ha bisogno di 150,7 kW/m²a, non è detto che il nostro impianto abbia un'efficienza tale da trasformare in calore tutta l'energia primaria (in questo caso il gas) che acquistiamo (senza dimenticare che usiamo la

caldaia anche per scaldare l'acqua ad uso domestico). Il “fabbisogno specifico di energia primaria per l'acqua calda” viene calcolato in automatico dal programma in 43,6 kW/m²a, valore stimato in base alla destinazione d'uso e alla superficie dell'immobile. Dall'efficienza della caldaia (82,%) il software calcola invece il “fabbisogno specifico di energia primaria per il riscaldamento”:

$$150,7 : 0,82 = \mathbf{183,8 \text{ kW/m}^2\mathbf{a}}$$

Questo valore determina la classe energetica del nostro immobile, ed essendo superiore a 175 kW/m²a il nostro appartamento si colloca in classe G. Il software ci fornisce anche altri valori, come: il fabbisogno energetico specifico dell'involucro per la climatizzazione estiva dell'edificio; il fabbisogno energetico totale per usi termici (fabbisogno specifico di energia primaria per il riscaldamento + fabbisogno specifico di energia primaria per l'acqua calda) e la quantità di anidride carbonica emessa annualmente nell'atmosfera (Kg/m²a).

Tipo di combustibile	Valore [kg CO _{2eq} / kWh]
Gas naturale	0,1998
GPL	0,2254
Gasolio	0,2642
Olio combustibile	0,2704
Biomasse	0
Rifiuti Solidi Urbani	0,1703
Energia elettrica	0,4332

Tabella 3 - Fattori di emissione per il calcolo della quantità di CO_{2eq} - CENED

La procedura di calcolo che abbiamo eseguito, svolta ai sensi del D.Lgs 192/2005 ed ai sensi del D.Lgs 311/2006, è identica in tutta Italia, anche se l'impaginazione cambia da regione a regione. Nel nostro caso, essendo il comune di Eupilio in Lombardia, lo abbiamo redatto ai sensi del DGR (Regione Lombardia) n° VIII/5018 e s.m.i. e con il software Cened. Redigendo quanto appena fatto assieme ai dati del proprietario, ai dati dell'immobile e ad eventuali informazioni su come abbassare il fabbisogno di energia (realizzazione di un cappotto

esterno, sostituzione dei serramenti, sostituzione della caldaia, installazione di un impianto solare termico, ecc) otteniamo la Relazione Tecnica, che assieme all'Attestato (un riassunto di tutte le informazioni) forma il "Certificato Energetico" dell'immobile.

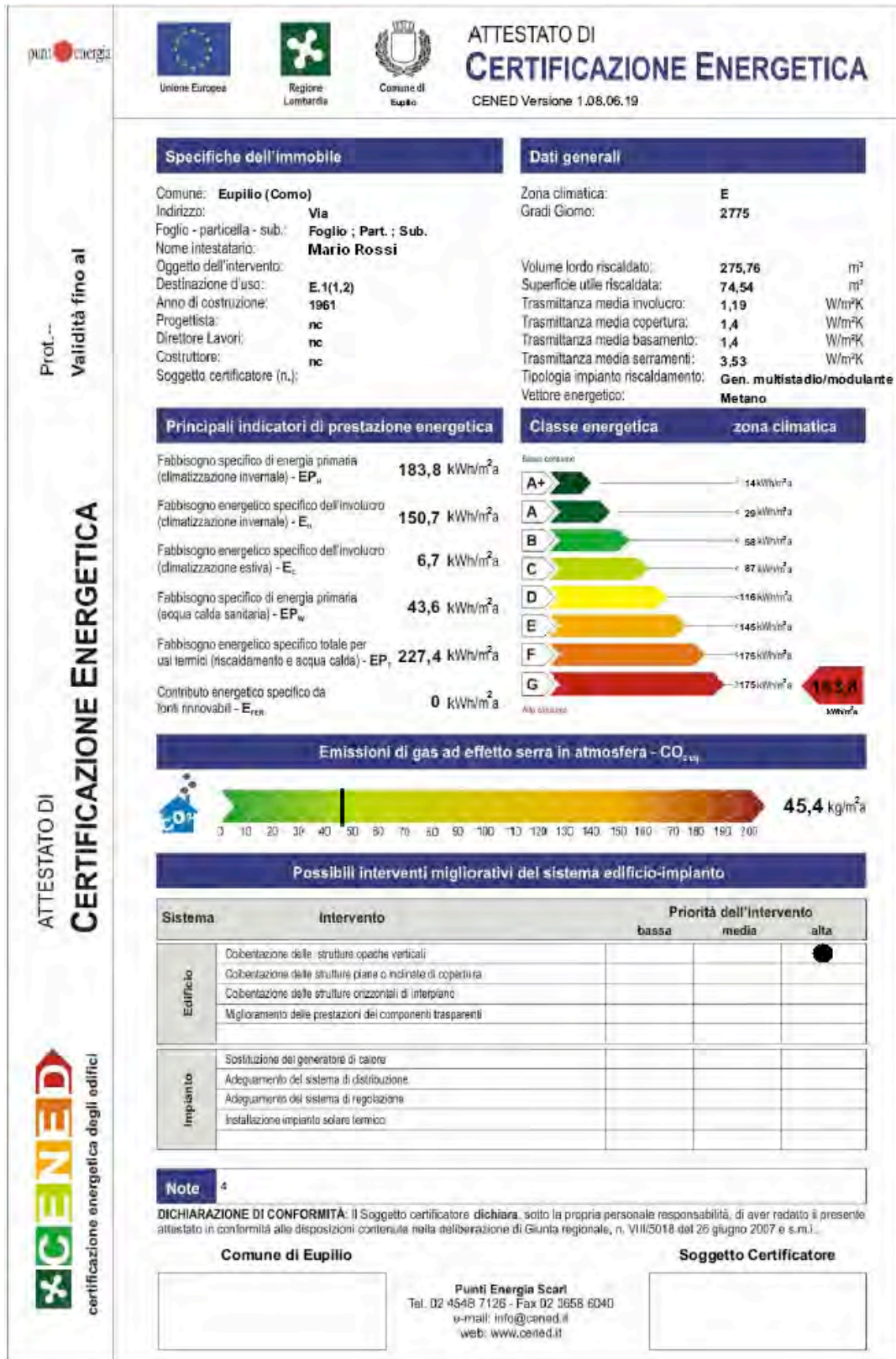


Figura 23 - L'Attestato di Certificazione Energetica del nostro appartamento- software CENED

LE CONDIZIONI DI BENESSERE

5.1 *Il concetto di benessere*

Nell'ambito delle abitazioni a basso consumo energetico, si sente spesso parlare di benessere ambientale, ma cosa si intende esattamente con questo termine? In generale, si può dire che il benessere (da ben-essere = “stare bene” o “esistere bene”) rappresenta il grado di soddisfazione di un individuo nei confronti dell'ambiente in cui si trova, esso è un fatto assolutamente personale e cambia da individuo ad individuo, secondo alcune condizioni soggettive come l'abbigliamento, il tipo d'attività e la situazione psicofisica del momento.



Figura 24 - *Persone in stato di benessere ma in ambienti differenti* - fonte Airnova

Essendo l'ambiente e l'attività svolta al suo interno oggetto di progettazione, possiamo semplificare il concetto di benessere globale con quello di benessere ambientale, definendo quest'ultimo come quella particolare condizione determinata da: temperatura, livello di rumorosità, luminosità, umidità e qualità dell'aria rilevati all'interno dell'ambiente. In pratica possiamo distinguere tra benessere termoigrometrico, benessere respiratorio (o Indoor Air Quality), benessere acustico e benessere luminoso.

5.2 *Il benessere termoigrometrico*

In un ambiente, in cui vi sono condizioni termoigrometriche uniformi, il benessere termico delle persone presenti dipende dal valore assunto da sei parametri fondamentali. Quattro di

questi sono essenzialmente legati alle condizioni ambientali interne dei locali abitati (definite variabili ambientali) e sono: la temperatura dell'aria, l'umidità relativa, la velocità dell'aria e la temperatura media radiante delle superfici che delimitano l'ambiente. Gli altri due invece, sono riferiti all'individuo (dette variabili soggettive) e sono: l'attività fisica svolta e la resistenza termica del vestiario indossato. Prima di procedere all'analisi delle variabili ambientali e soggettive, cerchiamo di capire come un individuo percepisce l'ambiente circostante. L'organismo umano possiede un sistema di termoregolazione molto efficiente, capace di mantenere, quando in salute, la temperatura interna del corpo ad un valore di circa 37°C. Quando la temperatura aumenta troppo vengono inizialmente dilatati i vasi sanguigni facendo aumentare il flusso ematico nella pelle, successivamente inizia la sudorazione. Se la temperatura interna diminuisce troppo, la prima reazione è la vasocostrizione che riduce il flusso ematico nella pelle, la seconda reazione è l'aumento di energia all'interno del corpo, ottenuta attraverso i "brividi" (rapide contrazioni muscolari asincrone provocate da impulsi cerebrali involontari). Il sistema di controllo che regola la temperatura corporea è molto complesso e il suo funzionamento non è ancora completamente chiaro. Comunque, i due principali gruppi di sensori del sistema di controllo sono noti e sono disposti nella pelle e nell'ipotalamo. Il sensore che si trova nell'ipotalamo si attiva in condizioni di caldo e fa partire il meccanismo di "raffreddamento" quando la temperatura interna sale oltre i 37°C. I sensori localizzati nella pelle sono sensibili al freddo ed attivano il meccanismo di "riscaldamento" quando la temperatura della pelle scende sotto i 34°C. Se i sensori (caldo e freddo) inviano segnali contemporaneamente, il nostro cervello inibirà una o tutte e due le reazioni di difesa. In pratica, quando la temperatura della pelle scende sotto i 34°C, i sensori del freddo iniziano ad inviare segnali al cervello, se la temperatura continua a scendere i segnali aumentano (il numero di segnali è anche funzione della velocità di variazione della temperatura, con l'aumentare di tale velocità aumenta anche il numero di segnali trasmessi).

Analogamente, il sensore nell'ipotalamo invia segnali quando la temperatura supera i 37°C e, all'aumentare della temperatura, aumenta il numero di segnali. Il numero di segnali inviati al cervello dalla pelle e dall'ipotalamo sono alla base della nostra valutazione termica dell'ambiente. L'interpretazione dei segnali da parte del cervello può essere paragonata ad un tiro alla fune, con i sensori del caldo e del freddo che rappresentano le due estremità. Se i segnali provenienti da ambedue le parti hanno

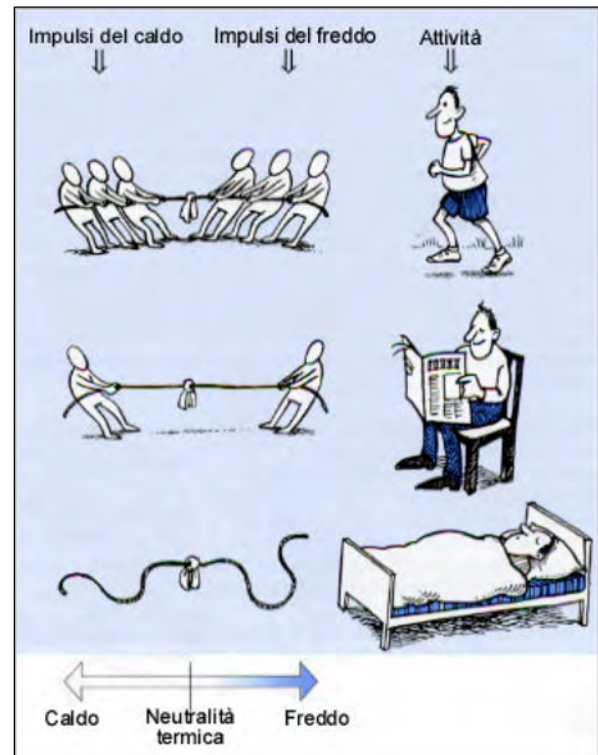


Figura 25 - Neutralità termica - fonte Airnova

la stessa ampiezza, si raggiunge la neutralità termica, altrimenti si sente o troppo freddo o troppo caldo. Una persona in condizioni di neutralità termica, completamente rilassata, costituisce un caso a parte, perché non attiva né i sensori del caldo né quelli del freddo. Bisogna, inoltre, ricordare che i segnali provenienti dal sensore del calore determinano variazioni molto più lente rispetto a quelli provenienti dal sensore del freddo, di conseguenza sopportiamo meglio il caldo del freddo. Riassumendo possiamo dire che per mantenere il comfort termico devono essere soddisfatte due condizioni: la prima è che la combinazione della temperatura della pelle e della temperatura interna fornisca la sensazione di neutralità termica; la seconda è che il bilancio di energia sul corpo umano sia soddisfatto. Ovvero: l'energia metabolica prodotta deve essere uguale alle dispersioni di calore verso l'ambiente, come descritto dall'equazione:

$$M = C + R + E + P$$

dove, le grandezze, con dimensioni di potenza [W], rappresentano:

- M , potenza dovuta all'attività metabolica;

- C , flusso termico scambiato per convezione;
- R , flusso termico scambiato per irraggiamento tra il corpo e le superfici circostanti;
- E , flusso termico associato all'evaporazione d'acqua dal corpo umano;
- P , potenza meccanica scambiata dal corpo con l'ambiente esterno.

L'energia metabolica M , anche detta tasso metabolico o metabolismo, è il motore del corpo ed il suo ammontare dipende dalle due variabili soggettive: l'attività fisica svolta e la resistenza termica del vestiario indossato. Normalmente, nelle normali attività domestiche, tutta l'attività muscolare viene trasformata in energia termica, mentre durante l'esecuzione di lavori fisici pesanti o lo svolgimento di attività agonistica, questa trasformazione può limitarsi al 75%, in quanto parte dell'energia viene immagazzinata nel corpo sotto forma di energia potenziale. Tradizionalmente, l'energia metabolica viene misurata in *met*, dove 1 met = 58,15 W/m² di superficie corporea. Avendo un uomo una superficie corporea di circa 1,7 m² possiamo calcolare che in condizioni di comfort termico, con un livello di attività pari a 1 met, una

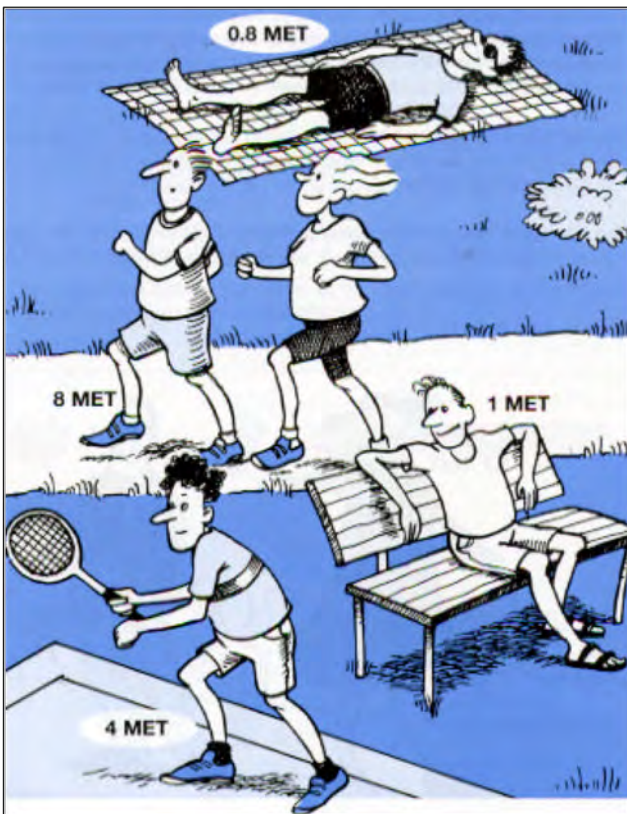


Figura 26 - Attività fisica e valori di met - fonte Airnova

persona avrà un metabolismo e quindi una dispersione di energia pari a circa 100W. Esperimenti hanno evidenziato che il nostro metabolismo raggiunge il minimo durante il sonno (0,8 met) ed il suo massimo durante attività sportive, dove viene spesso raggiunto il valore di 10 met. Inoltre, è stato evidenziato che quando si valuta il tasso metabolico di un individuo, è importante usare un valore medio calcolato sulla base dei valori relativi alle attività svolte dal soggetto nell'ora precedente, in quanto il

corpo ricorda, anche se in modo approssimato, l'ora precedente di attività. L'abbigliamento riduce la dispersione di energia dal corpo umano e pertanto è classificato in funzione del livello di isolamento termico fornito. L'unità di misura solitamente usata per la resistenza termica dell'abbigliamento è il *clo*, dove $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$. La scala dei *clo* è strutturata in modo che ad una persona nuda corrisponda un valore di 0 *clo*, mentre ad un abbigliamento maschile da ufficio corrisponde una resistenza termica pari a 1 *clo*. Il valore totale della resistenza termica dell'abbigliamento può essere calcolato se si conoscono i capi di vestiario indossati dalla persona in oggetto ed i corrispondenti valori di resistenza, facendo una semplice addizione di questi valori. Bisogna però ricordare che le sedie tappezzate, i sedili delle macchine ed i letti riducono la dispersione di energia dal corpo e vanno quindi tenuti presenti nel calcolo totale.

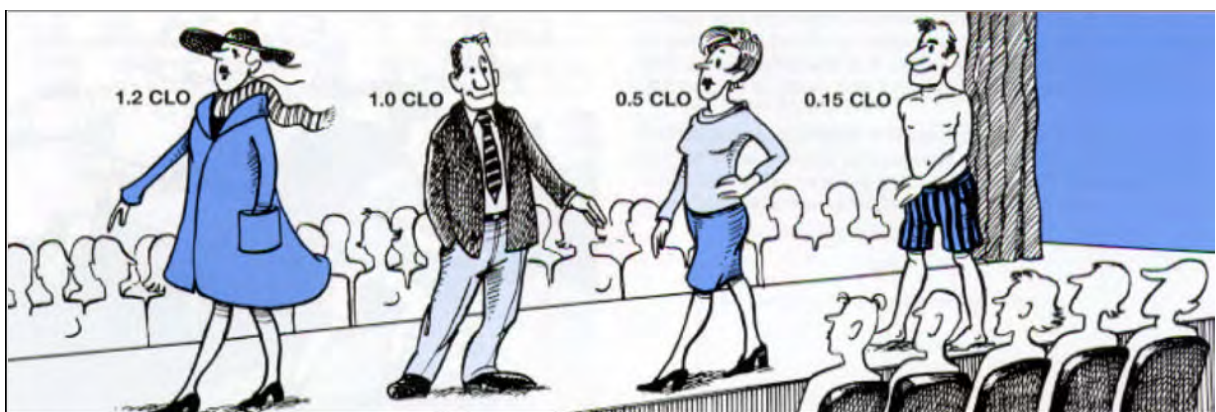


Figura 27 - Valori di *clo* per capo di vestiario - fonte Airnova

Le altre quattro grandezze dell'equazione di bilancio energetico del corpo ($C + R + E + P$) dipendono dalle variabili ambientali, ovvero: la temperatura dell'aria, l'umidità relativa, la velocità dell'aria e la temperatura media radiante delle superfici che delimitano l'ambiente. Per quanto riguarda il flusso termico scambiato per convezione C , bisogna evidenziare che deriva da due contributi: quello dovuto alla respirazione e quello dovuto allo scambio tra la superficie esterna del corpo e l'ambiente. Questa parte del bilancio termico, in relazione all'attività fisica svolta e alla resistenza termica del vestiario, dipende dalla temperatura dell'aria e dalla sua velocità. Il flusso termico scambiato per irraggiamento R , dipende sempre

della resistenza termica dell'abbigliamento e della loro emissività, ma anche dalle temperature delle pareti dei locali. Per definire questo parametro è stato introdotto il concetto di *temperatura media radiante (tmr)*, ovvero la temperatura uniforme che dovrebbero avere le pareti, per realizzare uno scambio termico per irraggiamento con l'occupante, pari a quello che avviene nell'ambiente in esame. L'entità di questo flusso termico può essere regolata dallo stesso sistema di termoregolazione del corpo umano, attraverso un innalzamento o un abbassamento della *temperatura media cutanea (ts)*.

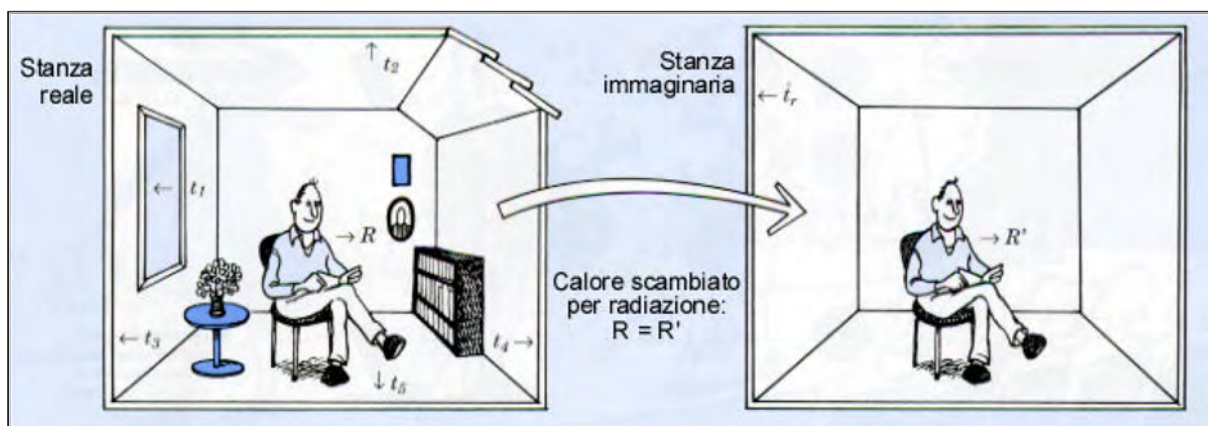


Figura 28 - Concetto di temperatura media radiante - fonte Airnova

I flussi R e C vengono denominati insieme *flusso sensibile*, poiché entrambi contribuiscono ad un'effettiva variazione della temperatura dell'ambiente circostante. Il flusso termico dovuto ad evaporazione E è composto da tre contributi: quello dovuto alla respirazione, quello dovuto all'acqua che evapora dal corpo umano, e quello dovuto alla traspirazione del sudore. Complessivamente, tale flusso, anche definito come *flusso latente* in quanto si manifesta solo attraverso una produzione di vapore cui non corrisponde un'effettiva variazione della temperatura dell'ambiente circostante, dipende sia dalla temperatura dell'aria che dall'umidità relativa. Infine, vi è la potenza meccanica P e si usa definire, per le diverse attività, un rendimento meccanico $\eta_M = P/M$. Si osservi che tale potenza P , oltre che positiva, può essere anche negativa, se ad esempio camminiamo in discesa. Nella maggior parte dei casi, in ambito residenziale, si può considerare un'attività sedentaria per cui vale la regola che $P \approx 0$ e

quindi $\eta_M \approx 0$. In base al bilancio termoisometrico del corpo umano, è stata elaborata un'equazione del benessere ad opera del danese P. O. Fanger, in relazione alle grandezze individuate come significative.

$$f(M/A, \eta_M, R'_{ab}, t_{mr}, t_a, i_a, w_a, t_s, E_t) = 0$$

con: M/A potenza metabolica per unità di superficie corporea²³ [W/m²]; η_M rendimento meccanico; R'_{ab} resistenza termica dell'abbigliamento [m²K/W]; t_{mr} temperatura media radiante delle pareti dell'ambiente [°C]; t_a temperatura dell'aria [°C]; i_a umidità relativa dell'aria; w_a velocità dell'aria [m/s]; t_s temperatura media cutanea [°C]; E_t flusso termico dovuto al fenomeno della sudorazione corporea [W]. Questa equazione di bilancio è sempre soddisfatta per la sopravvivenza dell'individuo, ma ciò non significa che questi si trovi in condizione di benessere termoisometrico. Sulla base di un approccio statistico, si è potuto stabilire che in condizioni di benessere sono verificate due relazioni del tipo:

$$t_s = f_1(M/A, \eta); E_t = f_2(M/A, \eta)$$

Si ottiene in questo modo, definitivamente, l'equazione di benessere di Fanger:

$$F(M/A, \eta, R'_{ab}, t_{mr}, t_a, i_a, w_a) = 0$$

Fissati, allora, il tipo di attività svolta all'interno dei locali interessati e il tipo d'abbigliamento caratteristico degli stessi ambienti, è possibile agire sulle variabili ambientali per l'ottenimento delle condizioni di benessere termoisometrico. Essendo comunque tale equazione di difficile uso, si preferisce spesso ricorrere a diagrammi di più immediata lettura. La normativa vigente in materia, non potendo stabilire condizioni ottimali (essendo l'approccio di tipo statistico), specifica quelle che possono essere considerate condizioni accettabili. Esse dipendono dall'intensità degli scambi termici fra l'uomo e l'ambiente circostante, ma allo stesso tempo anche fra l'aria contenuta e le superfici adiacenti. Da questa

²³ Per la relazione di Du Bois: $A = 0,202 * m^{0,425} * h^{0,725}$, dove m è il peso in kg e h l'altezza in metri, si ottiene un valore per una persona adulta media di $A \approx 1,8m^2$

dipendenza ne consegue, che quanto più elevata è la temperatura delle pareti, tanto più bassa si può mantenere la temperatura dell'aria. In inverno, invece, quando negli ambienti si riscontrano temperature intorno ai 18°C - 20°C, le temperature delle superfici non dovrebbero scendere al di sotto dei 17°C. È importante rilevare, però, che tali valutazioni sono profondamente di carattere soggettivo e, così, i fisiologi hanno formulato un valore medio, ricavato dal voto numerico espresso da un campione di persone che, in definite condizioni d'attività e vestiario, sono state assoggettate a diverse situazioni ambientali. Il voto medio previsto (Predicted Mean Vote, PMV), espresso secondo la scala ASHRAE²⁴ di “sensazione termica”, comprende sei grandezze significative e permette di individuare la percentuale di individui insoddisfatti (Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD).

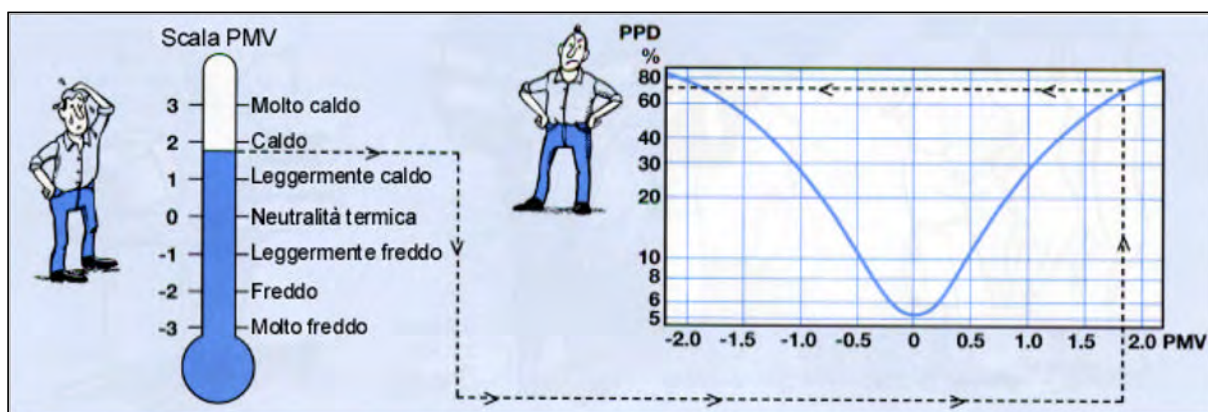


Figura 29 - Indici PMV e PPD - fonte Airnova

Tali indici, calcolabili secondo procedure sviluppate dallo stesso Fanger, vengono attualmente adottati per la valutazione delle condizioni termoigrometriche ambientali nei riflessi del benessere da numerose norme o raccomandazioni sull'argomento, in particolare dalla norma ISO 7730 (Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort), che fissa i limiti di applicabilità di tale procedura di calcolo. La recente norma ASHRAE (ANSI-ASHRAE 55-2004: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy) definisce, come condizioni ambientali accettabili per il benessere, quelle che si prevede possano essere dichiarate tali da almeno

²⁴ American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers

l'80% degli individui. Questa situazione è individuata nella norma ISO 7730 con la condizione: $-0,5 \leq PMV \leq +0,5$, cui corrisponde $PPD = 10\%$. Per $PMV = 0$ si prevede, invece, un 5% di persone insoddisfatte. In generale, la temperatura assunta nei locali è quella dell'aria, come ribadisce il DPR 412/93 al comma 1 dell'articolo 4, ma il reale effetto sull'uomo proviene da un unico parametro che congloba due delle variabili ambientali dell'equazione di Fanger: la temperatura media radiante (t_{mr}) e la temperatura dell'aria (t_a). Esso è definito come *temperatura operativa* (t_o), in funzione della quale è possibile esprimere il flusso termico scambiato complessivamente per irraggiamento R e per convezione C_{conv} (si esclude il contributo dovuto al fenomeno della respirazione $C_{resp} = C - C_{conv}$).

$$R + C_{conv} = f_{ab} \times a_{irr} \times A \times (t_{ab} - t_{mr}) + f_{ab} \times a_c \times A \times (t_{ab} - t_a),$$

$$R + C_{conv} = A \times f_{ab} \times [a_{irr} \times (t_{ab} - t_{mr}) + a_c \times (t_{ab} - t_a)],$$

dove si ricorda il significato dei termini: f_{ab} coefficiente d'area dell'abbigliamento; a_{irr} coefficiente d'adduzione dovuto all'irraggiamento; a_c coefficiente d'adduzione dovuto alla convezione; A superficie corporea; t_{ab} temperatura superficiale dell'abbigliamento; t_{mr} temperatura media radiante delle pareti; t_a temperatura dell'aria interna.

Ponendo ora, $t_o = (a_{irr} \times t_{mr} + a_c \times t_a) : a$, con $a = a_{irr} + a_c$, risulta:

$$R + C_{conv} = A \times f_{ab} \times a \times (t_{ab} - t_o)$$

Nelle situazioni maggiormente di interesse risulta che $a_{irr} \approx a_c$ e allora si ottiene più semplicemente:

$$t_o = (t_{mr} + t_a) : 2$$

È interessante notare che, in prossimità dei requisiti ottimali di gradimento, l'umidità relativa dell'aria ha un effetto modesto sul soddisfacimento termico ambientale. Sarebbe, in ogni modo, opportuno che tale grandezza fosse mantenuta tra il 40% e il 60%, anche perché, entro questo intervallo, vengono minimizzati i processi di proliferazione di microrganismi patogeni.

5.2.1 Il discomfort

Una persona che globalmente avverte una sensazione di neutralità termica, può avere parti del corpo esposte a condizioni che comportano un disagio termico (detto discomfort) e questo disagio termico localizzato non può essere eliminato agendo sulla temperatura di un luogo chiuso, ma è necessario rimuovere le cause del surriscaldamento o del raffreddamento locale. I fenomeni legati al discomfort termico locale possono essere raggruppati in 4 categorie: il discomfort da corrente d'aria; il discomfort da asimmetria media radiante; il discomfort da differenza verticale della temperatura dell'aria ed il discomfort da temperatura del pavimento.

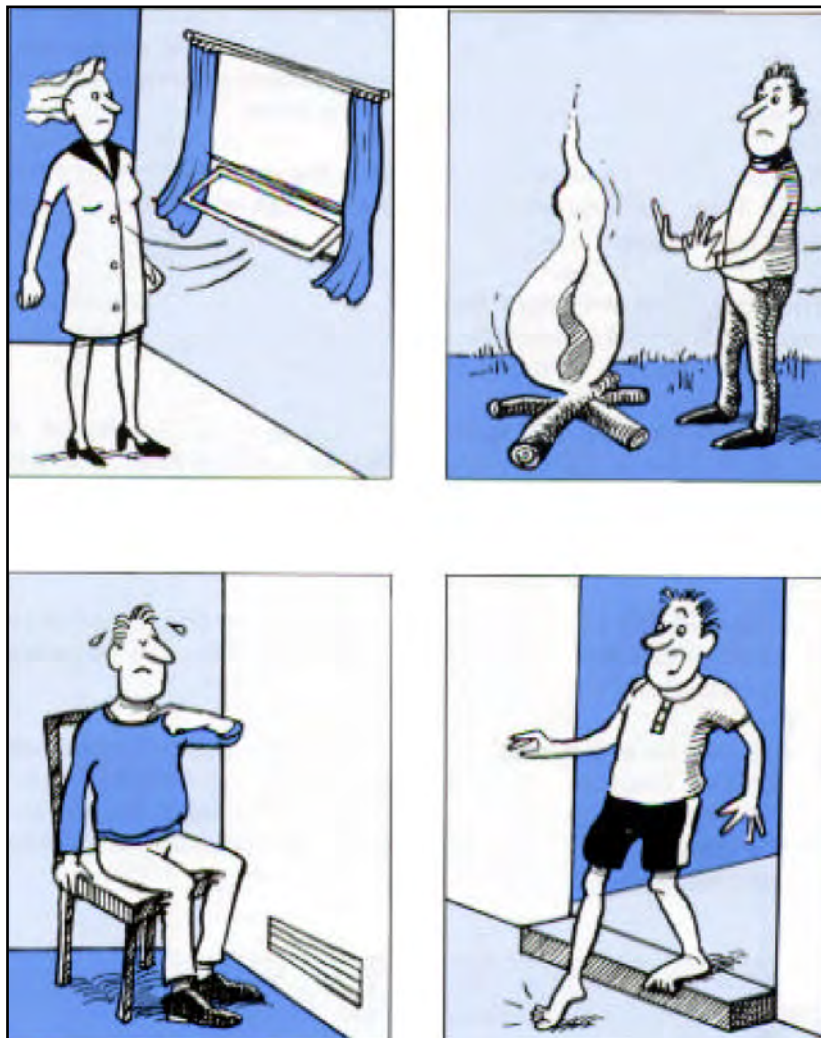


Figura 30 - Le 4 categorie di discomfort termico locale - fonte Airnova

Quando si parla di condizioni termoigrometriche negli edifici dotati di aria condizionata, nei veicoli e negli aeroplani, le correnti d'aria rappresentano la causa più comune di lamentele.

L'uomo non riesce a sentire la velocità dell'aria, così, quello di cui si lamenta sono gli

indesiderati raffreddamenti locali del corpo. La quantità di energia termica dispersa dal corpo a causa delle correnti d'aria dipende dalla temperatura, dalla velocità media e dalla turbolenza dell'aria. Il discomfort, grazie al funzionamento dei sensori del freddo localizzati nella pelle, non dipende solo dal flusso termico locale, ma anche dalla fluttuazione della temperatura della pelle. Un flusso d'aria caratterizzato da elevata turbolenza è molto più fastidioso di uno a bassa turbolenza, anche se entrambi determinano la stessa perdita di energia termica. Per quanto riguarda la già citata norma ISO 7730, i limiti massimi per la velocità di movimento dell'aria, consigliati per limitare il disagio da corrente in ambienti ove viene svolta attività leggera (sedentaria) sono: nella stagione invernale 0,15 m/s e nella stagione estiva 0,25 m/s. Se si sta in piedi di fronte ad un falò ardente in un freddo giorno d'autunno, dopo un po' di tempo, avremo la parte posteriore del corpo fredda e la parte anteriore rovente. Questo esempio spiega quanto una radiazione termica non uniforme possa essere causa di una sensazione di discomfort per il corpo. Per rappresentare questa non uniformità del campo radiante, viene usata la grandezza asimmetria media radiante, definita come differenza tra le temperature radianti dell'ambiente sulle facce opposte di un elemento piano. L'asimmetria radiante verticale è valutata con riferimento ad un elemento piano orizzontale a 0,6 m dal piano di pavimento; l'asimmetria radiante orizzontale è valutata rispetto ad un elemento piano verticale a 0,6 m dal piano di pavimento.

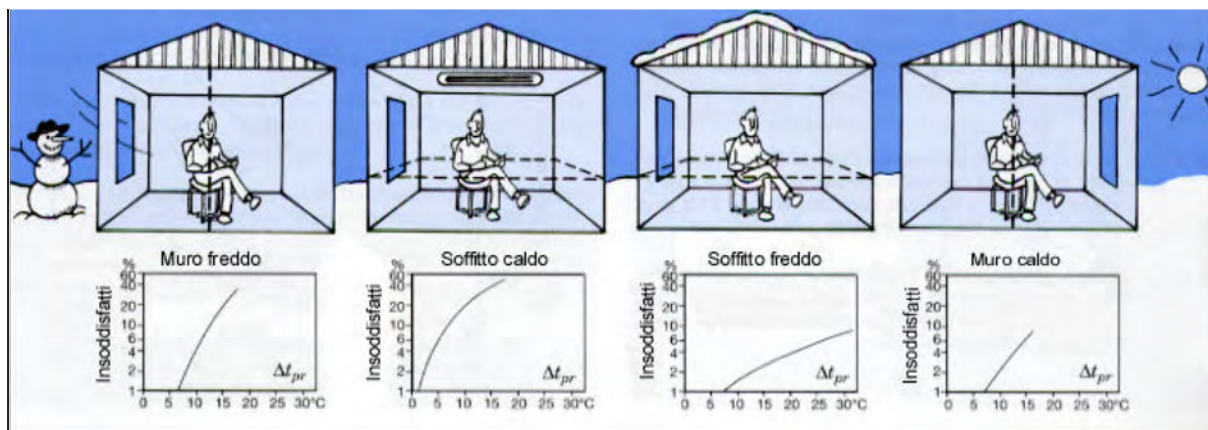


Figura 31 - Casi di asimmetria media radiante - fonte Airnova

Generalmente non è piacevole sentire caldo alla testa ed allo stesso tempo avvertire freddo ai piedi, a prescindere dal fatto che ciò sia causato da irraggiamento o convezione. Da esperimenti svolti con persone in stato di neutralità termica è risultato che alla differenza di 3°C nella temperatura dell'aria tra la testa ed i piedi, la percentuale di insoddisfatti è pari al 5%. Di conseguenza i 3°C sono riportati nella UNI EN ISO 7730 come livello di accettabilità per una persona seduta che svolge un'attività sedentaria.

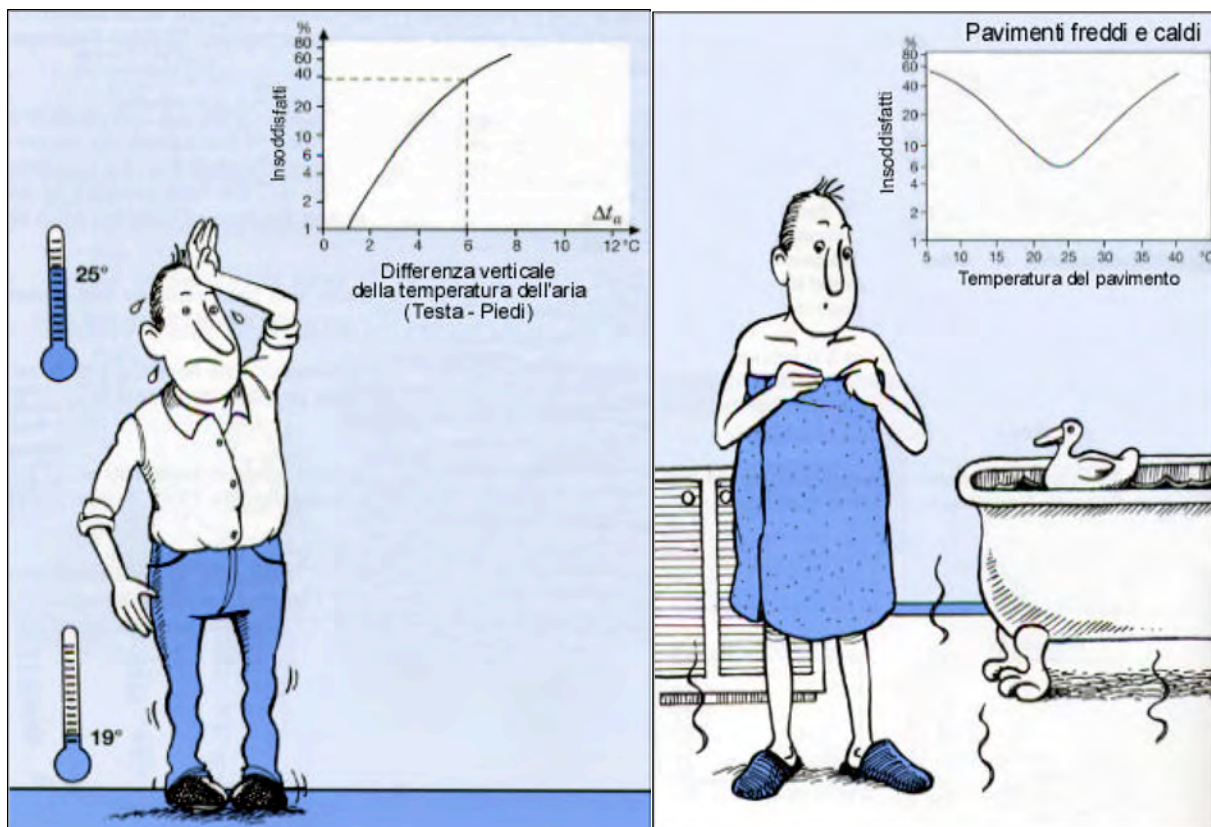


Figura 32 - Discomfort da differenza verticale della temperatura dell'aria e da pavimento freddo - fonte Airnova

Il discomfort locale ai piedi, dovuto al contatto diretto con il pavimento, è spesso determinato da una temperatura di quest'ultimo troppo alta o troppo bassa. Parlare però di discomfort causato dalla temperatura del pavimento non è corretto in quanto è lo scambio termico attraverso i piedi che produce il discomfort e questo scambio dipende anche da altri parametri oltre che dalla temperatura del pavimento. Di grande importanza sono la conducibilità termica e la capacità termica del materiale di cui è fatto il pavimento e il tipo di calzature indossate. Il motivo per cui un pavimento di sughero dà una sensazione termica di caldo, mentre un

pavimento di marmo dà una sensazione di freddo è nella differenza tra i valori di conducibilità termica e capacità termica esistente tra i due materiali. Se le persone indossano normali calzature da casa, il materiale di cui è fatto il pavimento è meno importante; in ogni caso, è stato possibile stabilire dei livelli di comfort proprio per questa situazione "normale". La norma UNI EN ISO 7730 fissa i livelli di comfort per una attività sedentaria in corrispondenza di una percentuale di insoddisfatti pari al 10%, il che porta a considerare accettabile una temperatura del pavimento variabile tra 19°C e 29°C. I limiti di temperatura del pavimento nel caso di persone a piedi nudi sono leggermente differenti: in un bagno la temperatura ottimale è pari a 29°C per un pavimento in marmo e a 26°C per un pavimento di linoleum o legno.

$-0.5 < PMV < +0.5$
DR (% di persone insoddisfatte a causa della corrente d'aria) < 15%
Le differenze verticali della temperatura dell'aria a livello della caviglia e della testa devono essere minori di 3°C.
L'asimmetria della temperatura radiante da finestre fredde deve essere minore di 10°C.
L'asimmetria della temperatura radiante dal soffitto caldo deve essere minore di 5°C
La temperatura superficiale del pavimento deve essere compresa tra i 19°C ed i 29°C
L'umidità relativa deve essere compresa tra il 30% ed il 70%

Tabella 4 - Condizioni di benessere termoigrometrico in un ambiente con attività sedentarie UNI EN ISO 7730

5.3 Il benessere respiratorio

Se domandiamo ad una persona di definire la "qualità dell'aria", questa difficilmente sarà in grado di rispondere, ma di sicuro ci indicherà come esempio l'aria "fresca" di montagna. Questo perché, anche se inconsciamente, siamo in grado di capire che l'aria di un ambiente aperto non è viziata, e se di montagna difficilmente conterrà elementi inquinanti. Il primo ad occuparsi della qualità dell'aria fu l'igienista bavarese Max Joseph von Pettenkofer. Intuendo

che in un ambiente confinato in cui sono presenti delle persone, si consuma ossigeno e quindi aumenta la percentuale di biossido di carbonio, iniziò a ricercare quale fosse la percentuale oltre la quale l'aria è considerata consumata e non è più buona. Scoprì quindi che la maggioranza delle persone considera consumata l'aria quando la concentrazione di biossido di carbonio supera lo 0,1% (oggi chiamato valore di Pettenkofer). A partire dagli anni '70, in concomitanza con l'aumento del costo dell'energia, la conseguente riduzione dei tassi di ventilazione e l'utilizzo di nuovi materiali per la costruzione, la qualità dell'aria all'interno degli edifici è notevolmente peggiorata, causando nelle persone una serie di disturbi conosciuti col nome di sick building syndrome (sindrome dell'edificio malato). Non una vera e propria malattia, ma una serie di disturbi che affliggono le persone che passano molte ore all'interno di un ambiente chiuso, quali: cefalea, irritazione agli occhi, al naso e alla gola, tosse secca, pelle disidratata, vertigini o nausea, difficoltà di concentrazione, affaticamento e particolare sensibilità agli odori che svaniscono o si attenuano fortemente quando ci si allontana dall'edificio. Nuove ricerche hanno portato alla classificazione dei nuovi inquinanti presenti nell'aria distinguendoli in inquinanti di natura fisica (radon, polveri, fibre naturali ecc), di natura chimica (composti organici volatili, ossidi di azoto ecc) e microbiologica (funghi, muffe, pollini ecc) ed a una ridefinizione della qualità dell'aria. Lo standard ASHRAE 62/99 (ventilation for acceptable indoor air quality) definisce accettabile la qualità dell'aria interna quando in essa non sono presenti contaminanti conosciuti in concentrazioni dannose, secondo quanto stabilito dalle autorità competenti, e rispetto alla quale una notevole quantità di persone, almeno l'80%, non esprime insoddisfazione. Da sempre, il miglior modo per ottenere una buona qualità dell'aria all'interno degli edifici, è quello di "sostituire" l'aria "viziata" (interna) con l'aria "fresca" (esterna), tramite la ventilazione naturale²⁵ o la

²⁵ Il termine "ventilazione naturale" indica sia le perdite d'aria incontrollate, che si verificano attraverso crepe e interstizi (p.e. infiltrazioni e fughe d'aria), sia l'aria entrante e uscente da un ambiente, attraverso aperture create intenzionalmente come porte o finestre. Le infiltrazioni e le fughe d'aria sono dovute a differenze di pressione esistenti tra l'ambiente interno ed esterno.

ventilazione meccanica. Il fabbisogno di aria fresca si determina a partire dalla richiesta minima espressa dalle norme UNI EN 832 “Prestazione termica di edifici residenziali” e UNI 10339 “Impianti aeraulici a fini di benessere” in $30\text{m}^3/\text{h}$ - $40\text{m}^3/\text{h}$ per persona. Il problema, per un edificio a basso consumo energetico, è che un simile ricambio d’aria provoca una perdita di calore del 20% - 30%. Per ovviare a questo inconveniente, gli edifici ad alta resa energetica ricambiano l’aria attraverso un impianto di ventilazione meccanica collegato ad uno scambiatore che ne recupera il calore. Tale ricambio viene misurato in numero di ricambi d’aria esterna (o tasso di ricambio dell’aria [h^{-1}]) è definito come il rapporto del volume di aria esterna entrante in un ambiente circoscritto per ogni ora e il volume reale dell’ambiente stesso. In altre parole, è il numero di volte, in un’ora, che l’aria presente in una stanza viene sostituita da aria proveniente dall’esterno. In un edificio residenziale si sceglie normalmente un tasso di ricambio compreso tra $0,4 \text{ h}^{-1}$ e $0,6 \text{ h}^{-1}$.

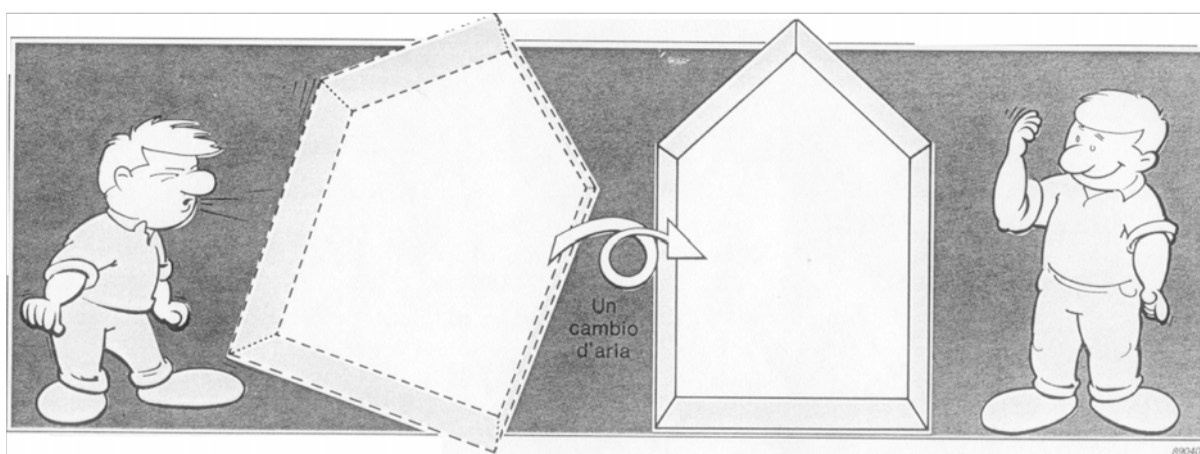


Figura 33 - Rappresentazione del cambio d’aria - fonte Airnova

Un’innovazione piuttosto recente nella definizione della qualità d’aria è data da un parametro chiamato "efficienza di ventilazione²⁶" che, con il diffondersi degli edifici a basso consumo energetico sta acquisendo sempre più importanza. Difatti, una soddisfacente distribuzione della ventilazione nell’edificio è condizione indispensabile ma non sufficiente ad assicurare la qualità dell’aria in un ambiente. Una ventilazione insoddisfacente può infatti essere dovuta

²⁶ Indica la quantità di aria viziata realmente sostituita in un ambiente.

alla temperatura dell'aria immessa, ai gradienti termici presenti nell'ambiente, al tipo ed al posizionamento delle bocche di mandata e degli estrattori, all'arredamento e agli oggetti presenti nelle stanze.



Figura 34 - Ventilazione insoddisfacente dovuta a corto circuito e ventilazione ottimale - fonte Airnova

Informazioni dettagliate circa la distribuzione della ventilazione si possono ottenere misurando l'età dell'aria in una stanza. L'età dell'aria è la misura del tempo di permanenza dell'aria stessa nell'ambiente. Mentre l'aria "più giovane" (o fresca) si trova sempre presso i punti di immissione di aria esterna nell'ambiente, quella "più vecchia" può trovarsi ovunque.

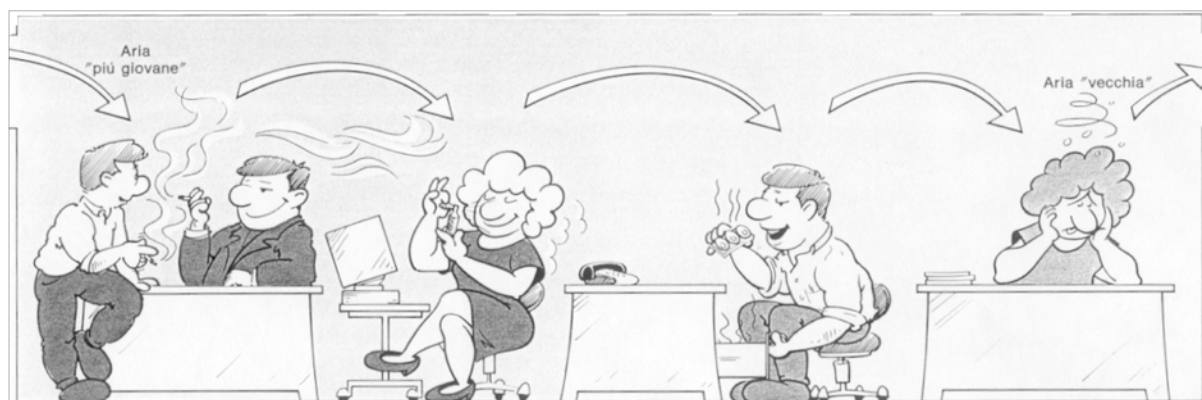


Figura 35 - Rappresentazione dell'età dell'aria in un ambiente - fonte Airnova

L'età dell'aria può essere considerata in due differenti modi: età media dell'aria locale ed età media dell'aria dell'ambiente. L'età media dell'aria locale si usa quando si deve valutare la ventilazione in posti di lavoro individuali o la distribuzione dell'aria in ambienti a ventilazione naturale. Viene anche usata per la realizzazione di mappe dei flussi d'aria tra ambienti diversi.

Il vantaggio di questo metodo consiste nell'applicazione dei risultati su singoli punti: per esempio, possono essere localizzate le zone di aria stagnante da cui trarre indicazione sulle

correzioni della ventilazione, al fine di migliorare la qualità dell'aria nei singoli posti di lavoro. L'età media dell'aria dell'ambiente è un numero che quantifica le caratteristiche di funzionamento dei sistemi di ventilazione. Questo numero dipende dalla quantità di ventilazione fornita alla stanza e dall'efficienza con la quale viene distribuita. L'età media dell'aria dell'ambiente, viene misurata nel condotto di aspirazione del sistema di ventilazione. Questa misura, tuttavia, non è precisa se una parte apprezzabile dell'aria lascia l'ambiente seguendo altri percorsi. Viceversa, nel caso di corto circuito del sistema di ventilazione, l'aria estratta sarà più fredda e avrà minor concentrazione di sostanze inquinanti rispetto alla situazione media dell'ambiente. L'efficienza con la quale il sistema di ventilazione cambia l'aria dell'ambiente, può essere calcolata dividendo l'età media dell'aria del locale nel punto di aspirazione, per il doppio dell'età media dell'aria dell'ambiente. L'età media dell'aria locale nel punto di aspirazione è uguale al volume reale dell'ambiente, diviso la quantità del flusso d'aria che lo interessa. L'età media dell'aria dell'ambiente si ottiene quando nell'ambiente stesso il flusso d'aria è perfetto; situazione caratterizzata dal fatto che l'aria più "vecchia" si trova in corrispondenza del condotto di aspirazione. Se l'aria nella stanza è mescolata perfettamente, l'età media dell'aria dell'ambiente sarà doppia rispetto alle condizioni di flusso perfetto. In questo caso, l'età dell'aria nel condotto di aspirazione è uguale a

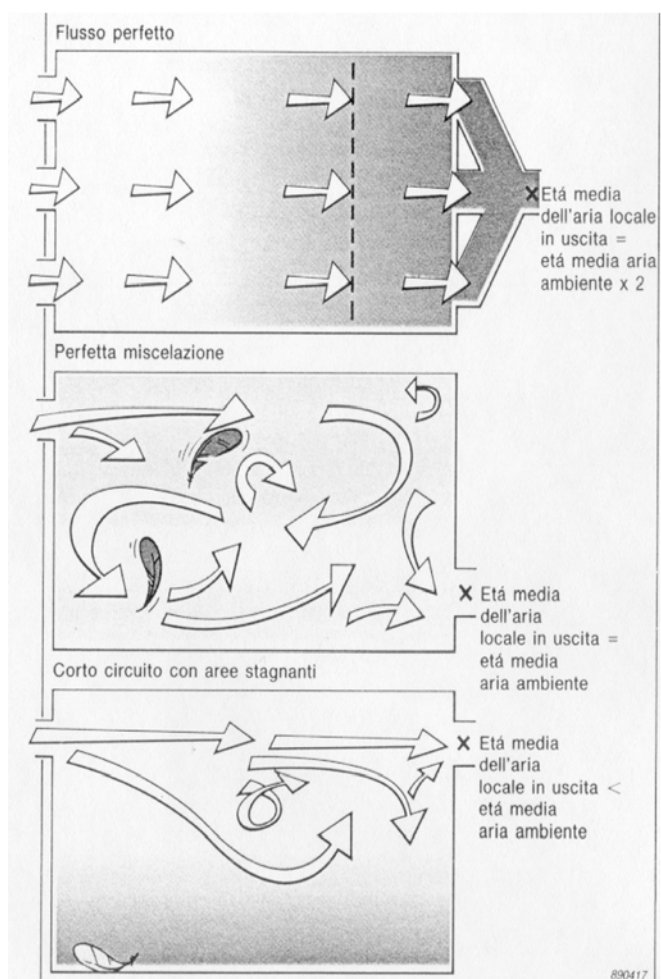


Figura 36 - Efficienza di ventilazione - fonte Airnova

quella dell'ambiente. Se nell'ambiente ci sono zone in cui l'aria ristagna, l'età media dell'aria risulterà maggiore rispetto alle condizioni di perfetto mescolamento. Le zone di aria stagnante sono caratterizzate dal fatto che l'aria estratta è più "giovane" dell'età media dell'aria dell'ambiente. I vantaggi di un flusso perfetto e gli svantaggi di un corto circuito della ventilazione, possono essere evidenziati considerando un ambiente in cui sostanze inquinanti e calore siano uniformemente generati. Nel caso di flusso perfetto, l'aria estratta sarà più calda e avrà maggior concentrazione di sostanze inquinanti rispetto alla situazione media dell'ambiente. Viceversa, nel caso di corto circuito del sistema di ventilazione, l'aria estratta sarà più fredda e avrà minor concentrazione di sostanze inquinanti rispetto alla situazione media dell'ambiente. L'efficienza con la quale il sistema di ventilazione cambia l'aria dell'ambiente, può essere calcolata dividendo l'età media dell'aria del locale nel punto di aspirazione, per il doppio dell'età media dell'aria dell'ambiente. L'età media dell'aria locale nel punto di aspirazione è uguale al volume reale dell'ambiente, diviso la quantità del flusso d'aria che lo interessa.

5.4 Il benessere acustico

Possiamo definire il benessere acustico come l'assenza di uno o più rumori, tali da provocare fastidio al riposo e alle attività umane, o di intensità tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi. A fini progettuali, possiamo affermare che il controllo del rumore ambientale è un elemento fondamentale ai fini del comfort globale e non deve mai essere trascurato nella progettazione degli edifici, così come l'impatto acustico sul territorio non deve mai essere tralasciato nella pianificazione urbanistica. In generale, l'intensità della sensazione auditiva è strettamente legata al livello di pressione sonora (espresso in dB) ed alla composizione spettrale del suono. Per fornire criteri di valutazione del disturbo da rumore e quindi individuare prescrizioni e rimedi per garantire il benessere acustico, sono stati

introdotti parametri differenti in funzione del tipo di sorgente considerata. Fra i rumori esterni rivestono un ruolo determinante in ambito cittadino quelli dovuti al traffico veicolare, ferroviario ed aereo, od alla presenza di attività industriali, mentre fra i rumori interni particolarmente rilevanti sono quelli dovuti ad elettrodomestici, al calpestio ed agli impianti tecnologici. L'attuale quadro legislativo relativo all'inquinamento acustico ambientale concerne sia la tutela dell'ambiente abitativo che quella dell'ambiente esterno, oltre a disciplinare l'inquinamento acustico in ambito lavorativo

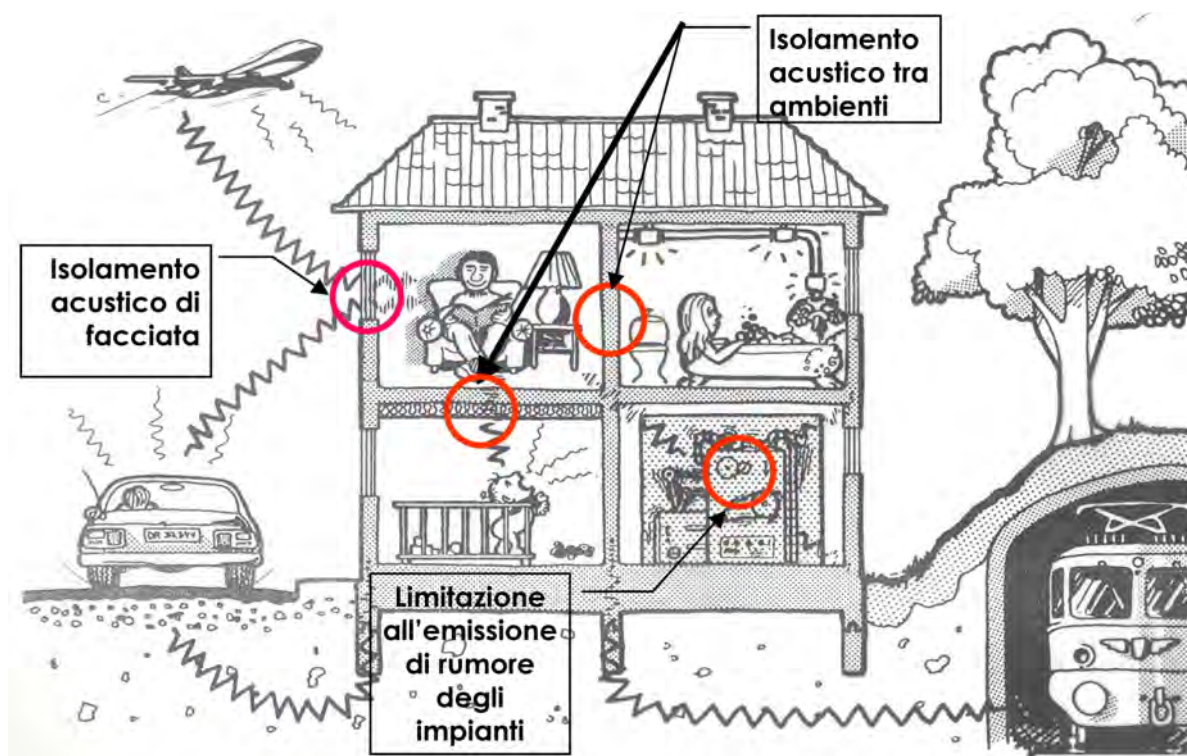


Figura 37 - Sorgenti di rumore interno ed esterno - fonte T.A.D. Università di Firenze

In particolare, la tutela dell'ambiente abitativo è affidata alla Legge quadro sull'inquinamento acustico n. 447/95 ed ai relativi Decreti Attuativi. Come indice di valutazione del disturbo viene assunto il livello equivalente continuo, L_{eq} espresso in dB. Per quanto attiene l'ambiente esterno la Legge 447/95 stabilisce valori limite di emissione, di immissione, e valori di qualità suddivisi in un periodo diurno (dalle 06.00 alle 22.00) e notturno (dalle 22.00 alle 06.00) e per classi di destinazione d'uso del territorio (sei classi), che sono fissati dal DPCM 5/12/97.

I requisiti acustici passivi degli edifici sono definiti nel DPCM 5/12/97, in cui gli edifici sono divisi in sette categorie in funzione della destinazione d'uso.

Classificazione degli ambienti	Categoria edificio	R'_w
A	Residenze o assimilabili	50
B	Uffici ed assimilabili	50
C	Alberghi, pensioni e simili	50
D	Ospedali, cliniche, case di cura e simili	50
E	Scuole e simili	50
F	Attività ricreative, di culto e simili	50
G	Attività commerciali e simili	50

Tabella 5 - Livelli di prestazione DPCM 5/12/97

Per ciascuna categoria il DPCM 5/12/97 stabilisce i requisiti dell'edificio, dei componenti e degli impianti tecnologici.

Categorie	R'_w minimo	$D_{2m,nT,w}$ minimo	$L'_{n,w}$ max	$L_{As,max}$ max	$L_{A,eq}$ max
Residenze, alberghi, pensioni e assimilabili.	50	40	63	35	35
Scuole e simili.	50	48	58	35	25
Ospedali, cliniche, case di cura e simili.	55	45	58	35	25
Uffici per attività ricreative, di culto, di commercio e simili.	50	42	55	35	35

Tabella 6 - Requisiti acustici passivi degli edifici DPCM 5/12/97

In dettaglio, sono definiti i seguenti requisiti acustici:

- requisiti acustici passivi degli elementi di separazione fra due distinte unità immobiliari: indice di potere fonoisolante apparente fra due ambienti R'_w , in cui sono considerati anche gli effetti della trasmissione per fiancheggiamento;
- isolamento acustico standardizzato di facciata: $D_{2m,nT,w}$;
- indice del livello di rumore da calpestio di solai normalizzato: $L_{n,w}$;

- per gli impianti a funzionamento discontinuo (ascensori, scarichi servizi igienici, bagni) è introdotto l'indice di valutazione del livello massimo di pressione sonora ponderato in curva A con costante di tempo slow: $L_{As,max}$;
- per gli impianti a funzionamento continuo (impianti di climatizzazione) è introdotto l'indice di valutazione del livello massimo di pressione sonora ponderato in curva A: $L_{A,eq}$.

Per quanto attiene i componenti dell'edificio, particolare attenzione rivestono, oltre alle pareti esterne, i divisori fra alloggi contigui ed i solai. Il comportamento acustico di un divisorio colpito da una onda acustica (della quale una parte è assorbita, una parte provocherà onde trasversali ed una parte farà vibrare la struttura) dipende dalle caratteristiche del materiale che compone la struttura (modulo elastico, densità, condizioni di vincolo al contorno). La differenza di pressione fra l'ambiente disturbante e l'ambiente disturbato è funzione del potere fonoisolante R del divisorio e delle caratteristiche acustiche dell'ambiente disturbato (forma geometrica, coefficienti di assorbimento di pareti, porte, soffitto, ecc.). In generale con un divisorio di buona qualità acustica si può facilmente ottenere un potere fonoisolante di almeno 40 dB. Il potere fonoisolante di una parete dipende anche dalla massa superficiale del divisorio m' (kg/m^2). In generale, supponendo una incidenza normale dell'onda sonora, ad ogni raddoppio del prodotto della frequenza f per la massa superficiale m , il potere fonoisolante R_0 aumenta di 6 dB (Legge della massa). Alle basse ed alle alte frequenze, tuttavia il comportamento del divisorio si può discostare anche notevolmente da quanto previsto con la legge della massa; in particolare alle basse frequenze a causa della rigidità, che si verifica per pareti sottili molto rigide e di peso trascurabile, e dello smorzamento interno della parete, mentre alle alte frequenze si può verificare un effetto coincidenza in corrispondenza delle frequenze intorno alla frequenza critica f_c . In funzione della tecnologia con la quale è realizzata una parete, risulta differente il suo comportamento nei confronti dell'isolamento acustico. Per pareti pesanti monostrato, realizzate con blocchi di laterizio o di

calcestruzzo e argilla espansa, di differente spessore e geometria, la determinazione dell'indice di valutazione del potere fonoisolante viene effettuata mediante leggi empiriche elaborate sulla base di dati sperimentali e funzione della massa superficiale del componente. Per quanto attiene le pareti doppie (realizzate in genere con laterizio: tramezze, mattoni semipieni, laterizio alleggerito in pasta, ecc.) occorre scegliere componenti di opportuna massa specifica e larghezze dell'intercapedine opportunamente dimensionate (meglio utilizzare materiali diversi e di differente spessore), inoltre al fine di evitare riflessioni al suo interno o fenomeni di coincidenza è buona regola riempire l'intercapedine con un materiale fonoassorbente (ad esempio lana di roccia o fibre di canapa o cellulosa). Ulteriori miglioramenti si ottengono agendo sulla massa del componente e intonacando anche il lato interno della prima parete. Il potere fonoisolante di una parete doppia sarà sempre maggiore di quello di una singola ma inferiore, per l'impossibilità di realizzare un disaccoppiamento perfetto delle due pareti, alla somma dei due poteri fonoisolanti. Per controllare i rumori impattivi (calpestio, elettrodomestici solidali con il solaio, ecc.) dovrebbe essere interposto fra l'elemento disturbante e il solaio un prodotto elastico smorzante, in modo che l'urto venga assorbito e la quota di energia propagata attraverso le strutture venga in tal modo ridotta. Questa considerazione vale anche per il rumore da calpestio per il quale la strategia ottimale consiste nel realizzare pavimenti galleggianti in cui fra pavimento e solaio venga interposto uno strato di materiale resiliente (ad esempio un foglio di sughero) atto a realizzare una discontinuità fra i due elementi costruttivi. Un pavimento galleggiante di buona esecuzione, in cui cioè lo strato di materiale elastico sia rivoltato con i bordi verso l'alto contro le pareti dell'ambiente, consente, a titolo di esempio, di ottenere, rispetto ad un solaio tradizionale, una riduzione del rumore di calpestio anche di 30 dB.

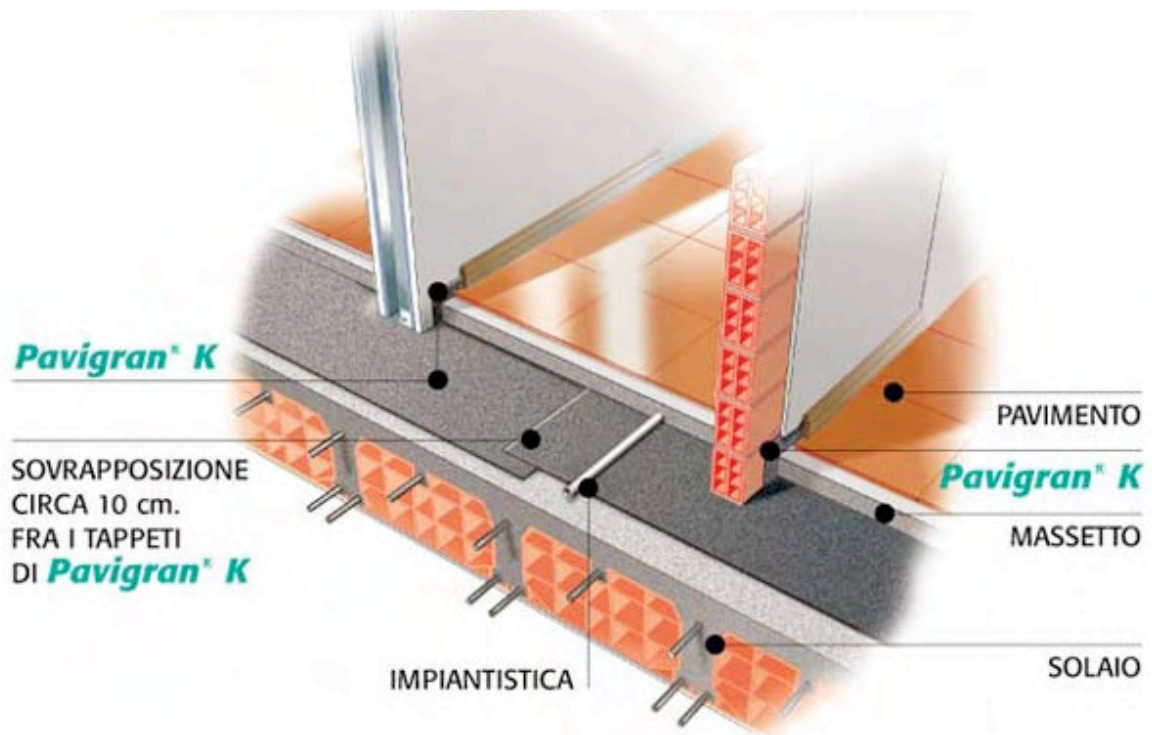


Figura 38 - Posa in opera di tappeto fonoisolante - fonte Maxitalia

Infine, l'uso di impianti di climatizzazione è spesso fonte di disturbo dovuto a rumore e vibrazioni e pertanto devono essere progettati seguendo criteri che tengano conto di questo aspetto utilizzando solette di idoneo spessore, supporti antivibranti ecc.

5.5 Il benessere luminoso

Il comfort visivo può essere definito, in linea generale, come una condizione in cui sia sempre possibile una chiara ricezione di un messaggio luminoso. A tal fine, ogni progetto deve consentire la corretta illuminazione degli ambienti integrando la luce naturale con quella artificiale. Compito primo del progettista resta comunque quello di garantire un'ottima illuminazione naturale, e solo in un secondo tempo elaborare un buon progetto illuminotecnico. È interessante sottolineare, inoltre, come il comfort visivo non è legato, come si sarebbe indotti a pensare, solo agli effetti della luce artificiale, ma anche a quelli dell'illuminazione naturale. Vari studi dimostrano che i danni provocati dalle radiazioni infrarosse ed ultraviolette sono spesso ascrivibili più alla luce solare che a quella delle

lampade. Per non sforzare la vista ed avere una buona prestazione visiva è essenziale rispettare almeno le seguenti condizioni:

- ottenere un grado d'illuminamento adeguato;
- disporre le fonti di luce in modo equilibrato;
- fare in modo che l'intensità della luce si mantenga uniforme nel tempo;
- evitare ogni fonte di abbagliamento.

Il soddisfacimento di queste quattro esigenze fisiologiche è richiesto non soltanto alla luce artificiale, ma ovviamente anche a quella naturale. Se, al contrario, l'illuminazione non è corretta, gli effetti negativi più comuni che si possono riscontrare sono l'affaticamento visivo e mentale, la cefalea e altri disturbi anche non direttamente correlati allo stress visivo. Inoltre, un adeguato livello d'illuminazione non è l'unico parametro da considerare per una progettazione del sistema illuminante a regola d'arte. È dimostrato, infatti, che eccedere nei valori di luminosità può risultare anche dannoso per l'individuo, in particolare se intento a compiere azioni che richiedono uno sforzo visivo, quanto il lavorare con livelli di luce insufficienti. Nella progettazione, bisogna inoltre ricordare che le caratteristiche cromatiche di una sorgente luminosa possono avere un impatto profondo sull'umore degli occupanti e il carattere degli spazi può essere fortemente alterato dalle stesse, con effetti che dovrebbero sempre essere presi in considerazione.

L'EDILIZIA BIOCLIMATICA

6.1 *Principi generali*

Per edilizia bioclimatica si intende quella specifica branca della bioarchitettura²⁷ finalizzata al raggiungimento del comfort ambientale interno degli edifici attraverso l'utilizzo razionale delle risorse ambientali. È un'edilizia sostenibile, attenta al contenimento dei consumi energetici negli edifici, che predilige l'utilizzo delle fonti rinnovabili e dei materiali naturali. Tale architettura affida in modo prevalente ai componenti ed ai materiali della struttura, alla conformazione fisica ed all'orientamento dell'edificio, il compito di sfruttare il clima locale. I principi della progettazione bioclimatica non sono un fatto nuovo, basti pensare al Feng Shui (letteralmente “Vento e Acqua”, circa 1000 A.C.) o a tutti gli accorgimenti che i Romani prendevano prima di fondare una città. Questi principi, infatti, sono stati applicati nel passato in molti esempi di architettura nei quali, sia la posizione reciproca degli edifici, sia le caratteristiche costruttive e la scelta dei materiali erano tali da rendere il microclima interno soddisfacente, senza l'intervento di ulteriori impianti. Con l'avvento della rivoluzione industriale e la diffusione della climatizzazione artificiale dei locali, i progettisti hanno disimparato a progettare con il sole, il vento e tutti quegli elementi naturali con cui un edificio deve necessariamente fare i conti e che, anzi, deve utilizzare per trarne il maggior beneficio energetico possibile. Elementi che permettono di comprendere il senso delle differenti architetture che si osservano nelle diverse zone climatiche del mondo, e spiegano il perché le case a Palermo hanno la copertura a terrazza e a Torino a falde e il motivo per cui le case di Ostuni sono tutte intonacate con la calce e tinte di bianco. Scelte, tutt'altro che folcloristiche, dettate dall'esigenza di ottenere un migliore comfort ambientale e un maggiore risparmio energetico ed economico sfruttando le caratteristiche specifiche del luogo.

²⁷ Insieme di soluzioni progettuali, adottate per ridurre l'impatto sull'ambiente dovuto alla trasformazione del territorio da parte dell'uomo.

6.2 Le condizioni climatiche locali

Per realizzare un edificio secondo i principi dell'edilizia bioclimatica, il progettista deve eseguire, come prima cosa, un'analisi di tutti gli aspetti bioclimatici che caratterizzano il terreno scelto. La conoscenza del clima, delle variazioni stagionali e dei venti che influenzano la zona, è infatti il primo fondamentale passo per una corretta localizzazione dell'edificio sul terreno e del suo corretto orientamento.



Figura 39 - Localizzazione dell'edificio - fonte Casa Clima

Costruire in rapporto alle condizioni climatiche locali è un uso molto antico, difatti lo studio dell'energia, presente nel sito prescelto per costruire, è uno dei punti fondamentali del Vastu (il cui significato è "ambiente naturale" o "dimora dell'uomo") indiano. Il Vastu propone criteri di edificazione che permettono di sfruttare gli effetti positivi del sole, privilegiando l'orientamento a est per captare i benefici raggi solari, ricchi di radiazioni ultraviolette, e schermarsi da quelle nocive infrarosse presenti a ovest. Il nord, poi, è considerato direzione privilegiata rispetto al sud, al contrario sfavorevole nel caso della collocazione geografica dell'India, caratterizzata da un clima particolarmente torrido. Anche il Feng-Shui²⁸ cinese è un insieme codificato di concetti e norme, attraverso i quali l'uomo cerca di favorire le energie cosmiche e telluriche presenti sul sito prescelto, per configurare il proprio luogo abitativo. L'aspetto climatico, evidente nell'architettura tradizionale delle nostre regioni, si manifesta in

²⁸ Antica arte geomantica taoista della Cina, ausiliaria dell'architettura, affine alla geomanzia occidentale.

modo palese nelle architetture tradizionali delle regioni con climi estremi. Infatti, nelle regioni molto fredde e battute da forti venti, le case sono quasi interrato e solo la parte orientata verso sud rimane visibile. Nelle regioni con un clima caldo e secco, come in Africa e nello Yemen, le case possiedono muri d'elevato spessore che riparano dal sole e sono dotate di ricercati sistemi di ventilazione, mentre nelle regioni con un clima caldo e umido, come in Polinesia, le case tradizionali sono aperte su tutti i lati per ventilare il più possibile gli ambienti interni.



Figura 40 - *Architetture delle regioni con climi estremi* - fonte MiniWatt

Anche in Italia vi sono numerosi esempi di architettura sviluppata in stretto rapporto alle condizioni climatiche locali, di cui i più rappresentativi sono: il Dammuso dell'isola di Pantelleria, il Trullo della Puglia centro meridionale, i Sassi di Matera e gli chalet alpini.



Figura 41 - *Dammusi di Pantelleria* - fonte Wikipedia

Pantelleria, isola del Mar Mediterraneo a sud della Sicilia, presenta un clima con temperature piuttosto elevate, con medie mensili che variano dai 24°C in agosto ai 10°C in gennaio, piovosità molto scarsa e venti molto forti. E' evidente, allora, come il Dammuso cerca

soprattutto una difesa dal caldo e dal vento. Nel clima caldo della Puglia, la grande massa in muratura del Trullo ha la funzione di regolatore termico, che di giorno assorbe il calore ricevuto attraverso l'irradiazione solare e di notte lo rende disponibile all'interno dell'edificio, livellando le escursioni di temperatura, tanto che in estate la temperatura interna rimane sempre inferiore rispetto a quella presente all'esterno. I Sassi di Matera, sono un altro efficace esempio di come l'uomo, attraverso le sue abilità, le sue aspirazioni e la sua cultura, abbia imparato a dominare le condizioni ambientali avverse, così da rendere abitabile e ospitale un luogo impraticabile e proibitivo.

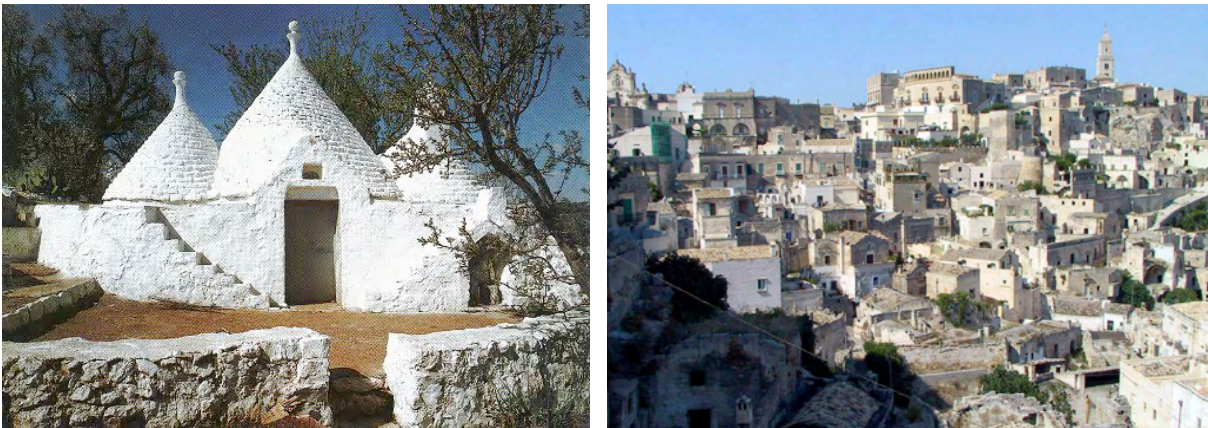


Figura 42 - *Trullo pugliese e sassi di Matera* - fonte Wikipedia

Infine, nelle Alpi, le case tipiche della zona, costruite in legno e pietra, sono generalmente come incassate nella montagna e tendono, se possibile, ad essere costruite molto vicine le une alle altre, così da ripararsi mutuamente dai venti freddi caratteristici di tali climi. Un altro importante accorgimento è, poi, quello di costruire i tetti con un'inclinazione accentuata, ma non eccessiva, per permettere l'accumulo di uno spesso strato di neve, nei limiti evidenti di resistenza dei solai, così da formare un cuscinetto isolante e ridurre la differenza tra la temperatura interna e quella esterna.

Un utile indicazione, sulle condizioni climatiche locali, la si può ottenere attraverso l'analisi dei gradi-giorno (GG), riportati nell'allegato A del DPR n. 412 del 26 agosto 1993. I gradi-giorno sono la somma delle differenze positive giornaliere tra la temperatura ambiente, convenzionalmente fissata a 20°C, e la temperatura media esterna giornaliera, per tutti i giorni

del periodo annuale di riscaldamento. Quanto più alto è il numero dei gradi-giorno, tanto più freddi sono gli inverni di quel particolare sito, e, allora, tanta più importanza dovrà avere il riscaldamento nella fase di progettazione di un edificio in tale zona.

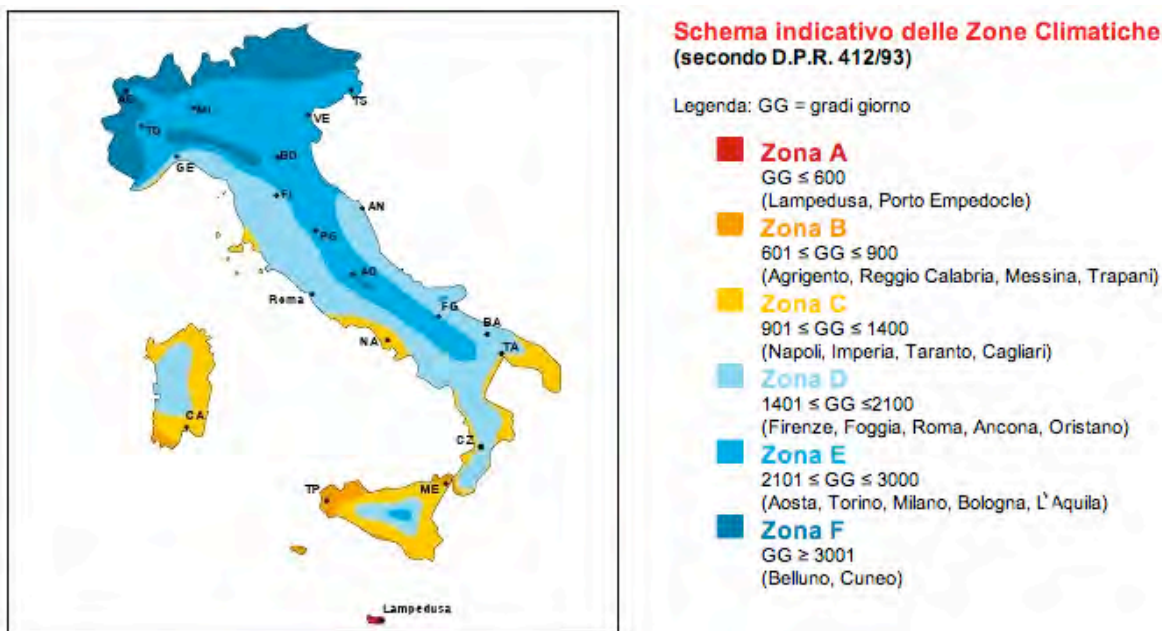


Figura 43 - Zone climatiche italiane - D.P.R. 412/93

6.3 L'orientamento dell'edificio

Un altro fattore che influisce decisamente sul microclima del sito prescelto, è l'insolazione dell'area. Tenendo presente l'emisfero boreale²⁹, è intuitivo comprendere, senza addentrarci in spiegazioni, come la direzione principale dell'energia proveniente dal sole sia il sud della volta celeste. Di conseguenza appare evidente come, dato l'obiettivo di captare la massima parte di radiazione possibile, l'orientamento ottimale sia il sud. La remora nei confronti di questa scelta, di solito è dovuta al timore che l'orientamento verso sud sia causa di eccesso di radiazione nei mesi estivi. Preoccupazione giusta se non stessimo considerando l'orientamento di una parete, ovvero di una superficie verticale. Difatti la quantità di energia su di una determinata superficie varia in funzione dell'angolo di incidenza, definito come l'angolo tra un vettore normale alla superficie e il vettore della radiazione solare.

²⁹ Chiamato anche emisfero settentrionale, è la calotta emisferica di globo terrestre posta a nord dell'equatore.

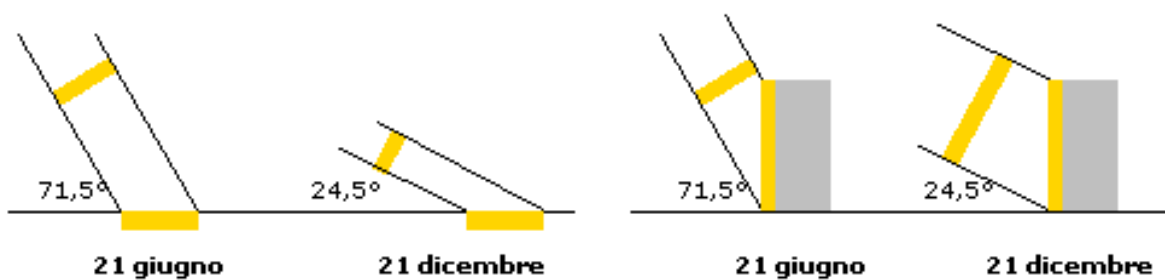


Figura 44 - Incidenza dei raggi solari su di un piano orizzontale e su una parete esposta a sud- fonte MiniWatt

Tale angolo può essere definito anche come la combinazione tra l'angolo azimutale (misurato sul piano orizzontale) con l'angolo zenitale β (misurato sul piano verticale).



Figura 45 - Angolo zenitale α e angolo azimutale β - fonte MiniWatt

L'angolo di incidenza (γ) su di un piano è dato dalla formula:

$$\gamma = \cos^{-1} (\cos \alpha \times \cos \beta)$$

La massima intensità di radiazione su di una superficie si ha quando l'angolo di incidenza della radiazione sulla superficie è pari a 0° , ovvero quando la radiazione è perpendicolare a questa superficie, con l'aumentare di questo angolo la radiazione è via via più radente e la sua intensità per unità di superficie diminuisce.

Angolo di incidenza	Radiazione incidente
0°	100%
5°	99,6%
10°	98,5%
15°	96,5%
20°	94%
25°	90,6%
30°	86,6%
35°	81,9%
40°	76,6%

Angolo di incidenza	Radiazione incidente
45°	70,7%
50°	64,3%
55°	57,4%
60°	50%
65°	42,3%
70°	34,2%
75°	25,8%
80°	17,4%
85°	8,7%
90°	0%

Tabella 7 - *Radiazione percentuale incidente su piani diversamente orientati*

Esaminando la tabella si nota come con incidenze comprese entro i 30° si conserva più del 85% dell'intensità massima della radiazione solare. Di conseguenza, l'orientamento ideale per un edificio che si pone come obiettivo quello di captare i maggiori apporti di energia durante la stagione invernale, è quello che declina di 30° dal sud, in direzioni comprese tra SE e SO.

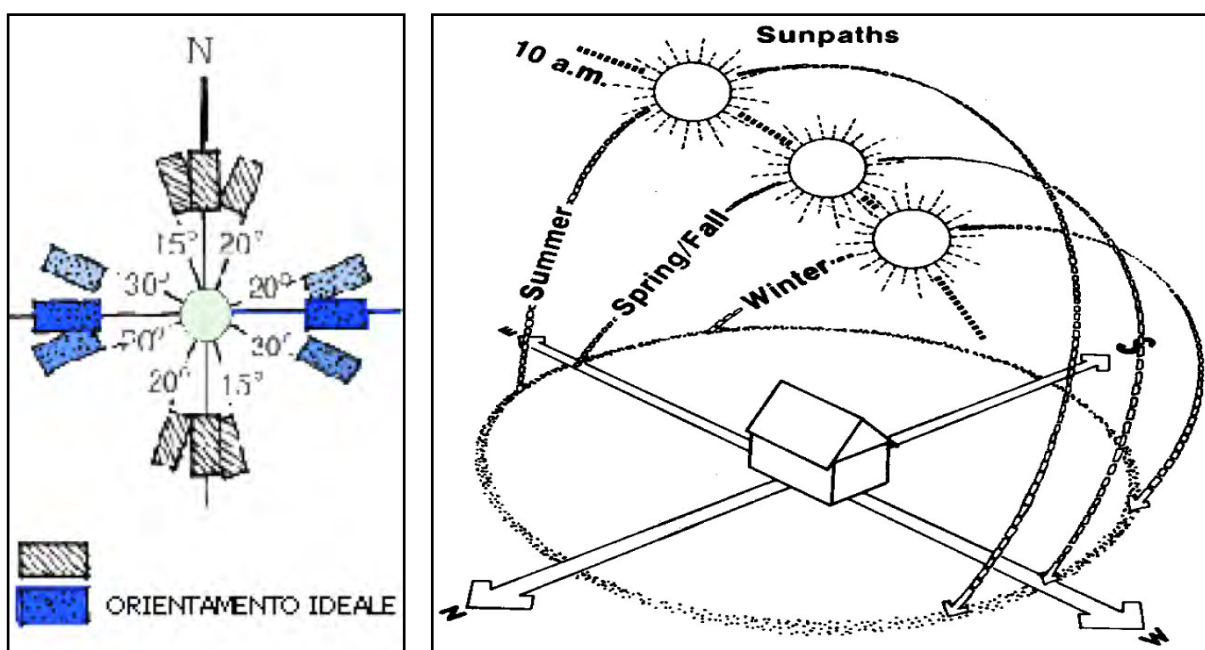


Figura 46 - *Orientamento ideale e geometria solare* - fonte EcoEdility

In questo modo avremo in inverno il sole in posizione bassa che fornisce alla facciata sud il massimo di radiazione solare, mentre in estate avremo il sole alto nell'orizzonte con la facciata a sud che riceve poco calore. Le facciate esposte ad est e ovest invece, avranno sempre il sole in posizione bassa sia in inverno che in estate (vedi fig. 46), con il rischio di

surriscaldamento dell'edificio durante la stagione estiva. Per questo le finestre orientate verso est ed ovest vengono di solito fornite di schermature. Infine, possiamo osservare che la parete esposta a nord riceve radiazione diretta solo in alcune giornate estive.

6.4 I caratteri morfologici e distributivi degli edifici

L'efficienza energetica di un edificio dipende anche dalla sua forma, poiché in inverno riscaldiamo il volume (V) dell'edificio mentre il calore si disperde attraverso le pareti dello stesso (A). La compattezza dell'edificio, cioè il rapporto tra superficie e volume (A/V), incide quindi sul fabbisogno energetico. Tanto più piccola è la superficie di una casa, tanto meno energia si disperderà attraverso l'involucro. Inoltre, una casa compatta sarà più conveniente anche dal punto di vista economico, in quanto si risparmia in materiale termoisolante.

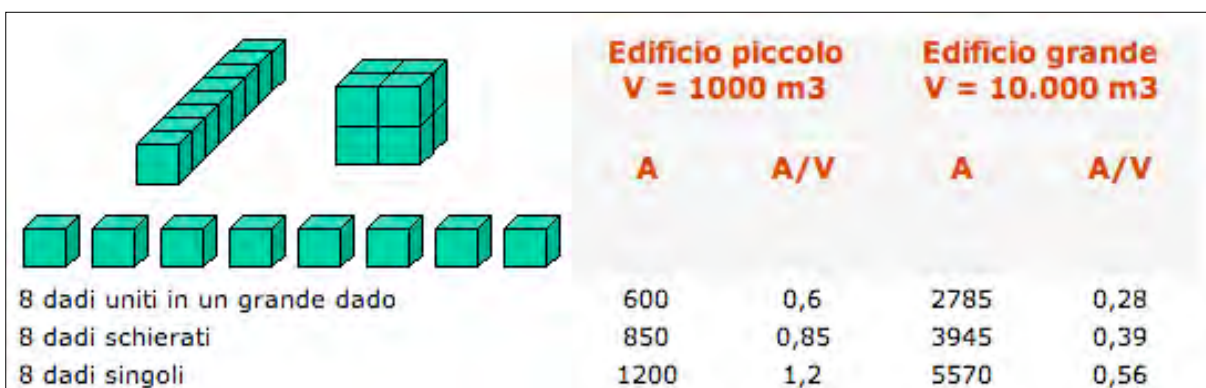


Figura 47 - Rapporto tra superficie e volume - fonte MiniWatt

Sempre nell'ottica del risparmio energetico, nell'edilizia bioclimatica, viene razionalizzata anche la disposizione interna dei locali, a seconda del loro utilizzo. Per fare questo, l'edificio viene suddiviso in zone climatiche differenti, ovvero zone calde e zone fredde dettate essenzialmente da esigenze termiche e d'illuminazione. Queste zone sono di solito distinte in tre categorie: gli spazi serviti, che necessitano essere adeguatamente caldi perché normalmente abitati, gli spazi connettivi, temperati, e gli spazi di servizio, che possono rimanere freschi in un'ottica d'uso razionale dell'energia. È logico pensare all'area giorno (salotto, soggiorno) come ad un ambiente della casa che necessita di luce e calore, quindi,

come tutti i locali che vogliamo siano caldi e illuminati, deve essere orientata verso sud e possedere grandi finestre. In questo modo, quando in inverno il sole è basso all'orizzonte, i raggi solari penetrano in profondità nella stanza riscaldando il pavimento e le pareti. Ecco il motivo per cui gli edifici bioclimatici hanno una struttura preferibilmente allungata lungo l'asse est-ovest, proprio per fare in modo che l'insolazione raggiunga, durante l'intera giornata, quanto più profondamente possibile tutti gli ambienti della casa, anche quelli rivolti sul versante nord. Gli ambienti posti sul lato settentrionale saranno quelli per cui non serve riscaldamento o che, in ogni caso, necessitano di poco calore, ad esempio bagni, ripostigli, dispense e garage, come anche corpi scala, vani ascensore e locali tecnici.

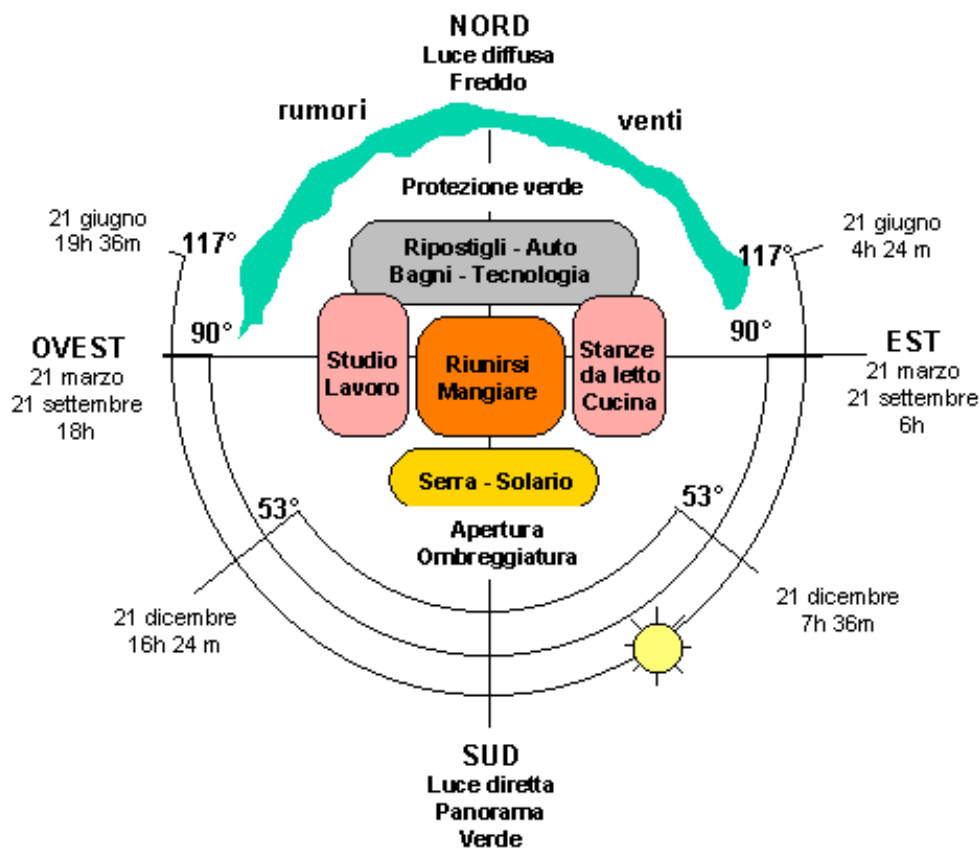


Figura 48 - Suddivisione dell'edificio in zone climatiche - fonte MiniWatt

Questa disposizione permette la realizzazione di un settore dell'edificio con la funzione di cuscinetto termico. Anche l'orientamento delle finestre ha bisogno di tenere conto delle condizioni climatiche stagionali. Un esempio può essere la situazione in cui ci si trovi in una zona climatica dove prevalgono nebbie mattutine, in questo caso converrà andare a disporre le

finestre non più direttamente a sud, ma esporle leggermente a ovest in modo da sfruttare maggiormente i raggi solari pomeridiani. Allo stesso modo, nelle zone dove prevalgono i rannuolamenti pomeridiani converrà, con lo stesso ragionamento, disporre le finestre su un lato con un'angolazione leggermente verso est.

6.5 *La progettazione bioclimatica dell'involucro edilizio*

Tutti questi accorgimenti non servono se poi il calore non viene trattenuto dall'involucro³⁰. Difatti in un edificio convenzionale l'80% del calore viene disperso attraverso tetti, pareti e solai, di cui una frazione importante, circa un 1/4, è data dai ponti termici³¹. Il rimanente 20% viene disperso da flussi termici che fuoriescono dagli edifici tramite correnti incontrollate e spifferi, dovuti a fenditure, crepe, interstizi ed alla cattiva tenuta all'aria di porte e finestre.

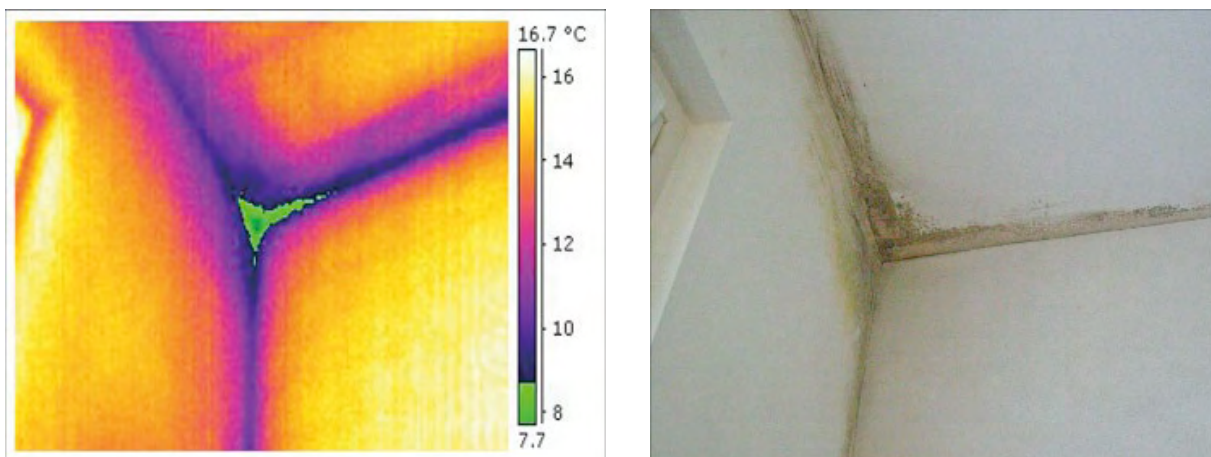


Figura 49 - Termografia di un ponte termico ed effetti sulle pareti - fonte Bioediliziaonline

L'investimento necessario alla realizzazione di un buon isolamento termico è, nella maggior parte dei casi, particolarmente basso ed è per questo motivo, che lo si può considerare il vero primo passo ad un ragionato risparmio energetico. La stessa politica nazionale, sul piano energetico, ha assimilato l'importanza di questi interventi all'interno di un edificio, che sia di nuova fattura o già preesistente, come riporta il Decreto Legislativo n.115 del 30 maggio 2008

³⁰ Globalità delle parti che definiscono un ambiente interno (caratterizzato da condizioni ambientali stabili) rispetto ad un ambiente esterno (variabile per natura).

³¹ Giunzioni, di forma e materiale diverso, che rappresentano causa di rapida dispersione di calore e anche fenomeni di condensa, proprio per la repentina variazione localizzata delle temperature.

che all'articolo 11, commi 1 e 2 recita: *“1) Nel caso di edifici di nuova costruzione, lo spessore delle murature esterne, delle tamponature o dei muri portanti, superiori ai 30 centimetri, il maggior spessore dei solai e tutti i maggiori volumi e superfici necessari ad ottenere una riduzione minima del 10 per cento dell'indice di prestazione energetica previsto dal decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, e successive modificazioni, certificata con le modalità di cui al medesimo decreto legislativo, non sono considerati nei computi per la determinazioni dei volumi, delle superfici e nei rapporti di copertura, con riferimento alla sola parte eccedente i 30 centimetri e fino ad un massimo di ulteriori 25 centimetri per gli elementi verticali e di copertura e di 15 centimetri per quelli orizzontali intermedi. Nel rispetto dei predetti limiti e' permesso derogare, nell'ambito delle pertinenti procedure di rilascio dei titoli abitativi di cui al titolo II del decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, a quanto previsto dalle normative nazionali, regionali o dai regolamenti edilizi comunali, in merito alle distanze minime tra edifici, alle distanze minime di protezione del nastro stradale, nonché alle altezze massime degli edifici.*

2) Nel caso di interventi di riqualificazione energetica di edifici esistenti che comportino maggiori spessori delle murature esterne e degli elementi di copertura necessari ad ottenere una riduzione minima del 10 per cento dei limiti di trasmittanza previsti dal decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, e successive modificazioni, certificata con le modalità di cui al medesimo decreto legislativo, e' permesso derogare, nell'ambito delle pertinenti procedure di rilascio dei titoli abitativi di cui al titolo II del decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, a quanto previsto dalle normative nazionali, regionali o dai regolamenti edilizi comunali, in merito alle distanze minime tra edifici e alle distanze minime di protezione del nastro stradale, nella misura massima di 20 centimetri per il maggior spessore delle pareti verticali esterne, nonché alle altezze massime degli edifici, nella misura massima di 25 centimetri, per il maggior spessore degli elementi di copertura. La deroga può essere esercitata nella misura massima da entrambi gli edifici confinanti.”

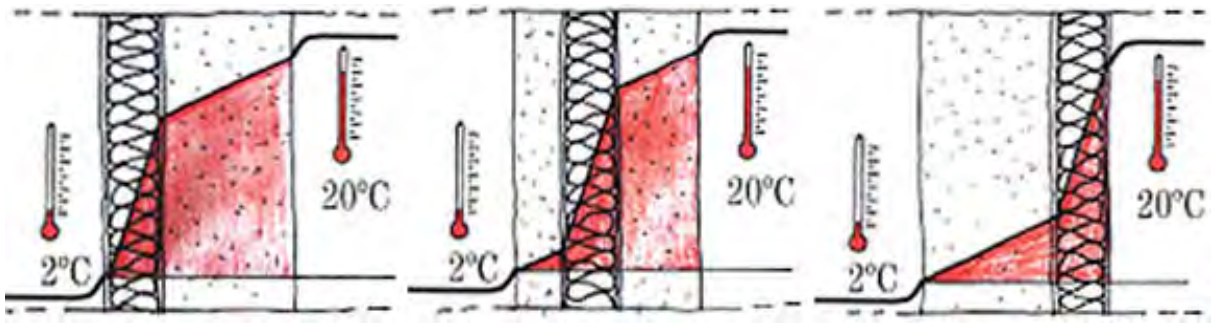


Figura 50 - Da sinistra: isolamento esterno (a cappotto), isolamento a intercapedine e isolamento interno - fonte LifeGate

La vita dei materiali termoisolanti è, di solito, molto lunga e questo fa di essi una tecnologia altamente economica. La loro funzione principale è quella di rallentare lo scambio termico attraverso la superficie della struttura, così da ridurre al minimo l'apporto energetico occorrente alla climatizzazione stagionale necessaria al benessere abitativo all'interno dei locali. A questo scopo, si devono usare materiali caratterizzati da una bassa conducibilità termica λ , con valori normalmente inferiori a $0,1 \text{ W/mK}$, valori che però, bisogna saper usare con una certa esperienza nella tecnica pratica; infatti, usualmente la conducibilità effettiva è più alta di quella sperimentale reperibile nelle schede tecniche, dove compaiono dati rilevati in laboratorio in condizioni ideali. Si tratta di materiali igroscopici, con la principale caratteristica di essere porosi e fibrosi, capaci di trattenere nella loro struttura alveolare molta aria, nota per essere un pessimo conduttore termico.

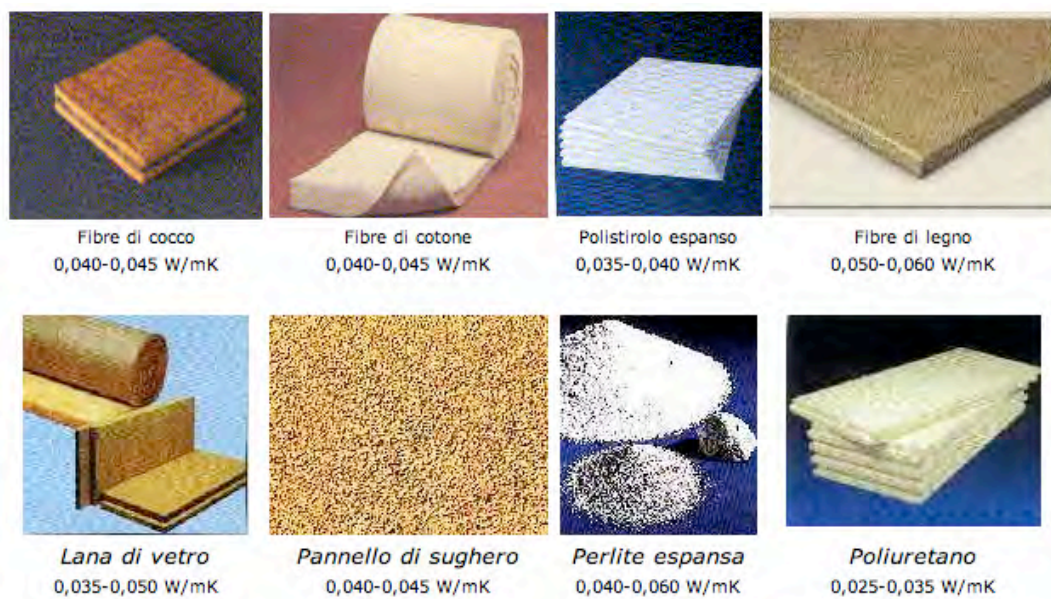


Figura 51 - Materiali termoisolanti - fonte MiniWatt

Questa loro qualità specifica li porta a soffrire molto l'umidità, con possibile accumulo di acqua nei loro "tessuti" a discapito dell'aria, con un inevitabile decadimento delle loro proprietà distintive. Nei luoghi umidi si prediligono allora materiali impermeabili come i pannelli di vetro cellulare o il polistirene. Ma come valutiamo l'efficienza dell'isolamento? Noi sappiamo che le dispersioni termiche che avvengono per conduzione, dipendono dalla differenza di temperatura tra la faccia interna ed 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 trasmettere il calore (trasmittanza). Tanto più bassa è la trasmittanza termica del materiale usato, tanto più alta è l'efficienza dell'isolamento. La trasmittanza termica globale U (W/m^2K), o coefficiente globale di trasmissione del calore interno-esterno è definita dalla norma UNI 7357 come "la quantità di calore (W) che attraversa nell'unità di tempo (h), una superficie di $1 m^2$ di parete quando la differenza di temperatura tra l'aria adiacente alla faccia interna e quella adiacente alla faccia esterna (o del locale contiguo) corrisponde a $1 K$ ". Allora, ricordando il significato del coefficiente di adduzione $\alpha = W/m^2K$, che tiene conto dello scambio termico tra superficie ed aria dovuto ad irraggiamento e convezione $\alpha = h_{irr} + h_{conv}$, si può valutare:

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_i} + \sum_x \frac{s_x}{\lambda_x} + \frac{1}{\alpha_e} \right)}$$

dove:

- α_i : coefficiente di adduzione tra superficie interna e aria
- α_e : coefficiente di adduzione tra superficie esterna e aria
- x : strato di materiale
- s : spessore del singolo strato

- λ : coefficiente di conducibilità termica del singolo strato

La resistenza termica R (m^2K/W) totale di una parete, che è ovviamente l'inverso della trasmittanza termica U , sarà dunque data dalla somma delle differenti resistenze che il flusso di calore incontrerà lungo il percorso dall'elemento più caldo a quello più freddo. Nell'edilizia bioclimatica l'involucro, oltre alla riduzione delle dispersioni di calore, pone particolare attenzione alle prestazioni termiche dell'involucro edilizio in regime termico variabile, nei mesi invernali, e soprattutto nei mesi estivi. Difatti per ridurre i consumi energetici dovuti alla climatizzazione estiva risulta fondamentale attenuare i valori massimi di temperatura negli ambienti e ritardare l'immissione di energia termica negli stessi, spostandola verso le ore notturne quando la temperatura dell'aria esterna è ai valori minimi e il fenomeno del reirraggiamento raffredda rapidamente le superfici esterne. Molta importanza assumono quindi nell'edilizia bioclimatica l'inerzia termica³² 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 allo sfasamento o al ritardo di fase f , cioè all'intervallo di tempo con cui le variazioni di temperatura esterna si trasmettono all'interno (ore). Buone prestazioni sono assicurate, sotto questo punto di vista, da pareti opache in grado di fornire come valori orientativi $s < 0,05$ e $f > 8$ ore, relativamente a una ipotetica oscillazione sinusoidale della temperatura esterna avente periodo di 24 ore. Da non dimenticare, nella fase progettuale dell'involucro edilizio, è il controllo e la

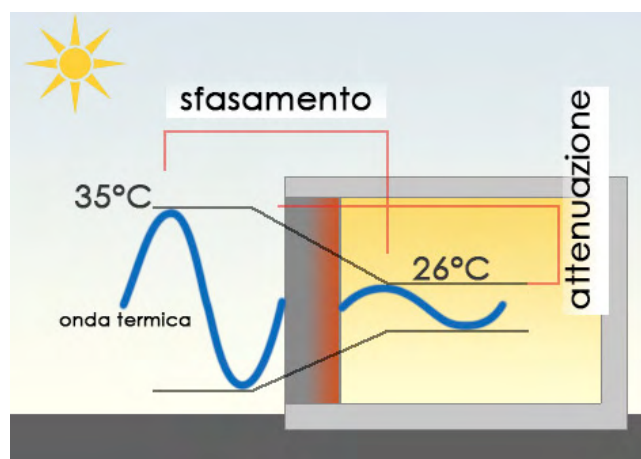


Figura 52 - Inerzia termica - fonte Mygreenbuildings

³² Capacità di un componente edilizio (parete o tetto) di attenuare le oscillazioni della temperatura ambiente dovuta ai carichi termici interni ed esterni variabili nell'arco del giorno e di accumulare il calore e rilasciarlo dopo un certo numero di ore nel tempo.

verifica dei fenomeni di condensa interstiziale e superficiale, come previsto dalla Norma UNI EN ISO 13788, prestando particolare attenzione alle condizioni igrometriche di progetto interne ed esterne dell'edificio ed alle caratteristiche (spessore, conduttività termica, resistenza alla diffusione del vapore) di ciascuno strato di materiale componente la parete. Il calcolo della condensa interstiziale viene effettuato quantificando i profili delle temperature e delle pressioni di vapore acqueo (saturo ed effettivo) all'interno della parete: se la pressione di vapore effettiva (P_e) raggiunge o supera quella della pressione di vapore saturo (P_s), si avrà formazione di condensa. Tale fenomeno può essere arginato disponendo in ordine decrescente gli strati che compongono la struttura in funzione della loro permeabilità al vapore acqueo (i materiali con resistenza maggiore al vapore vanno collocati verso l'ambiente abitato, quelli con resistenza minore vanno collocati verso l'ambiente esterno). I fenomeni di condensa superficiale si verificano, invece, quando la temperatura della superficie interna della parete è inferiore alla temperatura di condensa dell'aria dell'ambiente abitato. Dal calcolo del profilo della temperatura all'interno della parete, si determina anche il valore della temperatura superficiale interna ed è quindi possibile valutare gli eventuali rischi di condensa superficiale. Come abbiamo visto, circa il 20% del calore viene disperso da flussi termici che attraversano giunti e fessure. Per ridurre queste dispersioni dobbiamo impermeabilizzare l'edificio, ad esempio, tramite l'applicazione di una "barriera al vapore" o tramite l'intonacatura delle pareti. L'intonaco deve però coprire l'intera parete, da solaio a solaio. Più difficile da ottenere è l'impermeabilità nelle costruzioni in legno che possiedono, per natura, molti giunti. Queste costruzioni possono essere impermeabilizzate solo con delle barriere al vapore (ad esempio teli di polietilene) stese sul lato interno dell'isolamento termico. Per tutti gli edifici, i punti deboli dell'impermeabilizzazione rimangono comunque quelli in cui tubi e cavi attraversano l'involucro (lampade e rubinetti esterni). Per eliminarli bisogna innanzitutto ridurre al minimo il numero dei trafori e usare guarnizioni speciali a chiusura ermetica. Altri punti che possono

indebolire l'impermeabilità dell'involucro sono tubi, scatole di derivazione, ecc. inseriti nelle pareti, che sarebbe bene sigillare.

Anche i serramenti (porte e finestre) fanno parte dell'involucro dell'edificio, ma al contrario delle pareti devono mettere in comunicazione l'ambiente interno con quello esterno, procurare luce naturale, creare un rapporto visivo con l'ambiente esterno e non ultimo consentire la ventilazione naturale negli edifici. Come anticipato, negli edifici bioclimatici la disposizione e il dimensionamento delle vetrate devono tener conto del clima locale; infatti, le finestre lasciando libero accesso ai raggi solari, permettono l'irradiazione delle superfici interne, procurando apporti termici solari gratuiti che in inverno diminuiscono sensibilmente le spese per il riscaldamento. In estate si dovrà invece evitare il surriscaldamento degli ambienti attraverso l'uso di ombreggiature e coperture parasole. Tenendo conto che il dimensionamento delle aperture dipende dal tipo d'illuminazione desiderata e dalla quantità di calore solare da sfruttare, in generale, si può dire che nell'edilizia bioclimatica vale la regola che vuole le finestre non più grandi del 25% della superficie del pavimento che accumula calore. Valore, questo, che non dovrebbe scendere al di sotto del 12% e che, invece, può crescere quando si adottano sistemi alternativi per l'accumulo suppletivo dell'apporto solare ricevuto. Essendo le finestre il punto debole dell'involucro, almeno per quanto riguarda i ponti termici con l'esterno, nelle case a basso consumo energetico e negli edifici bioclimatici devono essere utilizzati serramenti con buone proprietà termoisolanti. Poiché un normale vetro sottile ha un valore di conducibilità termica che si aggira intorno ai 0,8 W/mK, si è cercato di migliorare questo parametro adottando doppi o tripli vetri a camera d'aria, con l'aggiunta di infissi e telai termicamente isolati. Si possono così migliorare i valori del coefficiente di trasmissione termica globale $U_g = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ di una finestra normale fino a raggiungere valori $U_g = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ di una a camera d'aria e di $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ per serramenti che usano nell'intercapedine gas al posto dell'aria. Se si utilizzano questi

serramenti, è opportuno, poi, controllare le infiltrazioni e le dissipazioni attraverso il cassonetto per il rullo degli eventuali avvolgibili, punto di notevole dispersione perché di solito non isolato. In genere, se la facciata è abbastanza spessa, si preferisce installare infissi a scomparsa che hanno un cassonetto coprirullo isolato, accessibile solo dall'esterno e completamente inserito nella parete. Come anticipato, in fase di progetto bisogna porre attenzione all'eccessiva insolazione estiva causa di surriscaldamento degli ambienti. Infatti i vetri agiscono come trappole di calore; essi lasciano entrare la luce solare con lunghezza d'onda di 400 nm - 700 nm, che nel passaggio dell'ambiente esterno all'interno, in parte si trasforma in calore, con una lunghezza d'onda superiore ai 700 nm, radiazione non più capace ad attraversare nuovamente il vetro e quindi di uscire se non per conduzione. Per questo motivo, in certe zone climatiche, è sempre necessario l'uso di schermature. Esse possono essere fisse, come le sporgenze del tetto e dei balconi, o mobili ed è sicuramente importante che siano montate sul lato esterno, perché le tende interne, anche se certamente utili nel diminuire l'illuminazione nei locali abitativi, non possono fare nulla per l'accumulo del calore, che già avviene una volta oltrepassato il vetro.



Figura 53 - Le schermature nella sede del Sole 24 Ore a Milano - fonte Renzo Piano Building Workshop

6.6 Il riscaldamento solare passivo

I sistemi di riscaldamento e raffreddamento solari passivi utilizzati nell'edilizia bioclimatica sono elementi totalmente integrati all'interno dell'edificio. Essi sono detti passivi in quanto non sono costituiti da elementi meccanici, ma unitamente a tutta la struttura architettonica sfruttano correnti, gradienti di temperatura ed altri effetti naturali per climatizzare i locali. Per il riscaldamento solare passivo sono richiesti due elementi: 1) delle finestre rivolte a sud; 2) masse termiche per l'assorbimento, l'immagazzinamento e la distribuzione del calore. A seconda di come trasferiscono l'energia accumulata sono poi distinti in tre categorie: 1) a guadagno diretto; 2) a guadagno indiretto; 3) a guadagno isolato. Lo scopo di tutti i sistemi solari passivi è quello di catturare il calore solare con gli stessi elementi strutturali e, attraverso essi stessi, di rilasciarlo all'interno degli ambienti, quando il calore è necessario.

1) Sistema a guadagno diretto

Il concetto di guadagno diretto è la soluzione più comune per un edificio solare passivo. La radiazione solare entra nello spazio abitato e cade sulla massa dell'accumulo termico. In questo modo l'edificio diventa un vero e proprio collettore solare, assorbitore e distributore di calore. Il sistema più semplice è costituito da un edificio ben isolato con ampie finestre rivolte a sud in cui il calore viene accumulato da una massa termica durante il giorno e disperso durante la notte. Oltre questi requisiti base, esistono una serie di varianti che consentono varie alternative all'interno dei sistemi a guadagno diretto. Le varianti più comuni riguardano la scelta e il posizionamento dei materiali della massa termica (a pavimento, a soffitto, come parete interna ecc) o l'utilizzo di un riflettore (in genere un laghetto) per riflettere la radiazione solare e distribuirla su una più ampia area di massa termica.

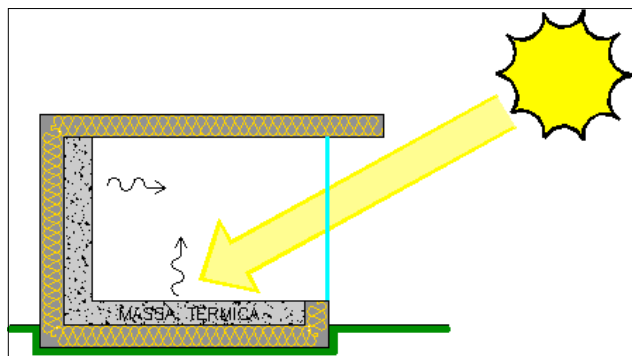


Figura 54 - Sistema a guadagno diretto

2) Sistema a guadagno indiretto

In un sistema a guadagno indiretto, la massa termica inerziale viene posta tra lo spazio abitativo e la fonte di calore (il sole). In questo modo, vengono assorbite le radiazioni solari che vi incidono e successivamente, il calore ricevuto, viene trasferito per conduzione ai locali interni. Esistono diversi tipi di sistemi a guadagno indiretto, tra cui il più naturale e immediato è sicuramente il muro massiccio semplice che, pur non possedendo alcuna particolare caratteristica termoisolante, attraverso la sua capacità termica inerziale accumula e mantiene a lungo il calore giornaliero ritardando il suo ingresso all'interno dei locali alle ore notturne, quando è più necessario. Un logico sviluppo di questa soluzione è il "muro solare", dove l'accumulo è costituito da una parete di consistente massa termica esposta a sud, generalmente di colore scuro, con l'aggiunta di una superficie vetrata esterna per ridurre le dispersioni termiche. Il calore captato, anche in questo caso, viene prima propagato per conduzione, con un certo ritardo, attraverso la parete e successivamente ceduto, per irraggiamento e convezione, ai locali interni.

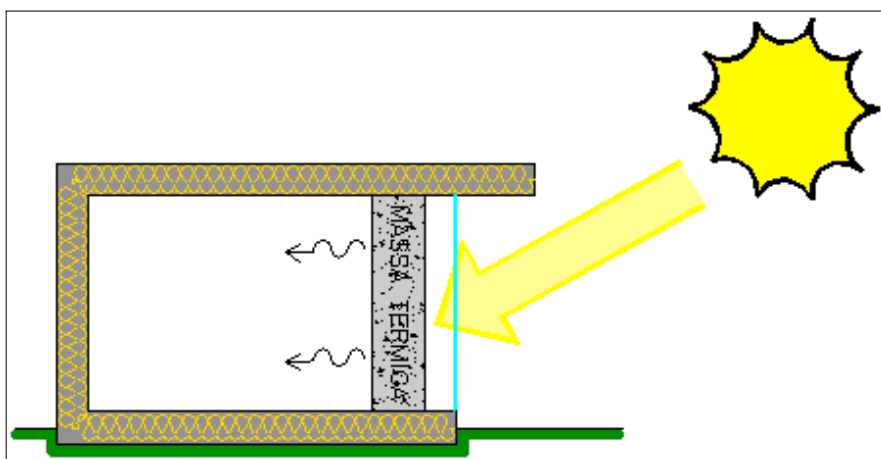


Figura 55 - Muro solare

Gli elementi di accumulo, comunemente adottati, sono costituiti da pareti o solai, aventi un'adeguata capacità termica, ma in alcuni casi può risultare anche conveniente realizzare accumuli per mezzo di sassi nel terreno (letto di pietre), od acqua raccolta in contenitori. L'acqua, seppur di difficile utilizzo in quanto va aggiunta all'edificio, ha il pregio importante

di avere una elevata capacità termica ($C_{\text{acqua}} = 4184 \text{ kJ/m}^3\text{K}$) rispetto al calcestruzzo ($C_{\text{calcestruzzo}} = 1883 \text{ kJ/m}^3\text{K}$) e inoltre, la presenza di correnti convettive che si formano durante l'accumulo del calore, garantiscono una maggiore rapidità nell'assorbimento e un'efficienza del sistema più elevato.

Materiale	Calore Specifico KJ/KgK	Densità $\delta = \text{Kg/m}^3$	Capacità termica $c = \text{KJ/m}^3\text{K}$
Cemento leggero	1	600	600
Legname	1,21	600	726
Intonaco	1	1300	1300
Mattoni	0,8	1700	1360
Cemento	0,84	2100	1760
Acqua	4,184	1000	4184
PCM (materiali a cambiamento di fase)	5,1	1355	6910

Tabella 8 - *Caratteristiche di alcuni materiali utilizzati per l'accumulo termico*

Poiché il gradiente di temperatura attraverso il materiale d'accumulo, si riduce con la distanza dalla superficie riscaldata, per l'usuale ritmo di carica e scarica di 24 ore, in genere si utilizzano spessori (per i più comuni materiali da costruzione) tra i 6 cm ed i 12 cm. Non è quindi utile, costruire muri con spessori pieni superiori ai 16 cm. L'evoluzione successiva è stata ideata da Felix Trombe, insieme all'architetto Jacques Michel, nel 1963, quando venne ideato, per la sua casa a Odeillo sui Pirenei in Spagna, una struttura muraria con la funzione di collettore solare a parete. Il cosiddetto muro Trombe-Michel è costituito da una parete in muratura rivolta a sud, di circa 20 cm - 40 cm di spessore, colorato di scuro o ancor meglio ricoperto di materiale scuro termoassorbente, su cui è posto, un vetro distanziato dalla struttura di circa 2,15 cm, al fine di creare un'intercapedine. I raggi solari, dopo aver attraversato la vetrata, incidono sulla facciata in muratura e il calore prodotto viene assorbito

e immagazzinato nel muro per essere poi condotto lentamente verso il lato interno (per un muro di 40 cm si calcola un tempo di attraversamento di 8h - 10h).

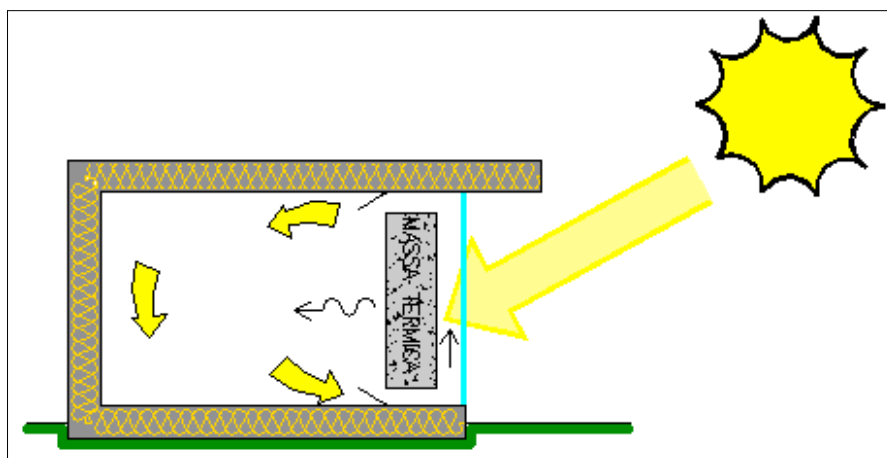


Figura 56 - Muro di Trombe-Michel

Applicando una superficie selettiva si possono migliorare le caratteristiche, riducendo l'ammontare di energia infrarossa radiata nella parte posteriore del vetro. Questa superficie consiste normalmente in una lamina di metallo incollata sul lato esterno del muro. Essa assorbe quasi tutta la radiazione della porzione visibile dello spettro solare ed emette solo una piccola parte nella banda dell'infrarosso. L'alta capacità assorbente trasforma la luce in calore sulla superficie, e la bassa emittenza fa sì che il calore non venga irradiato indietro verso il vetro. Attraverso questi accorgimenti si costruisce una struttura che sfrutta l'aria della camera d'aria che, riscaldata, innesca un moto convettivo della stessa aria più calda verso l'alto e, per mezzo di opportune aperture e condotti, verso l'ambiente da scaldare per incrementare rapidamente la temperatura interna nelle prime ore mattutine, di solito più fresche. Ciò permette, anche, di mantenere il vetro retrostante ad una temperatura più moderata. La stessa aria raffreddata, poi, torna nell'intercapedine dal basso attraverso opportuni passaggi. Dopo il tramonto del sole, i moti convettivi smettono di agire e la parete cede lentamente il calore accumulato durante il giorno. Gli ambienti climatizzati da muri Trombe-Michel sono molto apprezzati dalle persone, che li trovano confortevoli, questo grazie all'effetto delle pareti calde, radianti e con temperature più miti rispetto ai comuni radiatori.

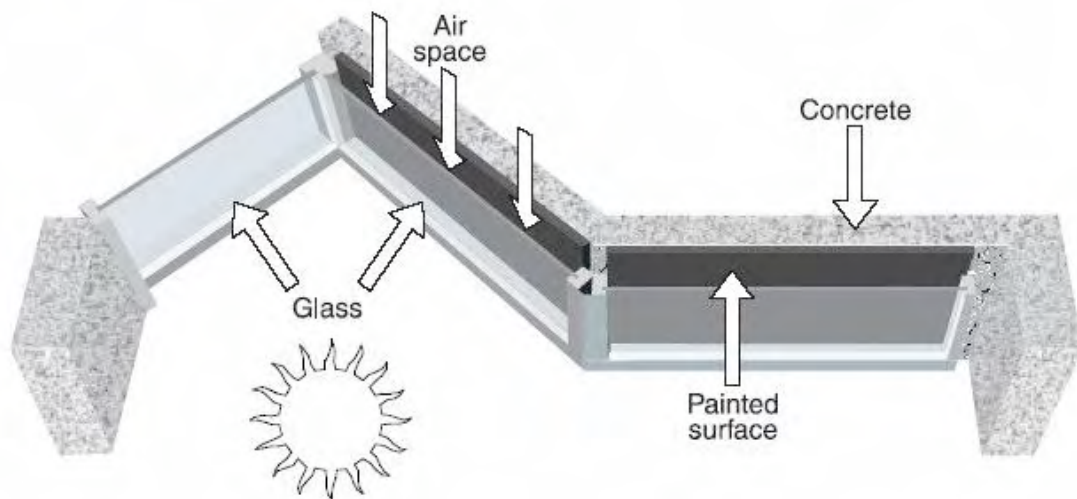


Figura 57 - Muro di Trombe-Michel progettato per il Visitors Center del NREL a Golden - fonte NREL

Interessanti e avanzati studi, compiuti dal centro sviluppo e ricerche NREL per il Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti, hanno valutato che con un'adeguata insolazione la temperatura della parete interna di un muro Trombe - Michel raggiunge nel tardo pomeriggio i 37°C - 38°C, calore che continua a penetrare ancora per molte ore dopo il tramonto con picchi intorno alle ore 22. Un esempio particolarmente degno di nota, progettato dallo stesso laboratorio, attraverso il software SERI-RES, è quello ideato per il Visitors Center del NREL a Golden in Colorado. Il muro, in questo caso, ha una struttura a zigzag per ridurre la luce abbagliante e l'eccessiva insolazione del giorno; questo andamento ha permesso di suddividere la struttura in tre sezioni, una affacciata a Sud, mentre le altre due insieme angolate verso l'interno formano una struttura a "V". Uno di questi due lati formanti la "V", è esposto a sud est ed è costituito da un semplice vetro, con lo scopo di provvedere all'illuminazione e al riscaldamento diretto per le ore mattutine, quando il calore è più necessario. L'altro settore della "V" è un muro Trombe-Michel che immagazzina il calore pomeridiano e lo ridistribuisce all'interno nelle ore serali. Il muro è fornito di sporgenze con la funzione di ombreggiatura nel periodo estivo. È importante, anche, rilevare che un buon sistema di schermatura notturna permette in generale di ridurre l'ampiezza del muro del 15% (dati stimati dal NREL con il software SERI-RES).

L'applicazione passiva per l'utilizzo dell'energia solare più conosciuta è senz'altro la serra bioclimatica, evoluzione delle serre da coltivazione che si diffusero, a partire dal XVII secolo, nel nord Europa ed in particolare in Olanda ed Inghilterra. Soprattutto in questi Paesi, tali strutture sono state reinterpretate dando vita ai “giardini d'inverno”, cioè quegli ambienti della casa (come balconi e verande) resi abitabili durante tutto l'anno attraverso un'opera di vetratura completa. La serra, intesa come sistema solare passivo, deve essere evidentemente orientata a Sud e può essere realizzata in due differenti modi: come spazio non riscaldato a guadagno diretto (nel qual caso si possono introdurre delle masse, costituite da pareti in muratura e da pavimenti, nonché degli isolamenti mobili in modo che lo spazio possa essere visto come un'estensione economica della casa, da abitare il più a lungo possibile durante l'anno), o alternativamente come un collettore da utilizzare per estrarre aria calda da inviare ad un accumulo isolato, situato all'interno o sotto l'edificio da riscaldare.

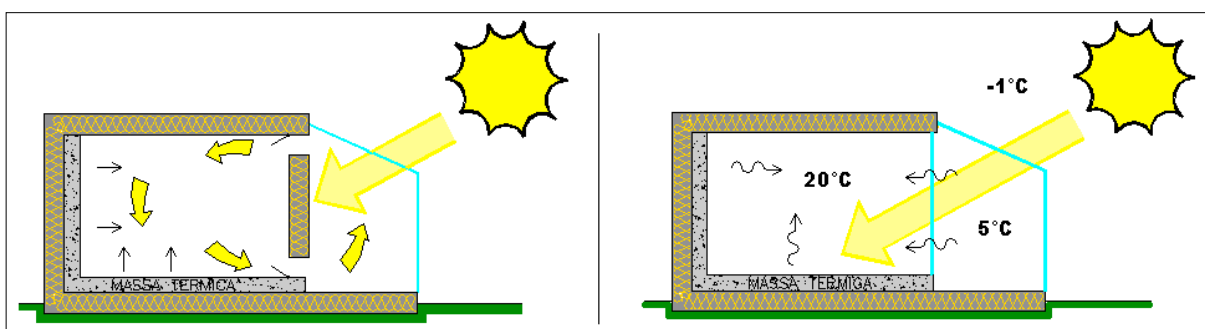


Figura 58 - Serre bioclimatiche

Con l'attuale normativa esse possono essere considerate volumi tecnici e quindi non computabili ai fini volumetrici, come riportato a titolo di esempio dalla legge regionale lombarda n. 39/2004 che all'articolo 4 recita: *“Le serre bioclimatiche e le logge addossate o integrate all'edificio, opportunamente chiuse e trasformate per essere utilizzate come serre per lo sfruttamento dell'energia solare passiva, sono considerate volumi tecnici e quindi non computabili ai fini volumetrici a condizione che siano progettate in modo da integrarsi nell'organismo edilizio nuovo o esistente e che dimostrino, attraverso i necessari calcoli*

energetici, la loro funzione di riduzione dei consumi di combustibile fossile per riscaldamento invernale, attraverso lo sfruttamento passivo e attivo dell'energia solare o la funzione di spazio intermedio." Tra i sistemi a guadagno indiretto, va sicuramente citato il "roof pond" (letteralmente stagno sul tetto) sviluppato nel '98 da Harold Hay con la denominazione di "skytherm" ed installato ad Atascadero in California. In larghi contenitori di plastica o fibra di vetro, su un soffitto piano coperto da un vetro, viene stivata acqua in modo da creare uno spessore di circa 15 cm - 30 cm. Come in tutti gli altri casi, anche questo sistema permette un primo assorbimento del calore solare per una redistribuzione ritardata nei locali sottostanti. Questa soluzione comporta però qualche inconveniente come un elaborato sistema di scarico, una copertura mobile per coprire e scoprire i serbatoi d'acqua nei tempi appropriati e un'adeguata struttura del solaio atta a sopportare un carico di oltre 300 Kg/m². Inoltre questa soluzione è adatta solo in zone climatiche calde e secche, dove le temperature invernali rimangono sempre sopra il punto di congelamento dell'acqua e dove nella stagione estiva è necessario un raffrescamento dei locali.

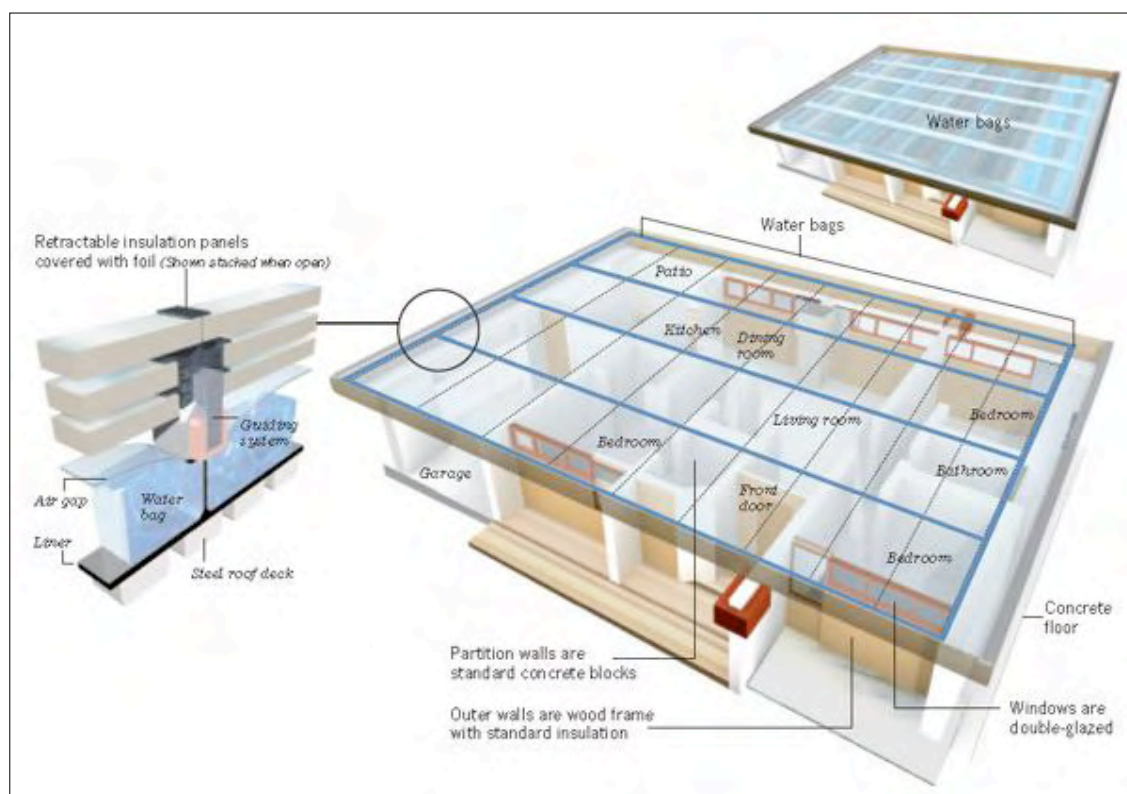


Figura 59 - Lo "skytherm" installato ad Atascadero in California - fonte blacksunjournal

3) Sistema a guadagno isolato

Consiste nell'accumulo del calore in strutture separate che non sono parti integranti dell'edificio in sé. Il loro grande vantaggio è quello di immagazzinare il calore in accumulatori remoti, termicamente isolati dagli ambienti dell'edificio, così da ridurre le perdite dovute alla prossimità della zona d'accumulo con l'esterno. Nei sistemi passivi il trasferimento di energia dal collettore all'ambiente o all'accumulo e dall'accumulo all'ambiente avviene solo attraverso processi non meccanici, come la convezione e l'irraggiamento. Il più comune tra questi processi di trasferimento dell'energia è una forma particolare di convezione conosciuta come effetto termosifone: l'aria è riscaldata nel collettore, diventa meno densa e si alza, richiamando aria più fredda dal basso; l'aria più calda trasferisce la sua energia all'accumulo isolato o alla stanza ed ai suoi occupanti, si raffredda e ricade verso il basso per essere ripresa dal collettore, da cui il ciclo continua fintanto che il collettore rimane sufficientemente caldo

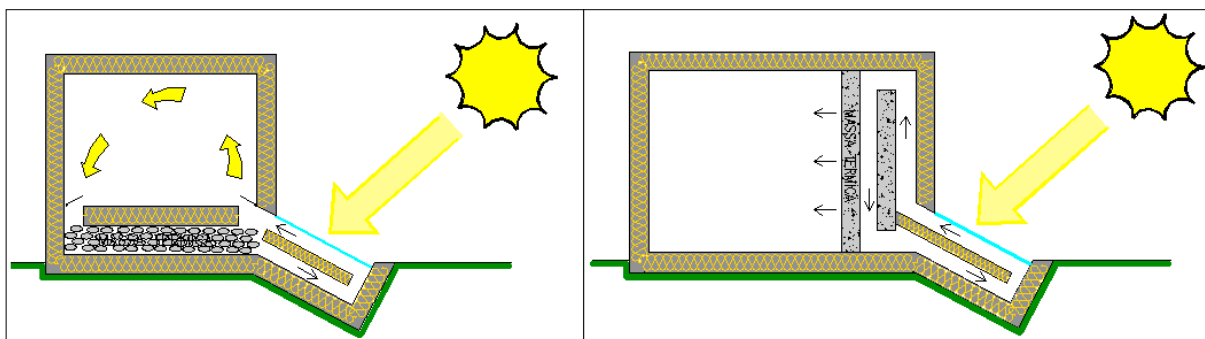


Figura 60 - Sistemi a Termosifone

Un rilevante esempio tra i sistemi a guadagno isolato è il sistema Barra-Costantini, sviluppato da O. Barra e T. Costantini nel Sud d'Italia. Consiste in un collettore di materiale leggero, montato sulla facciata Sud dell'edificio, protetto da una superficie vetrata e isolato rispetto all'ambiente interno con uno strato di materiale coibentante. L'aria, riscaldata dal collettore, viene convogliata in condotti posti o ricavati nei solai, pareti e pavimenti massivi e rilascia la sua energia a queste stesse strutture. L'impianto, coibentato esternamente, fornisce il calore assorbito dall'aria agli ambienti adiacenti per convezione ed irraggiamento. La

termocircolazione è di solito di tipo naturale a “loop chiuso”, in pratica il flusso d’aria non interagisce mai direttamente con i locali da climatizzare, non avendosi mai passaggio d’aria tra elementi tecnici e ambiente. La massa accumulatrice può essere anche costituita da una massicciata di pietrisco posta sotto il pavimento o posta verticalmente tra due pareti murali. Questo letto di pietre, una volta riscaldato dall’aria calda durante le ore giornaliere, ha la capacità di mantenere più a lungo il calore, così da poterlo irradiare successivamente agli ambienti circostanti ancora nelle ore più fredde della prima mattina. In questo caso, il calore viene distribuito o attraverso flussi d’aria, che attraversano il letto di pietre per poi raggiungere caldi gli ambienti da riscaldare, o direttamente quando la stessa struttura accumulatrice si trovi all’interno dell’edificio stesso. La resa utile di un sistema di questo tipo è, a livello teorico, di circa il 54% della potenza d’ingresso (circa 600 W/m²), sia attraverso quello trasportato dal flusso d’aria, sia per quello che diffonde attraverso la parete, pur se ben coibentata, mentre il 26% viene riflesso dal vetro.

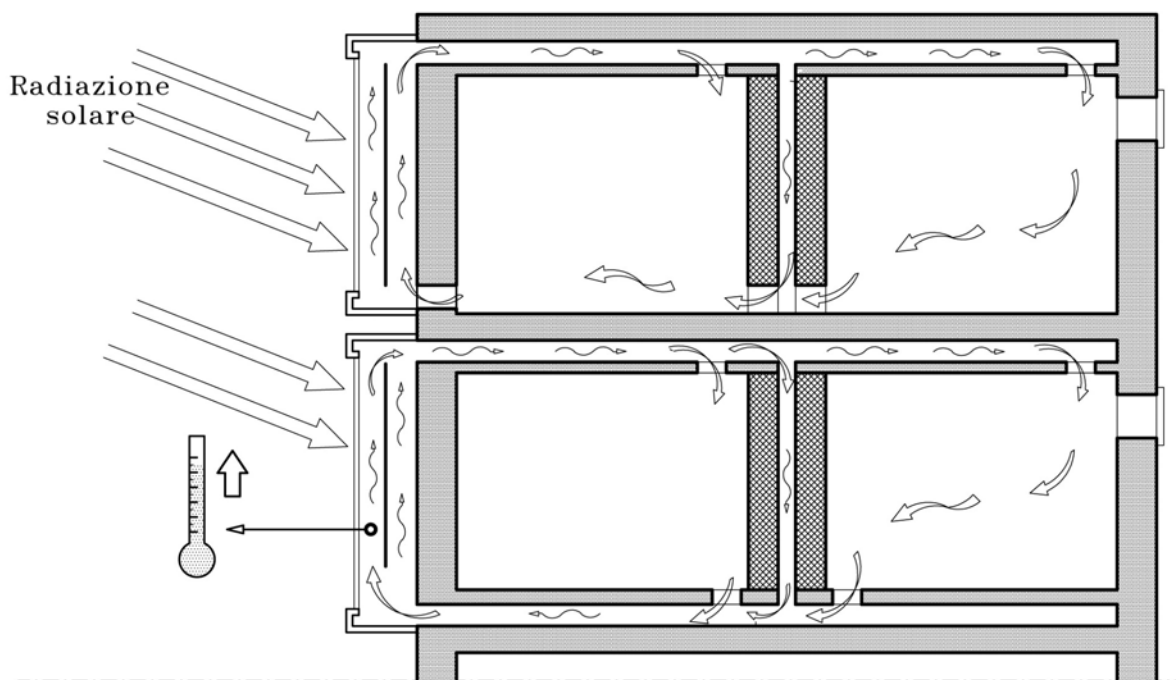


Figura 61 - Sistemi Barra-Costantini a “loop aperto” - fonte EcoEdility

Indifferentemente dal sistema utilizzato, *a guadagno diretto, a guadagno indiretto o isolato*, uno dei problemi principali rimane quello della corretta distribuzione del calore all'interno dell'edificio. La distribuzione ha lo scopo di far giungere il calore solare a tutti i locali in cui necessita e dipende direttamente dal progetto dell'edificio e dal sistema di riscaldamento. L'obiettivo del progettista è sempre quello di minimizzare la rete di distribuzione ed il sistema più efficace è quello di disporre i locali in modo che l'energia sia raccolta ed accumulata direttamente al loro interno o nelle immediate vicinanze. Per cause esterne, o in edifici complessi non sempre questo è possibile e si dovrà ricorrere ad un sistema di distribuzione più complesso. Un sistema di riscaldamento ad aria centralizzato può regolare la distribuzione mediante il ricircolo dell'aria interna. Può essere però rischioso progettare un edificio dove la distribuzione ha luogo esclusivamente per mezzo della circolazione naturale (convezione pura e moto dell'aria prodotto dalla pressione del vento).

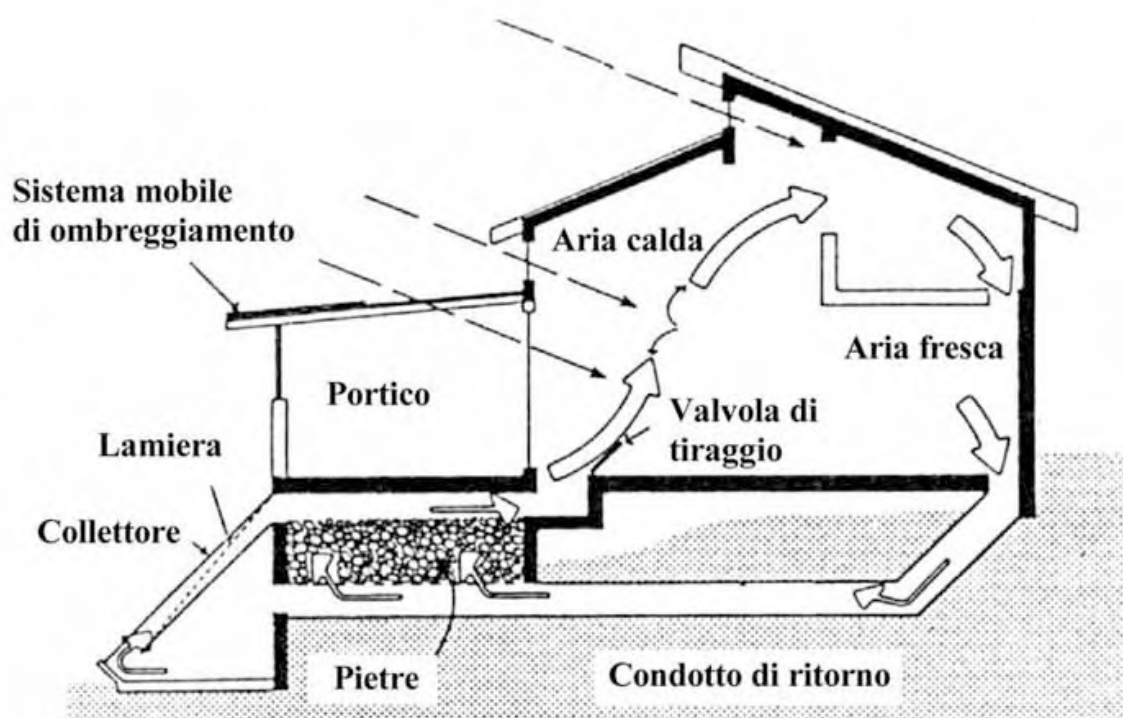


Figura 62 - Edificio bioclimatico a circolazione naturale - fonte Arch. Giampaolo Silvestri

La fig. 62 fornisce un esempio di questo tentativo per un edificio solare a più zone. La resistenza al flusso dell'aria (ad esempio in un letto di pietre) può comportare una velocità

inferiore a quella risultante dalle infiltrazioni e dalla ventilazione meccanica: in questo caso il sistema non funzionerà. E' più sicuro affidarsi a canali dell'aria e ventilatori per il trasferimento del calore: la fig. 63 illustra un tipico esempio.

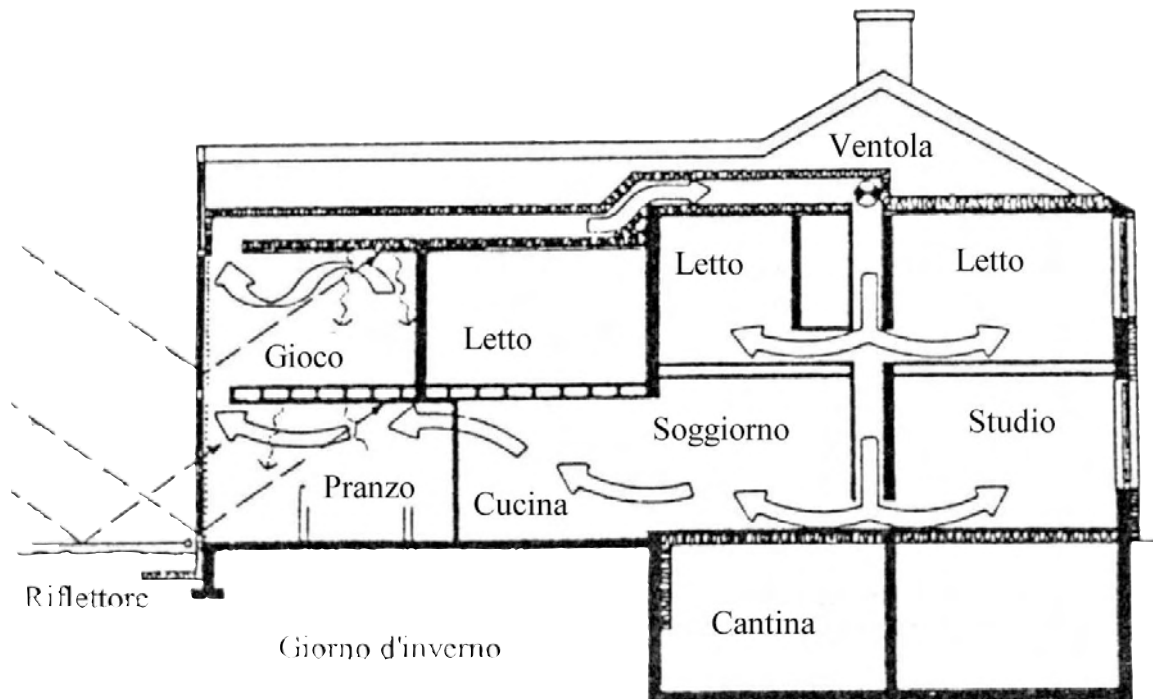
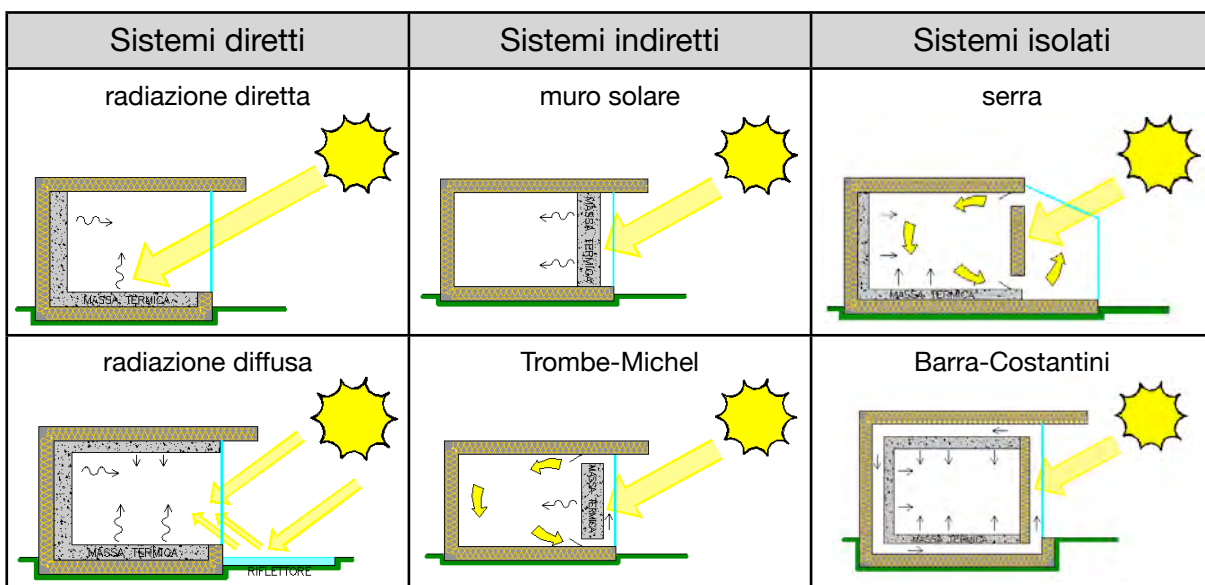


Figura 63 - Edificio bioclimatico con ausilio di ventilazione meccanica - fonte Arch. Giampaolo Silvestri

Per correttezza va ricordato che ad eccezione delle serre solari, le altre soluzioni (muri di Trombe-Michel, muri ad accumulo e/o ad acqua ed altri analoghi), pur energeticamente interessanti difficilmente trovano committenti disposti a realizzarli in quanto condizionano molto l'aspetto architettonico e la distribuzione degli spazi interni.



Sistemi diretti	Sistemi indiretti	Sistemi isolati
<p>serra a radiazione diretta</p>	<p>muro d'acqua</p>	<p>collettore isolato</p>
	<p>muro isolato</p>	
<p>radiazione diretta</p>	<p>soffitto d'acqua</p>	<p>attico nero</p>
<p>radiazione diretta</p>	<p>roof pond</p>	
		<p>termosifone a "loop" aperto</p>
		<p>termosifone a "loop" chiuso</p>

Tabella 9 - Sistemi per il riscaldamento solare passivo

6.7 *Il raffrescamento solare passivo*

L'importanza del raffrescamento è cresciuta negli ultimi anni di pari passo con il cambiamento del clima, che ha reso le estati un tempo miti delle regioni mediterranee, in calde e torride. L'evidente cambiamento climatico, che si sta instaurando sempre più stabilmente anche nel resto dell'Europa, ha favorito la diffusione di impianti per la climatizzazione estiva, disponibili a prezzi sempre più convenienti, apportando un considerevole aumento ai consumi energetici estivi, come la più recente attualità ha messo in risalto. Di conseguenza tra gli obiettivi dell'edilizia bioclimatica non vi è più solo quello di guadagnare il massimo del calore nelle stagioni fredde, ma soprattutto quello di prevedere una climatizzazione ottimale durante tutti i mesi dell'anno. La tecnica principale per raffrescare un ambiente è la ventilazione, naturale o indotta che sia. In entrambi i casi, la ventilazione agisce sul benessere attraverso due meccanismi, uno diretto (quello che si ha sulla persona, consentendo e facilitando lo scambio termico tra questi e l'ambiente che lo circonda) e uno indiretto, tramite il raffreddamento dell'edificio stesso. Il metodo più semplice per raffrescare un ambiente consiste nel creare una naturale ventilazione degli ambienti tramite un'opportuna apertura delle finestre. Per quanto riguarda la ventilazione indotta, i principali sistemi sono: *l'espulsione dell'aria per effetto camino*, *la ventilazione passante* (orizzontale o verticale), *la ventilazione a lato singolo* (singola apertura o apertura multipla) e *la ventilazione combinata vento - effetto camino*.

L'espulsione dell'aria per effetto camino è il metodo più semplice e sfrutta la naturale propensione dell'aria calda (più leggera di quella fredda) a salire verso l'alto. Collocando una o più aperture nella parte alta dell'edificio, l'aria calda in uscita si "tirerà dietro" l'aria più fredda, che entrerà da apposite aperture poste nella parte bassa dell'edificio.

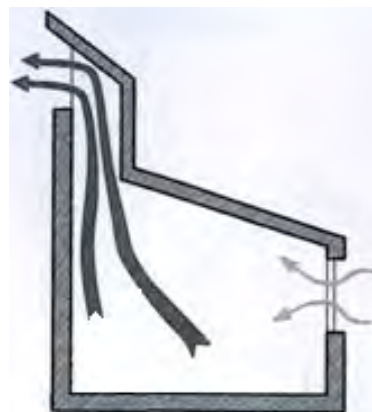


Figura 64 - *Effetto camino*

Nella *ventilazione passante orizzontale* il flusso d'aria attraversa uno o più locali, con immissione e uscita dell'aria da aperture collocate su pareti opposte o adiacenti (ma non complanari), collocate alla stessa altezza dal piano di pavimento (in caso di altezze differenti, si aggiunge al vento la componente effetto camino). La portata d'aria realizzabile con tale tecnica è proporzionale all'area netta di apertura, all'angolo di incidenza del vento sul piano dell'apertura e alla differenza di pressione tra le due aperture.



Figura 65 - *Ventilazione passante orizzontale* - fonte mybestlife

La *ventilazione a lato singolo* si ottiene aprendo una o più aperture sulla medesima parete esterna. Nel caso di una singola apertura avremo un flusso discontinuo legato prevalentemente ad un effetto di pulsazione dell'aria, dipendente dalle variazioni di velocità e direzione che caratterizzano il vento negli intervalli brevi. Se le aperture sono più d'una, la portata aumenta: per effetto camino, se esse sono collocate ad altezze diverse; per l'innescò di flusso da vento semi-passante, se le aperture sono collocate alla stessa altezza. Un semplice ma efficace metodo è il cosiddetto "Wing Wall", in pratica un muro dotato sul suo lato esterno di solidi pannelli verticali, posti immediatamente di fianco a finestre e perpendicolarmente al muro, sul lato sopravvento della casa. In questo modo, la velocità naturale del vento viene accelerata dalla differenza di pressione che si viene ad instaurare tra il lato interno e quello esterno del muro così configurato.

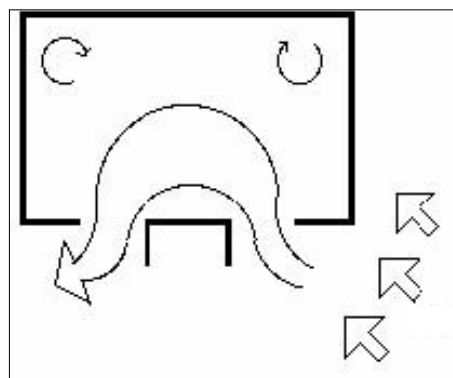


Figura 66 - *Wing Wall* - fonte mybestlife

Per *ventilazione passante verticale* o “a torre di captazione” si intende una tecnica di ventilazione passante, in cui l’immissione dell’aria avviene da un’apertura posta più in alto

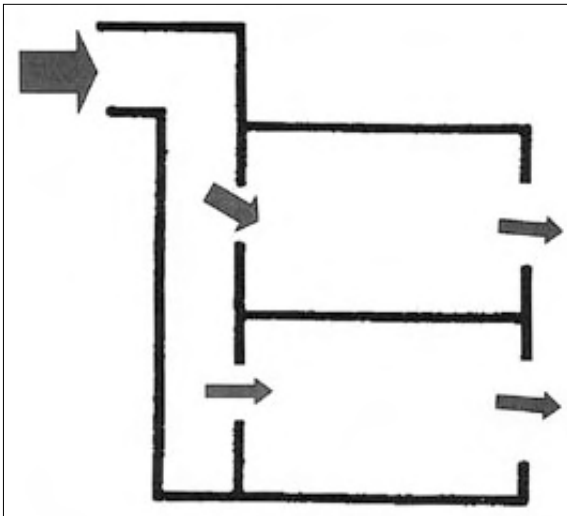


Figura 67 - *Torre di captazione* - fonte mybestlife

rispetto a quella di uscita. Generalmente, il sistema prevede un condotto verticale di immissione che collega l’apertura d’ingresso dell’aria al vano da ventilare. L’apertura d’ingresso deve essere rivolta sopravvento, in relazione ai venti dominanti. Tale sistema è particolarmente adatto in condizioni di vento prevalente relativamente costante, nel periodo

caldo, nonché in situazioni di contesto urbano ad alta densità edificata, in cui risulta difficile utilizzare aperture ordinarie (finestre) collocate a livello del vano per l’immissione d’aria, soprattutto ai primi piani fuori terra. Tale sistema si può trasformare, in assenza di vento, in un sistema ad estrazione naturale per effetto camino.

Sistema combinato vento-effetto camino. Il sistema che, tipicamente, combina l’effetto del vento con quello determinato dalla differenza di temperatura dell’aria tra esterno ed interno (effetto camino), è quello in cui si prevede l’immissione dell’aria in zona sopravvento, all’altezza del locale da ventilare, e l’estrazione naturale da un’apertura posta più in alto, all’estremità di un condotto o vano verticale. Quest’ultimo può essere sia una conduttura costruita ad hoc, sia uno spazio con altre funzioni, quale un vano scala o un atrio con aperture apribili in copertura. Tale sistema può essere concepito sia come specificamente destinato all’estrazione (come nel caso d’utilizzo di vani scala) sia come la modalità inversa di un sistema in cui sia anche prevista la ventilazione passante verticale, come avviene nella torre del vento iraniana. Nel primo caso, il vento rappresenta un’agente d’ausilio alla generazione del flusso d’aria, che è determinata prevalentemente dall’effetto camino. Nel secondo caso,

funziona alternativamente come elemento di captazione o di estrazione dell'aria. Tipici esempi sono le torri del vento iraniane e le Qa'a egiziane. Le torri del vento iraniane sono elementi autonomi integrati nell'edificio con la funzione di generare un movimento d'aria al loro interno e costituiscono un sistema molto efficace per il raffreddamento degli edifici in climi caldi e aridi. La torre, generalmente suddivisa in più condotti interni, funziona, alternativamente come elemento di captazione o di estrazione dell'aria, in relazione al periodo e alla presenza o meno, di vento. Di notte la torre si raffredda poiché la sua massa muraria cede calore all'aria in essa contenuta, che si riscalda. Si genera quindi, un moto ascensionale dell'aria che, richiamata da aperture poste alla base dell'edificio, favorisce il raffreddamento dell'edificio e soprattutto della torre che funge da accumulo di freddo. Di giorno l'aria calda esterna, venendo a contatto con la massa muraria della torre, si raffredda ed aumentando di conseguenza la sua densità, scende verso il basso, entrando nell'edificio e provocandone il raffreddamento. La torre è in genere collegata ai locali da raffrescare attraverso un canale sotterraneo che raffredda ulteriormente l'aria.

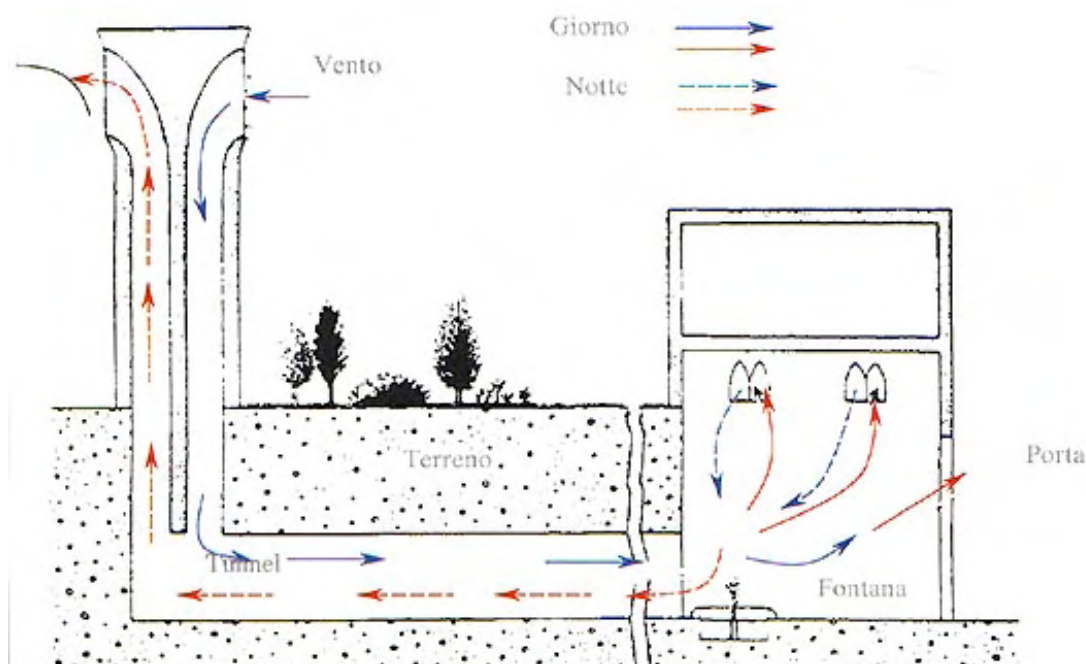


Figura 68 - Schema dei flussi d'aria in una torre iraniana associata a un condotto sotterraneo - fonte mybestlife

Il Qa'a egiziano è un sistema di raffreddamento passivo sviluppato dalla civiltà araba che unisce la ventilazione passante verticale con l'effetto camino. Il meccanismo di base consiste nel catturare il vento in alto, dove è più veloce e più freddo, attraverso il malkaf, posto sopravvento e possibilmente a nord, condurlo all'interno dell'edificio per raffrescare gli ambienti ed espellere quindi l'aria calda e viziata attraverso aperture poste in alto, in un lanternino o torre. Il ciclo è continuo sia di giorno che di notte.

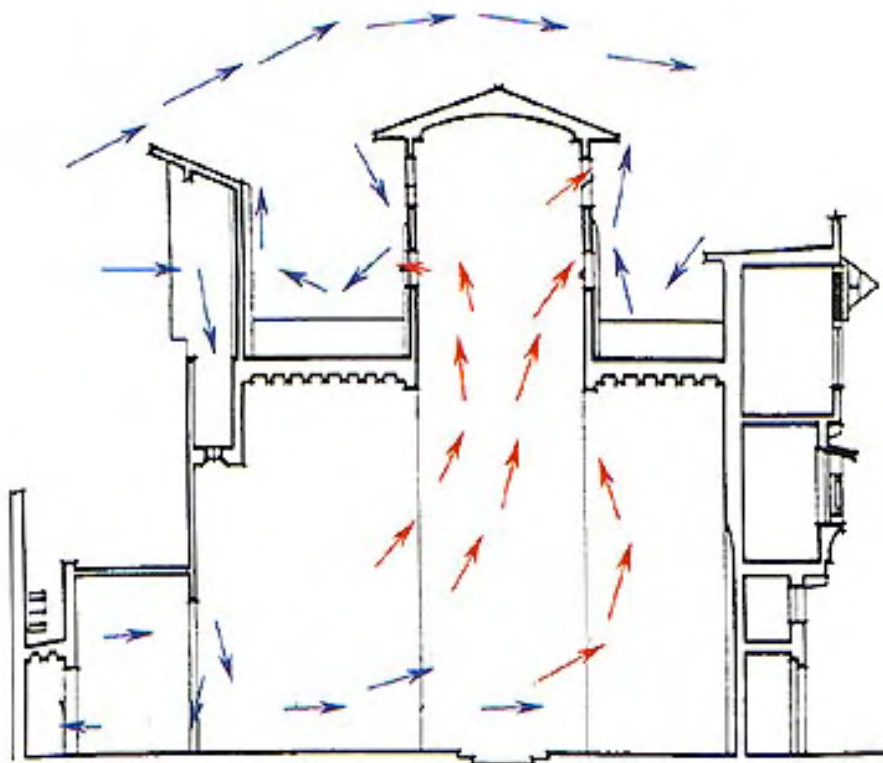


Figura 69 - Schema dei flussi d'aria nel qa'a di Othman Katkhuda, Cairo (1350) - fonte mybestlife

Nei nostri climi si è preferito limitarsi all'utilizzo del solo effetto camino, costruendo dei veri e propri camini termici in metallo che, impiegando le correnti convettive per estrarre l'aria dall'edificio hanno prodotto ottimi risultati. Questi camini, denominati "camini solari", hanno una configurazione che prevede uno strato metallico nero facilmente riscaldabile con la funzione di assorbitore di calore, eventualmente coperto da vetro. L'aria calda che si forma all'interno della "canna" tenderà a diventare sempre più leggera e a salire verso l'alto,

creando così una specie di tiraggio. Il camino, ovviamente, deve essere esposto al sole e in particolare la sua parte terminale, che deve finire oltre il livello del tetto. All'estremità viene generalmente posto un coperchio palettato metallico, che si oppone agli effetti dei venti prevalenti permettendo alla corrente d'aria calda di sfogare all'esterno.

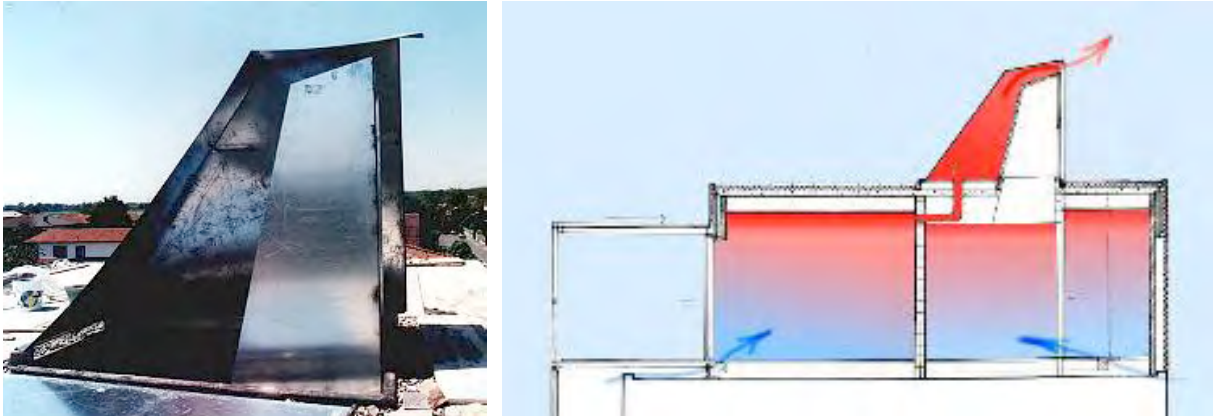


Figura 70 - *Camino solare realizzato in una abitazione bioclimatica di Cusago* - fonte Panexpo



Figura 71 - *Camini solari realizzati nel Building Research Establishment a Garston* - fonte fcbstudios

L'USO DELLE FONTI RINNOVABILI DI ENERGIA

7.1 *Premessa*

Una fonte di energia si definisce rinnovabile, quando il suo sfruttamento avviene in un tempo pari o inferiore a quello necessario per la sua rigenerazione ed il cui utilizzo non pregiudica le risorse naturali per le generazioni future. A differenza dei combustibili fossili e nucleari, destinati a esaurirsi, le fonti rinnovabili possono essere considerate virtualmente senza fine.



Figura 72 - *Sole e vento: due fonti di energia rinnovabile* - fonte wikipedia

Queste comprendono l'energia solare e quelle che da essa derivano: l'energia idraulica, eolica, delle biomasse, delle onde e delle correnti. Inoltre, sono considerate tali anche l'energia geotermica e l'energia dissipata sulle coste dalle maree. Con opportune tecnologie queste fonti di energia possono essere convertite in energia termica, elettrica, meccanica e chimica. L'utilizzo delle fonti rinnovabili di energia è uno degli strumenti individuati dall'Unione Europea per raggiungere l'obiettivo di riduzione delle emissioni di gas serra previsto dal Protocollo di Kyoto e per ridurre la dipendenza economica dai paesi produttori di petrolio. Per promuoverne la diffusione, si è posta come obiettivo, quello di raggiungere entro il 2020 una produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili pari al 20% del consumo totale. Oggi esistono in Europa diverse centrali che utilizzano fonti di energia rinnovabile,

dalle consolidate centrali idroelettriche, alle nuove centrali a solare termico, a solare fotovoltaico, eoliche, geotermiche, a biomassa, ecc.



Figura 73 - Centrale solare termica a torre, Odeillo (Francia) - fonte encarta

Ai fini della nostra trattazione ci occuperemo solo di quelle fonti di energia rinnovabile, utilizzabili all'interno degli edifici, in alternativa o in abbinamento ai normali impianti già presenti nelle nostre abitazioni.

7.2 *Il solare termico*

Quando si parla di “solare termico”, si intende lo sfruttamento dell'irraggiamento del sole per la produzione di acqua calda sanitaria o per il riscaldamento dei locali abitativi. Sono sistemi che usano un collettore solare per riscaldare un liquido (o l'aria) e trasferire l'energia assorbita per produrre acqua calda o climatizzare un ambiente. Allo stato attuale, queste tecnologie hanno conseguito risultati di prestazione e affidabilità tali, da essere considerati alla pari dei più consolidati e tradizionali sistemi per il riscaldamento dell'acqua e dell'aria ad uso domestico. La storia di questa tecnologia incomincia nel XVIII secolo, quando lo

scienziato svizzero Horace Benedict de Saussure costruisce il primo pannello solare termico. Tale struttura, ancora piuttosto rudimentale, era fatta di una semplice scatola di legno ricoperta da un vetro che permetteva, all'acqua contenuta al suo interno, di raggiungere la ragguardevole temperatura di 87°C. Solo però intorno agli anni '50 è iniziata la distribuzione su larga scala di tale tecnologia. Il principio di funzionamento di un impianto solare termico è molto semplice. L'elemento fondamentale è il collettore solare, anche chiamato pannello solare per la forma che più spesso assume, in cui si attua quello che comunemente è noto come "effetto serra". Quando la radiazione solare incide sulla superficie vetrata del collettore, una piccola frazione di essa viene riflessa (circa il 4%) mentre la restante attraversa la lastra di vetro e penetra all'interno, dove viene assorbita da una piastra captante, in genere di colore nero. Scaldandosi, la piastra riemette energia sotto forma di radiazione infrarossa, incapace di riattraversare il vetro, che la trattiene così all'interno del collettore. La quantità d'energia assorbita e riflessa dalla lastra trasparente di copertura dipende dal materiale, che può essere vetro temprato privo di ferro, con ottime caratteristiche di trasmittanza ottica, ma più fragile e soprattutto costoso, oppure materia plastica, che risulta essere nettamente più economica, resistente e anche leggera, ma che ha l'inconveniente di lasciar passare maggior radiazione infrarossa e di essere fisicamente meno stabile nel tempo. Una volta calda, la piastra captante cede il calore assorbito ad un fluido vettore, il quale trasporterà l'energia accumulata all'interno dell'edificio, per assolvere le varie funzioni cui è destinato. A seconda delle loro caratteristiche, i collettori sono distinti in collettori piani, collettori a tubi sottovuoto, collettori scoperti e collettori ad aria.

Collettori piani: questi pannelli sono quelli con la struttura più tradizionale ed anche tra i più diffusi, in quanto in commercio da oltre vent'anni. Seppur profondamente migliorati dal punto di vista dell'efficienza e del tempo utile di vita, tali collettori hanno sempre presenti alcuni elementi base che sono: 1) una superficie trasparente, di vetro temprato o materiale

polimerico; 2) un fascio di tubi fissati su di una piastra assorbente di colore scuro; 3) una struttura portante, costituita da una cornice di acciaio od alluminio anodizzato più un fondo piano retrostante in lamiera zincata o vetroresina; 4) uno strato isolante di lana di roccia o poliuretano, per la coibentazione. All'interno dei tubi scorre, come detto, il fluido termovettore, di solito una miscela di acqua e glicole (antigelo per periodi particolarmente freddi e con il vantaggio ulteriore di raggiungere in fase liquida temperature fino ai 150°C). Questi collettori, dal profilo rettangolare, contengono al loro interno generalmente aria, ma possono anche essere riempiti con gas nobili per migliorarne le prestazioni. Le dimensioni variano moltissimo e vanno dagli 1,5 m² a modulo fino agli 8 m² e la tendenza dei produttori è quella di rendere disponibili sul mercato moduli di taglia sempre maggiore. Questo comporta vantaggi, come quello di ridurre il numero di giunzioni tra più moduli e quello di minimizzare il rapporto superficie/volume per limitare al massimo le perdite di calore ma, di contro, strutture più robuste e stabili. Cuore del collettore è la piastra assorbente, realizzata solitamente in rame o alluminio (al quale è applicato un rivestimento superficiale selettivo, capace di massimizzare la conversione dell'irraggiamento in calore e di trattenerlo) e collegata solidamente ai tubi in cui il fluido scorre. La copertura trasparente, come visto inizialmente, serve a favorire la penetrazione dei raggi solari che vanno ad incidere sulla piastra assorbente. Il numero di tali lastre, da inserire in successione, dipende dalla natura, dalla velocità del fluido termovettore e dalla temperatura dell'aria esterna. Se il fluido circola a bassa velocità, la piastra assorbente tenderà a riscaldarsi di più e allora sarà necessario un numero maggiore di lastre allo scopo di trattenerne tutto il calore intercettato. In genere, l'uso di due vetri è già sufficiente. Passando alla cassa, i materiali più utilizzati sono, come già anticipato, alluminio (leggero e quindi disponibile per le taglie più svariate), acciai legati e acciai zincati e, specialmente per la versatilità nell'integrazione edile, materie plastiche e

legno. I collettori piani, essendo tra i modelli in commercio i più collaudati, sono quelli che offrono il miglior rapporto qualità/prezzo.

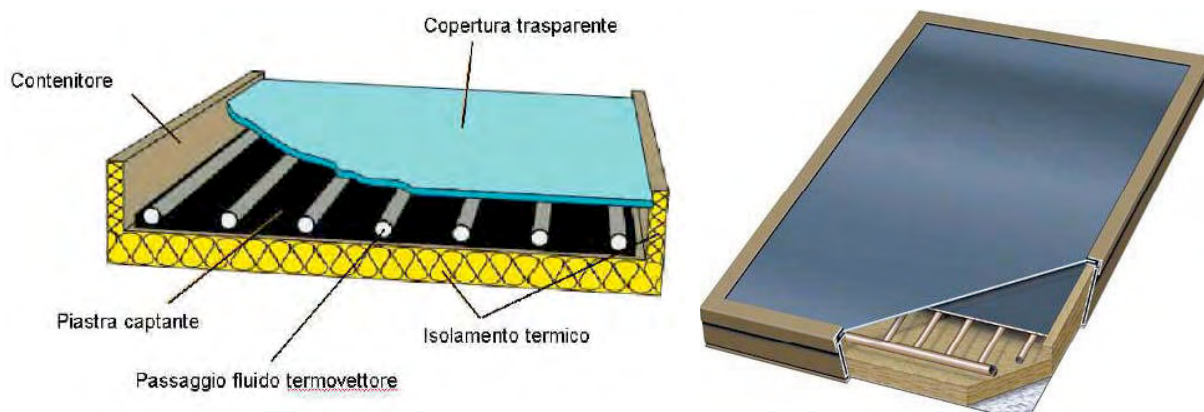


Figura 74 - Collettori solari piani - fonte positivenergie.net

Collettori a tubi sottovuoto: per incrementare l'efficienza dei moduli, si è pensato di praticare il vuoto tra l'assorbitore e la copertura trasparente. Questa soluzione, non facilmente adottabile nei collettori piani per problemi di fragilità e tenuta stagna, ha dato luogo ad un'altra categoria di moduli, detti a tubi sottovuoto. Le elevate prestazioni di questi collettori, che possono raggiungere temperature tra i 75°C ed i 150°C, sono dovute al fatto che l'assenza d'aria (aspirata in fase d'assemblaggio) riduce drasticamente le dispersioni di calore di tipo convettivo e conduttivo verso l'esterno. Ciascuno di questi tubi prevede al suo interno una lamina di materiale selettivo e, posteriormente a questa, tubi in cui viene fatto scorrere un fluido a bassa temperatura d'ebollizione (in genere pentano), che trasporterà l'energia accumulata all'interno dell'edificio, per assolvere le funzioni cui è destinato.



Figura 75 - Collettori a tubi sottovuoto - fonte westim

Collettori scoperti: sono costituiti da una serie di tubi di plastica colorati di nero privi della copertura trasparente superiore. Sono collettori molto semplici dove l'acqua riscaldata viene usata direttamente. Per funzionare adeguatamente hanno bisogno di temperature esterne non inferiori ai 20°C e, per questo motivo, trovano la loro giusta applicazione là dove sono utilizzati nel periodo estivo, come il riscaldamento delle piscine e l'installazione in stabilimenti balneari. I materiali usati per costruire tali pannelli sono solitamente PVC, neoprene o polipropilene. Con i primi due si possono raggiungere pressioni massime di 1 atm, mentre con il polipropilene è possibile spingersi fino a 6 atm, dando adito ad applicazioni più impegnative. La loro semplicità va a discapito della loro efficienza, ma il loro uso essenzialmente stagionale è permesso dai costi d'installazione particolarmente bassi.



Figura 76 - Collettore scoperto - fonte rri

Collettori ad aria: differiscono dai precedenti in quanto il fluido termovettore primario non è un liquido ma semplicemente aria, e per questo, vengono di solito utilizzati per il riscaldamento degli edifici. Questa soluzione prevede l'uso di pannelli piani, dove l'aria circola tra vetro e assorbitore oppure tra quest'ultimo e il fondo del collettore. La scelta è condizionata dalle condizioni climatiche dell'area d'installazione e, nel caso di predominanza di temperature rigide, si preferisce indirizzare il flusso d'aria tra la piastra assorbente e il fondo. Nel caso, comunque, che l'aria non venga riscaldata più di 17°C oltre la temperatura esterna, la scelta tecnica risulta assolutamente libera. L'assorbitore, inoltre, è alettato in modo da rendere lento e tortuoso il percorso del flusso d'aria, al fine di garantire una più lunga

permanenza del fluido all'interno del pannello e far sì che assorba la maggior quantità di calore possibile. Grande vantaggio di questi collettori, è quello di non avere problemi legati al rischio di gelate o all'ebollizione del fluido vettore.

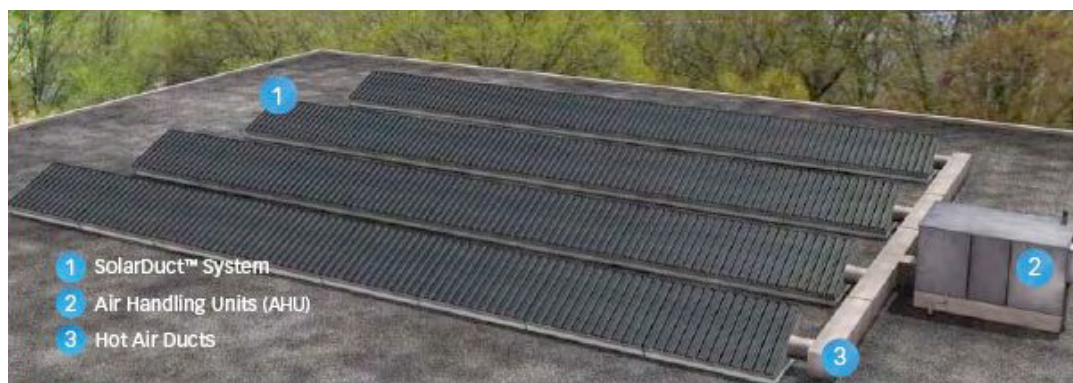


Figura 77 - Collettore ad aria calda SolarDuct - fonte Casa&Clima

Indifferentemente dal tipo di collettore utilizzato, il trasferimento del fluido vettore all'interno dell'edificio avviene attraverso un circuito idraulico, denominato "circuito solare", costituito da tubazioni, eventualmente una pompa di circolazione se l'impianto è a circolazione forzata, valvole di regolazione e un vaso d'espansione (al fine di contenere la dilatazione del fluido termovettore quando s'innalza la temperatura d'esercizio). Le tubazioni sono solitamente in rame accuratamente coibentate con materiali resistenti alle intemperie e ai raggi ultravioletti. I circuiti solari possono distinguersi in due categorie: 1) "open loop", sistema che prevede l'uso della stessa acqua dell'impianto domestico per uso sanitario, che circola prima all'interno del collettore per riscaldarsi e poi finisce direttamente all'utente, e 2) "closed loop", sistema che prevede l'uso di due circuiti separati. Quello primario, proprio del pannello, dove scorre una miscela di acqua e antigelo, che raccoglie il calore del sole, e il circuito secondario, collegato all'impianto idraulico della casa, al fine di utilizzare l'acqua calda prodotta per i servizi domestici. Questa seconda soluzione, più comune perché più efficace in ambito residenziale, prevede quindi uno scambio termico tra i due circuiti. In questo modo si ottimizzano le proprietà necessarie per ogni fase di funzionamento dell'intero sistema termico, in particolare, è possibile usare come detto una soluzione antigelo nel circuito primario così da prevenire il

rischio di gelate e conseguenti avarie nel collettore. Il sistema solare termico comprende, poi, un serbatoio termicamente isolato, allo scopo di accumulare a lungo termine l'acqua calda prodotta. Se il sistema è destinato esclusivamente alla produzione d'acqua calda sanitaria, la capacità deve essere circa 1,5 - 2 volte il consumo giornaliero (tenuto conto che una persona richiede al di circa 50 - 60 litri). Tale contenitore, nel caso sia prevista una struttura a circuito chiuso, prevede al suo interno uno scambiatore di calore, nel quale circola il liquido caldo del circuito primario, che riscalda l'acqua contenuta nel serbatoio stesso. Quest'ultimo, allora, contiene solitamente due serpentine ad alta efficienza in rame, una nella parte bassa (che fa parte del circuito solare) e l'altra nella parte alta collegata ad un sistema di riscaldamento ausiliario termico o elettrico (in questo caso è prevista una resistenza), il quale interviene tutte le volte che il soleggiamento è insufficiente o nel caso di avarie del sistema energetico solare. La disposizione verticale di tale accumulatore consente l'ottenimento di un'utile stratificazione termica, cosicché l'acqua calda venga a trovarsi sempre nella parte più alta del serbatoio, dove poi avviene il prelievo.

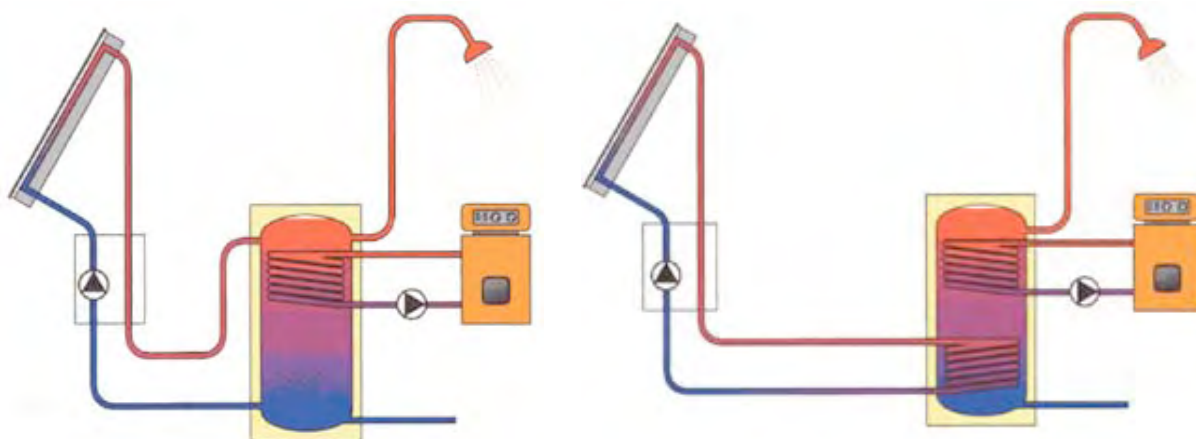


Figura 78 - Sistema a circuito aperto ed a circuito chiuso, entrambi con riscaldamento ausiliario - fonte romaenergia.org

L'intero sistema viene regolato e controllato da una centralina elettronica che comanda l'avvio e lo spegnimento della pompa di circolazione (se l'impianto è a circolazione forzata) e in ogni caso tutto il sistema di circolazione del fluido termovettore, in relazione ai segnali che riceve dai sensori posti nel serbatoio e nei pannelli. La centralina, infatti, confronta (per

mezzo di un termostato differenziale) la temperatura dell'acqua nel serbatoio con quella del fluido nei pannelli, se quest'ultima è superiore alla prima di circa $5,8^{\circ}\text{C}$, il sistema di controllo innesca la circolazione, così da immagazzinare l'energia termica utile. Quando, invece, la differenza di temperatura si riduce a meno di $2,3^{\circ}\text{C}$, il sistema di circolazione si blocca attraverso l'inserimento di una valvola di non ritorno a monte dei collettori.

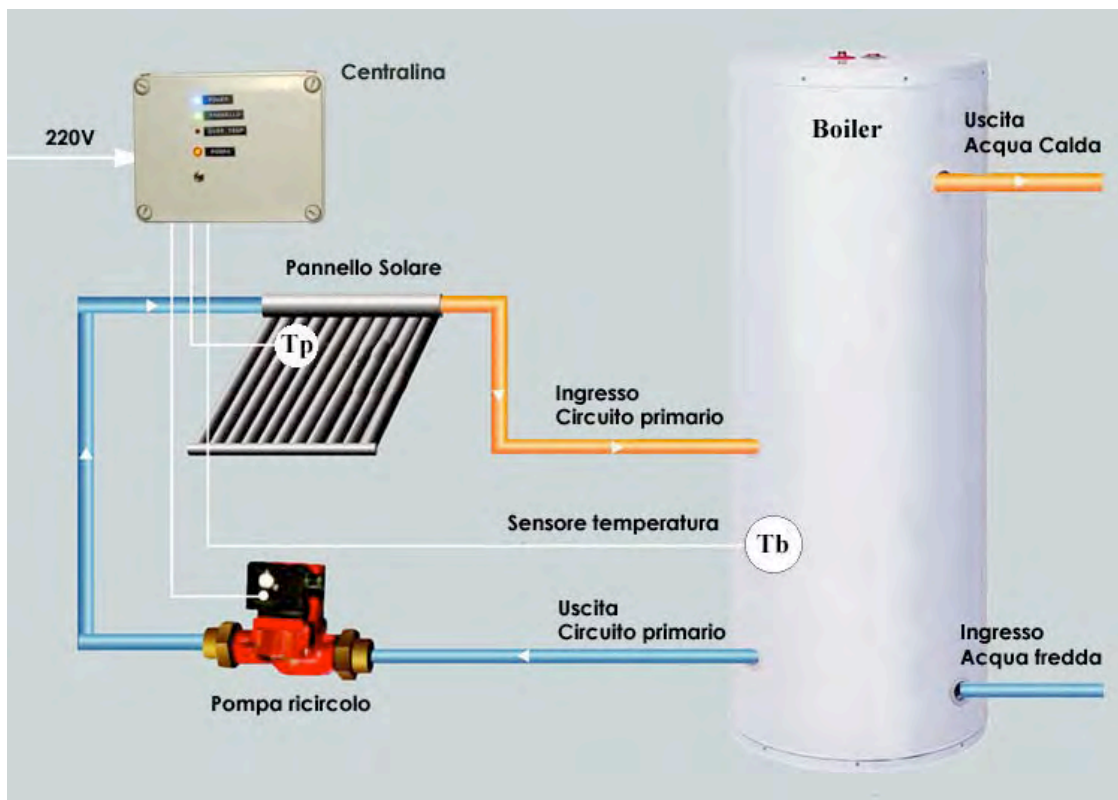


Figura 79 - Schema di un circuito solare chiuso a circolazione forzata - fonte ecosole

A fini impiantistici, i circuiti solari possono essere ulteriormente distinti in altre due categorie: a circolazione naturale e a circolazione forzata. I primi sono abbastanza semplici e necessitano, per un corretto funzionamento, che il serbatoio d'accumulo sia posizionato più in alto dei pannelli captanti e a breve distanza da questi, visto che la potenza del flusso è di solito bassa. Esistono, per questo motivo, sistemi monoblocco, dove l'accumulatore è posizionato all'esterno con il collettore, immediatamente sopra ad esso. Il funzionamento si basa sul concetto che il fluido vettore, una volta riscaldato dai raggi del sole, diminuisce di densità, diventa più leggero e tende conseguentemente a salire verso l'alto, rispetto a quello che si trova nello scambiatore a contatto con l'acqua d'accumulo più fredda. Ovviamente, nel

momento in cui l'irraggiamento si fa più debole, il fluido nel collettore diventa più pesante di quello transitante nel serbatoio e il ciclo si ferma, impedendo la dispersione dell'energia termica ormai raccolta. I lati positivi di questa tipologia impiantistica sono che, essendo privi di gruppo pompa e di centralina di controllo, si risparmia sulle spese d'investimento, d'esercizio e di manutenzione. A svantaggio c'è da dire che, oltre al vincolo della scelta della disposizione del serbatoio, si aggiunge un rendimento dell'impianto leggermente inferiore, dato da una circolazione che spesso risulta non ottimale andando conseguentemente ad influire sulla qualità dello scambio termico.

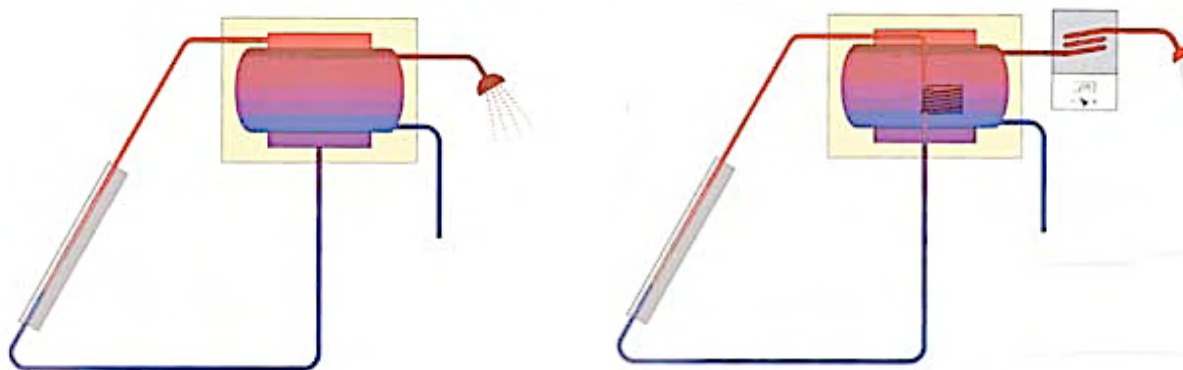


Figura 80 - Sistemi a circolazione naturale a circuito aperto ed a circuito chiuso - fonte romaenergia.org

Gli impianti a circolazione forzata sono dotati, invece, di una pompa che spinge il fluido termovettore nel suo percorso. Questa tipologia di impianti ha una più comoda e spesso estetica installazione, giacché non si è vincolati nel posizionamento del serbatoio (problema non trascurabile visto che ciò significa evitare di ospitare il pesante contenitore di circa 300 Kg - 500 Kg sul tetto o nel sottotetto) e la circolazione più rapida e fluida permette di stabilire un'efficienza d'impianto superiore, a discapito, però, di costi d'installazione più elevati e ad un'evidente necessità, seppur minima, di energia elettrica per il funzionamento. Le modalità impiantistiche sono davvero molteplici e variano in base alla funzione cui sono destinate. L'impiego più comune è quello della produzione d'acqua calda sanitaria, seguita da quella per il riscaldamento dell'acqua delle piscine ed infine, per impianti più complessi, per l'impiego combinato per la produzione d'acqua calda sanitaria e per il riscaldamento domestico.

Riscaldamento dell'acqua calda sanitaria: le odierne tecnologie permettono abbastanza facilmente di produrre acqua calda sanitaria sufficiente a coprire dal 80% al 95% del fabbisogno familiare, a seconda della zona climatica in cui ci si trova, con una copertura pari al 100% nel periodo che va da Aprile ad Ottobre. Gli schemi più comuni per la produzione d'acqua calda comprendono sia la possibilità di circolazione naturale che di quella forzata. I primi sono consigliati nel caso di piccolo nucleo familiare (2 o 3 persone al nord, 3 o 4 persone nelle aree più mediterranee), mentre i secondi sono validi per impianti più grandi o dove si vuole essere liberi dai suddetti vincoli per la disposizione del serbatoio. L'impianto viene, nella maggior parte dei casi, integrato con un impianto ausiliario (caldaia, pompa di calore o resistenza elettrica) anche se, la soluzione più comune, prevede sempre l'integrazione con una tradizionale caldaia murale a gas. Con questa soluzione, tramite una valvola deviatrice a tre vie, è possibile nel periodo estivo sfruttare quasi esclusivamente l'impianto solare, mentre in inverno si fa passare l'acqua, proveniente dai pannelli solari, nella caldaia, che funzionerà solamente quando l'insolazione non è sufficiente. In questo caso lavorerà comunque in minor misura, infatti, il circuito solare fornirà sempre un certo preriscaldamento dell'acqua stessa, anche nelle giornate coperte (attraverso la componente diffusa dell'irraggiamento). Per dimensionare correttamente questo tipo d'impianto è necessario conoscere il clima caratteristico del luogo ed il fabbisogno medio giornaliero d'acqua calda che l'impianto deve soddisfare. Alcune regole generali per un primo dimensionamento possono essere schematizzate dalla seguente tabella.

Zona climatica	Superficie collettore (m ² /persona)	Inclinazioni collettori
Milano	1 - 1,2	45° - 50°
Roma	0,7 - 0,8	41° - 45°
Palermo	0,6 - 0,65	38° - 40°

Tabella 10 - Dimensionamento collettori - fonte Enea

Riscaldamento piscine: I collettori solari scoperti o integrati sono certamente i più adatti ad uso prettamente estivo e quindi, per il riscaldamento dell'acqua delle piscine. Questi collettori, lavorando all'interno di un impianto piuttosto semplice, con un unico circuito in cui passa la stessa acqua della piscina, costano molto poco, anche se richiedono superfici piuttosto ampie perché poco efficienti e devono essere svuotati in inverno per evitare rischi di congelamento dell'acqua nei tubi. Si può valutare che l'investimento finanziario per l'acquisto di questi impianti può essere ripagato in un solo anno e mezzo.

Riscaldamento domestico: Se si decide di non limitare l'applicazione al solo riscaldamento dell'acqua sanitaria, ma di cimentarsi in un impianto più grande e più complesso, che permette allo stesso tempo di riscaldare gli ambienti domestici, è bene sottolineare fin dall'inizio che questo impianto lavorerà sempre in condizioni critiche, avendo la massima richiesta di calore proprio nei periodi di minore soleggiamento. Per il suo funzionamento saranno necessari: pannelli solari sottovuoto (ad alto rendimento), superfici captanti di notevoli dimensioni, serbatoi d'accumulo di elevata capacità ed un impianto di riscaldamento a bassa temperatura (in genere a pannelli radianti posti sotto il pavimento o a parete) che utilizzi acqua calda a temperatura non superiore ai 40°C. Inoltre è bene ricordare che questi impianti possono essere utilizzati solo in edifici con basse dispersioni termiche e, quindi, adeguatamente isolati per agevolare il più possibile il compito del sistema solare. Una soluzione alternativa, nell'ambito del riscaldamento residenziale, è costituita dagli impianti solari ad aria abbinati, evidentemente, ai collettori ad aria. In tali sistemi, sono previsti accumulatori a letto di pietre con grandi superfici di scambio. La loro convenienza va valutata caso per caso, tenendo presenti svantaggi quali una maggiore richiesta di potenza dei ventilatori, necessari al trasporto del fluido vettore, e condotti nettamente più ingombranti.

7.3 *Il solare fotovoltaico*

Gli impianti fotovoltaici consentono di trasformare, direttamente e istantaneamente, l'energia solare in energia elettrica senza l'uso di alcun combustibile. Producono elettricità là dove serve, non richiedono praticamente manutenzione e non danneggiano l'ambiente. Essi sfruttano il cosiddetto "effetto fotoelettrico", cioè la capacità che hanno alcuni semiconduttori opportunamente "drogati", di generare elettricità se esposti alla radiazione luminosa. Questo fenomeno fu osservato per la prima volta nel 1839, quando il fisico francese Alexandre Edmund Becquerel notò che la corrente indotta in una pila composta di due elettrodi di platino, immersi in una soluzione conduttrice di nitrato di piombo, all'interno di un contenitore di vetro, aumentava se esposta ai raggi del Sole. Questo esperimento portò al primo vero manifesto dell'effetto fotovoltaico: "Memoria sugli effetti elettrici prodotti sotto l'influenza dei raggi solari", presentato all'Accademia delle Scienze di Parigi dallo stesso studioso in quell'anno. La vera tecnologia fotovoltaica nasce però con gli studi di Smith, Adams e Day, i quali nel 1876 realizzano il primo dispositivo allo stato solido, composto da selenio e ossidi metallici. Lo sviluppo prosegue con gli approfondimenti di Hertz ed Einstein e con l'utilizzo esteso dei semiconduttori finché nel 1954 vennero prodotte dalla BELL le prime celle fotovoltaiche ad uso commerciale. Queste celle sono il componente base del sistema fotovoltaico e sono costituite da una sottile "fetta" di materiale semiconduttore, quasi sempre silicio di spessore pari a circa 0,3 mm. Possono essere rotonde o quadrate e possono avere una superficie compresa tra i 100 cm² e i 225 cm². Il silicio che costituisce la fetta viene "drogato" mediante l'inserimento su una "faccia" di atomi di boro (drogaggio p) e sull'altra piccole quantità di fosforo (drogaggio n). 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. Attualmente il silicio,

monocristallino e policristallino, impiegato nella costruzione delle celle è lo stesso utilizzato dall'industria elettronica, che richiede materiali molto puri e quindi costosi. Tra i due, il silicio policristallino è il meno costoso, ma ha rendimenti leggermente inferiori del monocristallino.

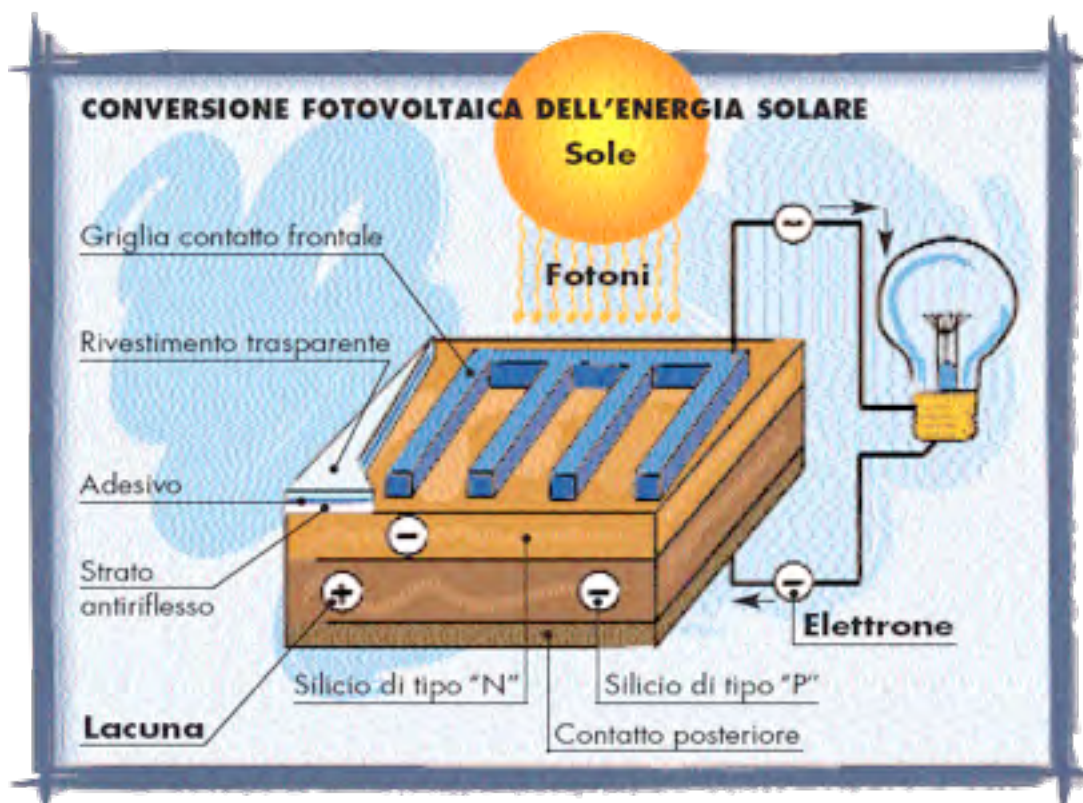


Figura 81 – Schematizzazione di una cella fotovoltaica - fonte Enea

Il comportamento di una cella fotovoltaica³³ è simile a quello di una minuscola batteria e nelle condizioni di soleggiamento tipiche dell'Italia³⁴ fornirà una corrente di 3 A, con una tensione di 0,5 V e una potenza pari a 1,5 Watt - 1,7 Watt di picco. Ovviamente l'energia elettrica prodotta sarà proporzionale all'energia solare incidente, che come sappiamo, varia al variare delle condizioni atmosferiche, nel corso della giornata ed anche al variare della stagioni. Per sapere quanta energia elettrica produrrà una cella in un determinato luogo dobbiamo conoscere l'*irraggiamento* della zona, ovvero la quantità di energia solare incidente su una superficie unitaria in un giorno (kWh/m²/giorno). Il valore istantaneo della radiazione solare incidente sull'unità di superficie viene invece denominato *radianza* (kW/m²).

³³ Calcolo su una cella di dimensioni 10 cm x 10 cm.

³⁴ Con radianza di 1kW/m² ed una temperatura di 25°C.

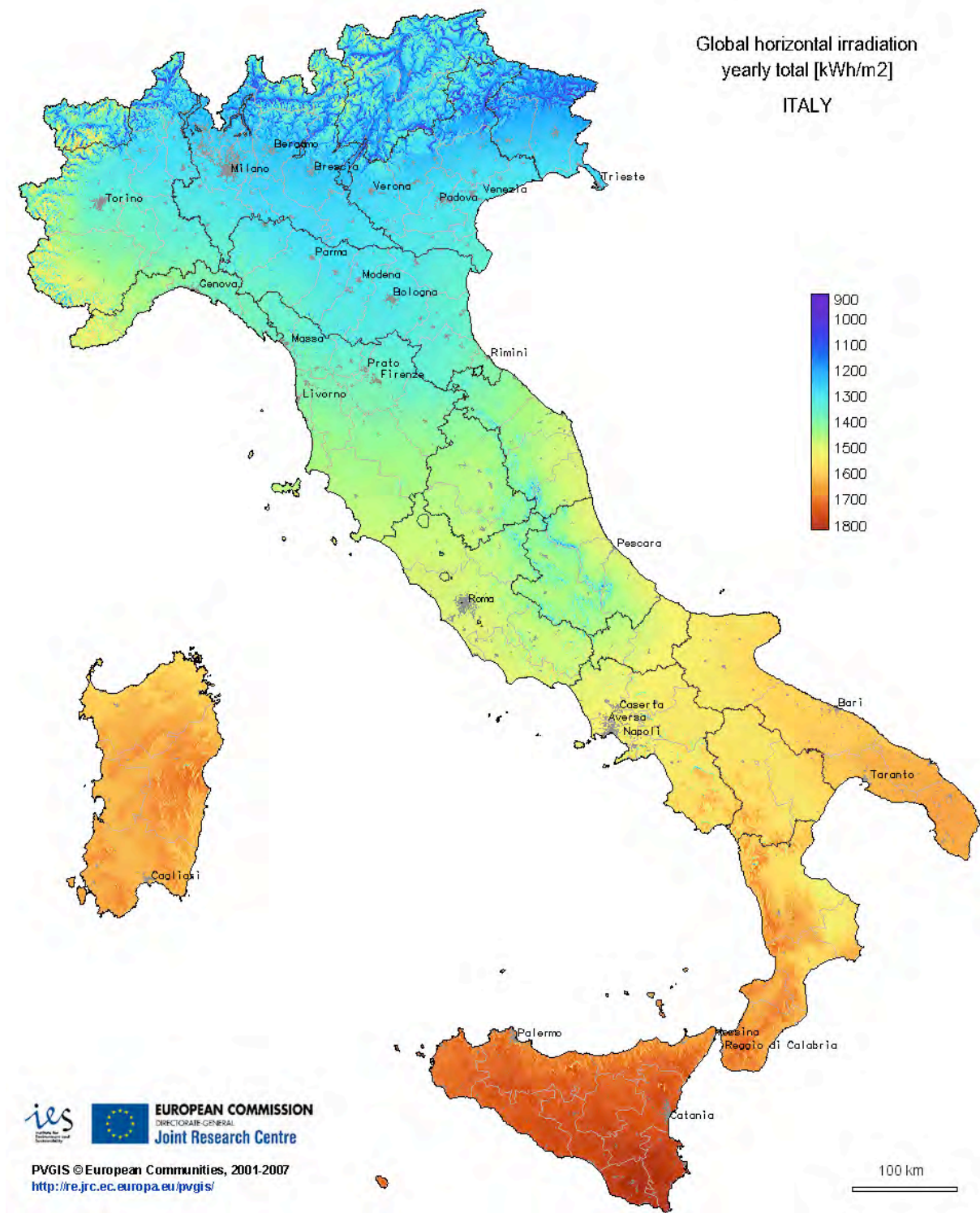


Figura 82 – Energia solare annualmente incidente su un piano orizzontale - fonte Enea

In Italia, l'irraggiamento medio annuale varia dai 3,6 kWh/m²/giorno della pianura padana ai 4,7 kWh/m²/giorno del centro Sud fino ai 5,4 kWh/m²/giorno della Sicilia. Nel nostro paese, quindi, le regioni ideali per lo sviluppo del fotovoltaico sono quelle meridionali e insulari anche se, per la capacità che hanno le celle fotovoltaiche di sfruttare la radiazione diffusa, gli

impianti fotovoltaici possono essere installati anche in zone meno soleggiate. In località favorevoli è possibile raccogliere annualmente circa 2.000 kWh da ogni metro quadrato di superficie, il che è l'equivalente energetico di 1,5 barili di petrolio per metro quadrato. Ma come è fatto un impianto fotovoltaico? Essenzialmente è costituito da un “*generatore fotovoltaico*”, da un “*sistema di condizionamento e controllo della potenza*”, da un eventuale “*accumulatore*” di energia e, naturalmente, dalla struttura di sostegno.

Il generatore fotovoltaico: il componente elementare di un generatore fotovoltaico è la cella, più celle costituiscono un modulo fotovoltaico. I più diffusi sono costituiti da 36 celle disposte su 4 file parallele collegate in serie. Hanno superfici che variano da 0,5 m² a 1 m² e permettono l'accoppiamento con gli accumulatori da 12 Vcc nominali. Più moduli collegati in serie formano un pannello, ovvero una struttura comune ancorabile al suolo o ad un edificio. Più pannelli collegati in serie costituiscono una stringa. Più stringhe, collegate generalmente in parallelo per fornire la potenza richiesta, costituiscono il generatore fotovoltaico.

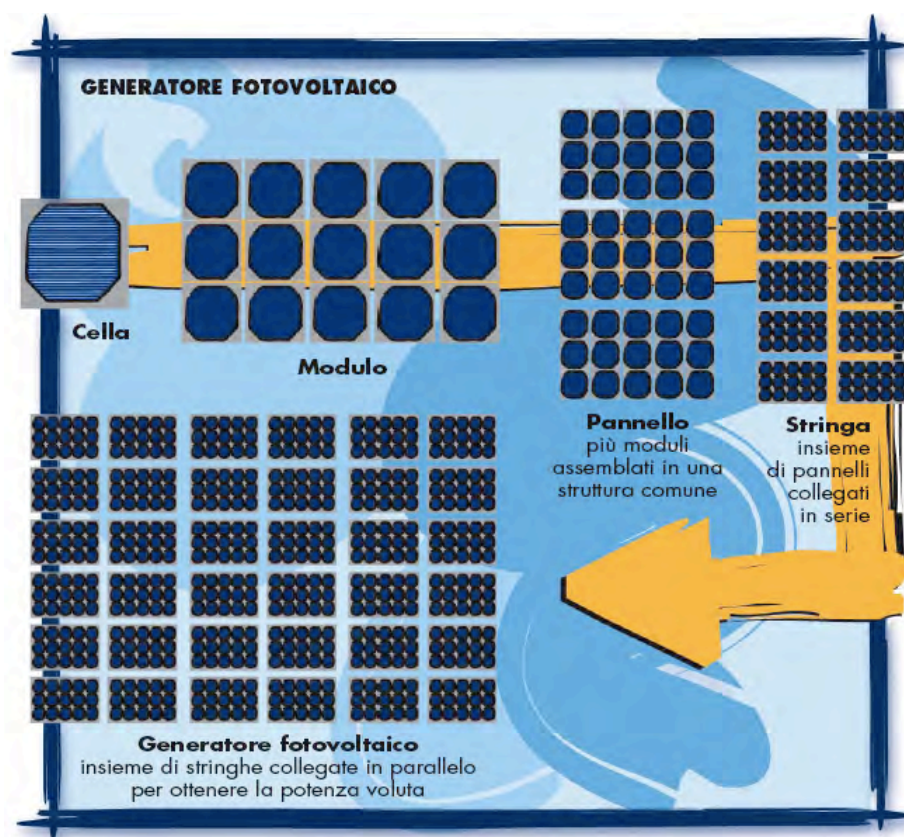


Figura 83 – *Generatore fotovoltaico* - fonte Enea

Dal punto di vista elettrico non ci sono praticamente limiti alla produzione di potenza da sistemi fotovoltaici, perché il collegamento in parallelo di più file di moduli, le “stringhe”, consente di ottenere potenze elettriche di qualunque valore.

Il sistema di condizionamento e controllo della potenza serve al trasferimento dell’energia dal sistema fotovoltaico all’utente attraverso vari dispositivi, necessari a trasformare la corrente continua prodotta in corrente alternata. Il sistema è costituito da un inverter, che trasforma la corrente continua prodotta dai moduli in corrente alternata, da un trasformatore e da un sistema di rifasamento e filtraggio che garantisce la qualità della potenza in uscita. Trasformatore e sistema di filtraggio sono normalmente inseriti all’interno dell’inverter.

L’accumulatore: È chiaro che il generatore fotovoltaico funziona solo in presenza di luce solare. L’alternanza giorno/notte, il ciclo delle stagioni, le variazioni delle condizioni meteorologiche fanno sì che la quantità di energia elettrica prodotta da un sistema fotovoltaico non sia mai costante e vari in continuazione. Ciò significa che, nel caso in cui si voglia avere la completa autonomia, occorrerà utilizzare un sistema di accumulo dell’energia elettrica (una batteria) che la renda disponibile nelle ore di soleggiamento insufficiente. In alternativa si può collegare l’impianto alla rete elettrica di distribuzione nazionale.

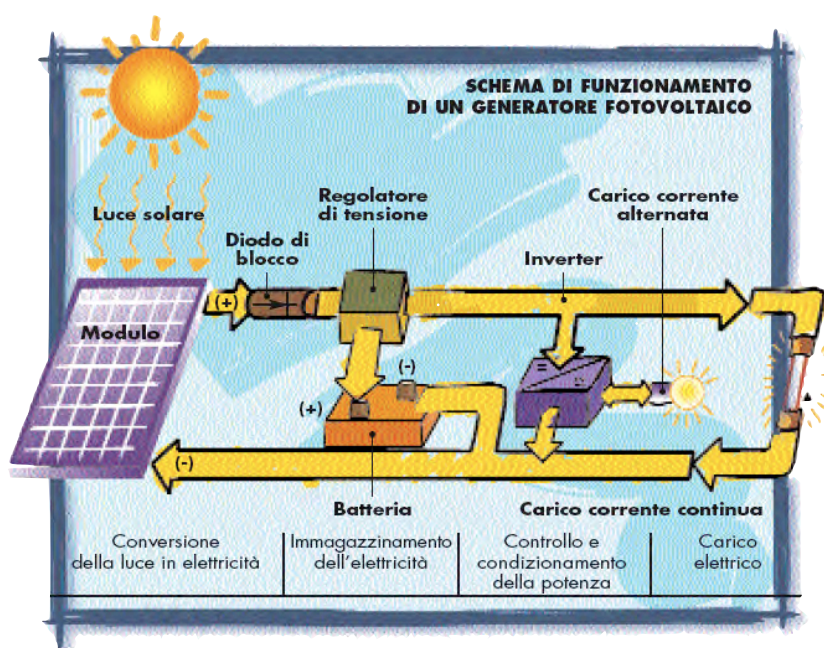


Figura 84 – Schema di funzionamento di un impianto fotovoltaico - fonte Enea

Gli impianti fotovoltaici sono dunque sistemi che convertono l'energia solare direttamente in energia elettrica. Le potenze generate da questi dispositivi variano da pochi a diverse decine di Watt, a seconda delle dimensioni e delle tecnologie adottate. Secondo il tipo di applicazione a cui l'impianto è destinato, le condizioni di installazione, le scelte impiantistiche, il grado di integrazione nella struttura edilizia con cui si interfaccia, si distinguono varie tipologie di impianto.

Impianti isolati (stand-alone): Sono impianti non collegati alla rete elettrica e sono costituiti dai moduli fotovoltaici, dal regolatore di carica e da un sistema di batterie che garantisce l'erogazione di corrente anche nelle ore di minore illuminazione o di buio. La corrente generata dall'impianto fotovoltaico è una corrente continua. Se l'utenza è costituita da apparecchiature che prevedono una alimentazione in corrente alternata è necessario anche un convertitore (l'inverter). Attualmente le applicazioni più diffuse servono ad alimentare le apparecchiature per il pompaggio dell'acqua (soprattutto in agricoltura), ripetitori radio, stazioni di rilevamento e trasmissione dati (meteorologici e sismici), apparecchi telefonici, apparecchi di refrigerazione, sistemi di illuminazione, ecc.

Impianti collegati alla rete (grid-connected): Sono impianti stabilmente collegati alla rete elettrica. Nelle ore in cui il generatore fotovoltaico non è in grado di produrre l'energia necessaria a coprire la domanda di elettricità, la rete fornisce l'energia richiesta. Viceversa, se il sistema fotovoltaico produce energia elettrica in più, il surplus può essere trasferito alla rete o accumulato. Un inverter trasforma la corrente continua prodotta dal sistema fotovoltaico in corrente alternata. I sistemi connessi alla rete, ovviamente, non hanno bisogno di batterie perché la rete di distribuzione sopperisce alla fornitura di energia elettrica nei momenti di indisponibilità della radiazione solare.



Figura 85 – Schema di impianto grid-connected - fonte Enea

Questi impianti, che attualmente si vanno sempre più diffondendo grazie anche agli incentivi pubblici, sono piccoli sistemi distribuiti sul territorio con potenza non superiore a 20 kWp. Gli impianti più diffusi hanno potenze tra 1,5 kWp e 3 kWp e vengono generalmente installati sui tetti, sulle terrazze o sulle facciate degli edifici. *Gli impianti integrati negli edifici* costituiscono una delle più promettenti applicazioni del fotovoltaico. Si tratta di sistemi che vengono installati su costruzioni civili o industriali per essere collegati alla rete elettrica di distribuzione in bassa tensione. La corrente continua generata istantaneamente dai moduli viene trasformata in corrente alternata e immessa nella rete interna dell'edificio utilizzatore, in parallelo alla rete di distribuzione pubblica. In questo modo può essere, a seconda dei casi, consumata dall'utenza locale oppure ceduta, per la quota eccedente al fabbisogno, alla rete stessa. I moduli fotovoltaici possono essere utilizzati come elementi di rivestimento degli edifici anche in sostituzione di componenti tradizionali. A questo scopo l'industria

fotovoltaica e quella del settore edile hanno messo a punto moduli architettonici integrabili nella struttura dell'edificio che trovano sempre maggiore applicazione nelle facciate e nelle coperture delle costruzioni. La possibilità di integrare i moduli fotovoltaici nelle architetture e di trasformarli in componenti edili ha notevolmente ampliato gli orizzonti di applicazione del fotovoltaico e quelli dell'architettura che sfrutta questa forma di energia. Un impiego di particolare interesse è rappresentato, infatti, dalle “facciate fotovoltaiche”. I moduli per facciata sono composti da due lastre di vetro fra le quali sono interposte celle di silicio tenute insieme da fogli di resina. La dimensione di questi moduli può variare da 50 cm x 50 cm a 210 cm x 350 cm. Inoltre, dal momento che tanto più bassa è la temperatura dei moduli fotovoltaici durante l'irraggiamento solare, maggiore è il loro rendimento energetico, le facciate fotovoltaiche trovano la loro migliore applicazione nelle zone “fredde” delle facciate (parapetti, corpi ascensore e altre superfici opache) sempre che siano orientati verso sud, sud-est o sud-ovest e non si trovino in una zona ombreggiata.



Figura 86 – Fiera di Primiero, Trento - fonte G.S.E.

Ma quanta energia produce un impianto fotovoltaico? La quantità di energia prodotta da un generatore fotovoltaico varia nel corso dell'anno e dipende da una serie di fattori come la latitudine e l'altitudine del sito, l'orientamento e l'inclinazione della superficie dei moduli, e le caratteristiche di assorbimento e riflessività del territorio circostante. A titolo indicativo alle latitudini dell'Italia centro-meridionale un metro quadrato di moduli può produrre in media 0,3 kWh - 0,4 kWh al giorno nel periodo invernale, e 0,6 kWh- 0,8 kWh in quello estivo. La tabella seguente dà un'indicazione di massima della "capacità produttiva" di un impianto fotovoltaico connesso alla rete.

Zona climatica	Moduli in silicio monocristallino (kWh/m ² anno)	Moduli in silicio policristallino (kWh/m ² anno)	Energia utile per 1 kWp installato (kWh/kWp anno)
Milano	150	130	1.080
Roma	190	160	1.350
Palermo	210	180	1.500

Tabella 11 - Capacità produttiva di un impianto fotovoltaico - fonte Enea

Vengono indicati, per le tre localizzazioni diverse, i kWh elettrici generati mediamente in un anno e immessi in rete, per ogni metro quadrato di moduli in silicio monocristallino e in silicio policristallino, per un impianto di potenza nominale pari ad 1 kWp (si tenga conto che esso corrisponde a circa 8 m² di moduli in silicio cristallino e a 10 m² di quelli in silicio policristallino). Ma dove e come si posiziona un impianto fotovoltaico? Per ottenere la massima produzione di energia, in fase di progettazione, bisogna studiare l'irraggiamento e l'insolazione del sito. Questo consente di decidere l'inclinazione e l'orientamento della superficie del dispositivo captante. Per la latitudine del nostro Paese, la posizione ottimale della superficie del pannello risulta quella a copertura dell'edificio con esposizione a Sud e con un angolo di inclinazione di circa 20° - 30° rispetto al piano orizzontale. Ma anche la disposizione sul piano verticale del palazzo, cioè in facciata, riesce a conseguire ottimi risultati. L'importante è posizionare il pannello in modo da evitare zone d'ombra.

7.4 *Le pompe di calore*

Le pompe di calore sono macchine in grado di trasferire calore da un ambiente a temperatura più bassa ad un altro a temperatura più alta. Esse operano con lo stesso principio del frigorifero e del condizionatore d'aria. Sono costituite da un circuito chiuso, percorso da uno speciale fluido (frigorigeno) che, a seconda delle condizioni di temperatura e di pressione in cui si trova, assume lo stato di liquido o di vapore. Il circuito è costituito da un compressore, da un condensatore, da una valvola di espansione e da un evaporatore. Il condensatore e l'evaporatore sono costituiti da scambiatori di calore, cioè tubi posti a contatto con un fluido di servizio (che può essere acqua o aria) nei quali scorre il fluido frigorigeno. Questo cede calore al condensatore e lo sottrae all'evaporatore. I componenti del circuito possono essere sia raggruppati in un unico blocco, sia divisi in due parti (sistemi split) raccordate da tubi nei quali circola il fluido frigorigeno. Quando la pompa di calore entra in funzione, il fluido frigorigeno contenuto all'interno del circuito (allo stato gassoso e a bassa pressione) viene portato ad alta pressione (nella compressione si riscalda e assorbe calore) e spedito al condensatore. Qui passa dallo stato gassoso a quello liquido cedendo calore all'esterno. Il fluido viene poi spinto attraverso la valvola di espansione dove si trasforma parzialmente in vapore (raffreddandosi) e diretto verso l'evaporatore dove il fluido frigorigeno assorbe calore dall'esterno ed evapora completamente. L'insieme di queste trasformazioni costituisce il ciclo della pompa di calore. Fornendo energia con il compressore al fluido frigorigeno, questo nell'evaporatore assorbe calore dal mezzo circostante e, tramite il condensatore, lo cede al mezzo da riscaldare. Il vantaggio nell'utilizzo delle pompe di calore deriva dalla loro capacità di fornire più energia (calore) di quella elettrica impiegata per il loro funzionamento. Questa efficienza viene misurata attraverso un coefficiente di prestazione "C.O.P." che è il rapporto tra l'energia fornita (calore ceduto al mezzo da riscaldare) e l'energia elettrica consumata.

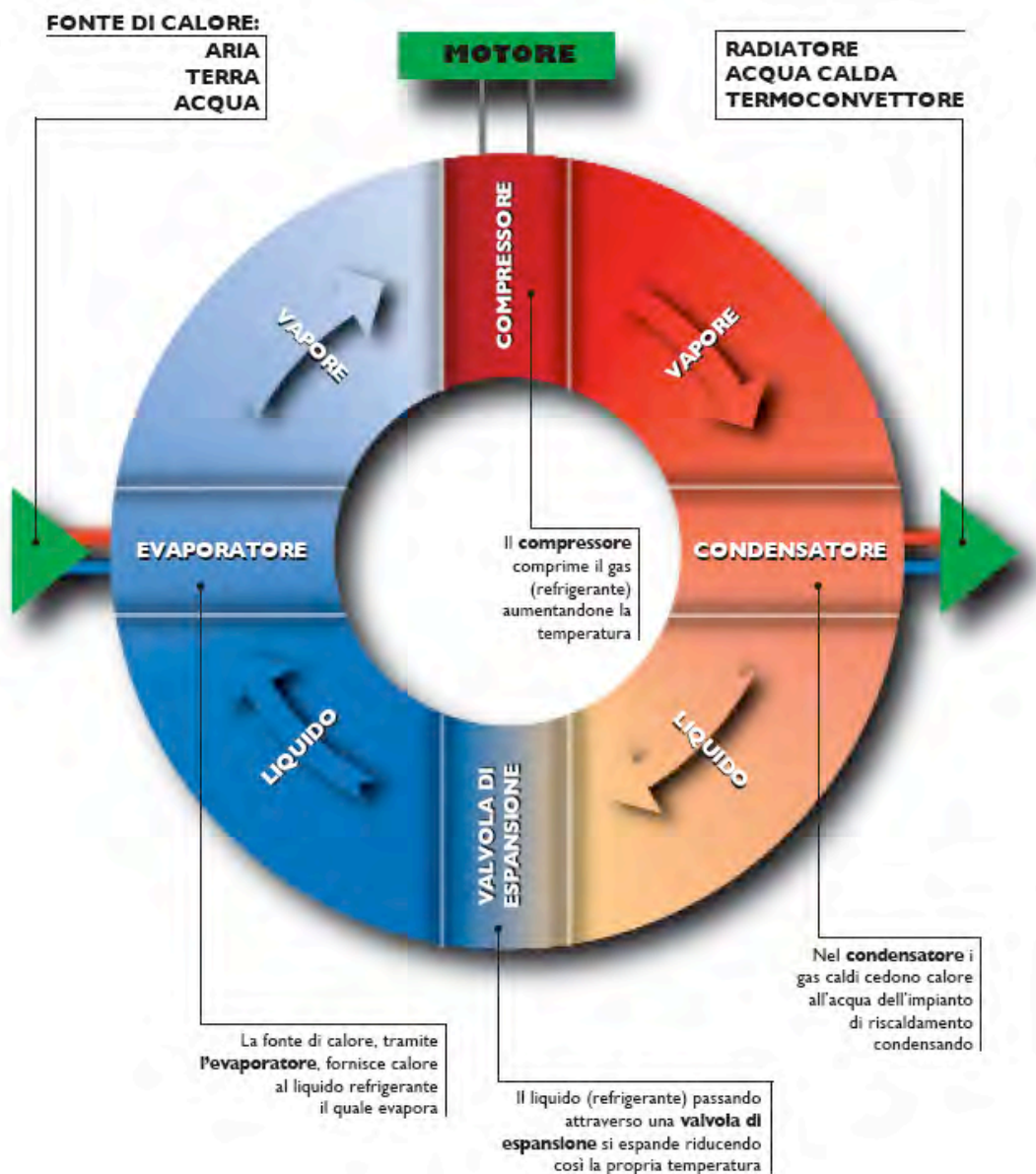


Figura 87 – Ciclo della pompa di calore - fonte Enea

Il C.O.P. , pur variando a seconda del tipo di pompa di calore utilizzata e dalle condizioni di funzionamento ha di norma valori prossimi a 3. Questo vuol dire che per 1 kWh di energia elettrica consumato, fornirà 3 kWh di calore al mezzo da riscaldare. In generale il coefficiente di prestazione aumenta, quanto più diminuisce la temperatura del corpo a cui il calore viene ceduto (nel condensatore) e quanto più alta è quella della sorgente da cui viene assorbito. Al di sotto di una temperatura compresa tra -2°C e 2°C la pompa di calore si disattiva in quanto le sue prestazioni si ridurrebbero significativamente. Il mezzo esterno da cui la pompa estrae calore è detto *sorgente fredda* ed in genere è costituito: dall'aria esterna al locale dov'è

installata la pompa di calore, dall'acqua di falda (di fiume o di lago quando questa è presente), dall'acqua accumulata in serbatoi e riscaldata dalla radiazione solare, dal terreno (nel quale vengono inserite le tubazioni relative all'evaporatore). Il mezzo che la pompa deve scaldare è invece detto *pozzo caldo* ed in genere è costituito: da ventilconvettori (armadietti nei quali l'aria viene fatta circolare sopra corpi scaldanti); da serpentine inserite nel pavimento (nelle quali circola acqua calda); da canalizzazioni, che trasferiscono direttamente il calore prodotto dalla pompa di calore ai diversi locali. A seconda della sorgente fredda e al pozzo caldo che utilizzano, vengono distinte in pompe di calore: aria-acqua; acqua-acqua; terra-acqua; ecc.

L'aria come sorgente fredda ha il vantaggio di essere disponibile ovunque, tuttavia la potenza resa dalla pompa di calore diminuisce con la temperatura della sorgente. Inoltre, nel caso si utilizzi aria esterna, è necessario adottare un sistema di sbrinamento che comporta un ulteriore consumo di energia. Diverso e più vantaggioso è l'impiego, come sorgente fredda dell'aria interna viziata (in quanto generalmente più calda dell'esterna) ma che deve comunque essere rinnovata.

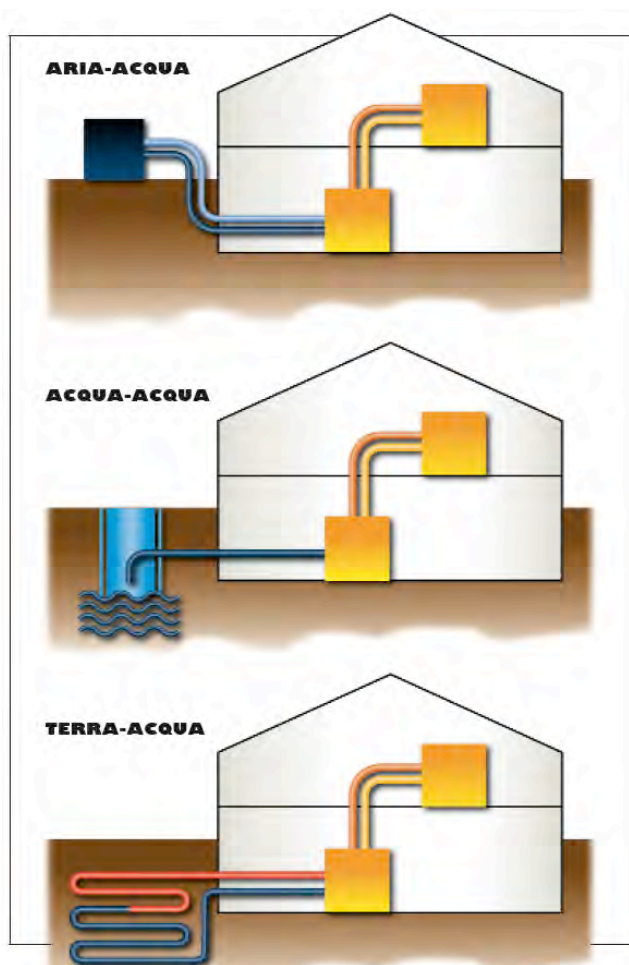


Figura 88 - Tipologie di pompe di calore - fonte Enea

L'acqua come sorgente fredda garantisce le migliori prestazioni della pompa di calore, in quanto risente poco delle condizioni climatiche esterne, tuttavia richiede un costo addizionale dovuto al sistema di adduzione. Il terreno, come sorgente fredda è il più diffuso, in quanto è sempre disponibile ed ha il vantaggio di subire minori sbalzi di temperatura rispetto all'aria. Questi impianti, comunemente conosciuti come

impianti geotermici, vengono suddivisi a seconda della disposizione dei tubi in impianti geotermici a tubi verticali ed orizzontali. I primi hanno tubi disposti in verticale che scendono in profondità (dai 50 m agli oltre 200 m) ed hanno il vantaggio di occupare pochissimo spazio, anche se più costosi. I secondi hanno tubi orizzontali, interrati ad una profondità minima di 1,5 metri, per non risentire troppo delle variazioni di temperatura dell'aria esterna, e richiedono per la posa una estensione di terreno da 2 a 3 volte la superficie dei locali da riscaldare. Le possibili applicazioni della pompa di calore sono le stesse offerte dal solare termico, con il quale è facilmente integrabile³⁵, e la climatizzazione degli ambienti.

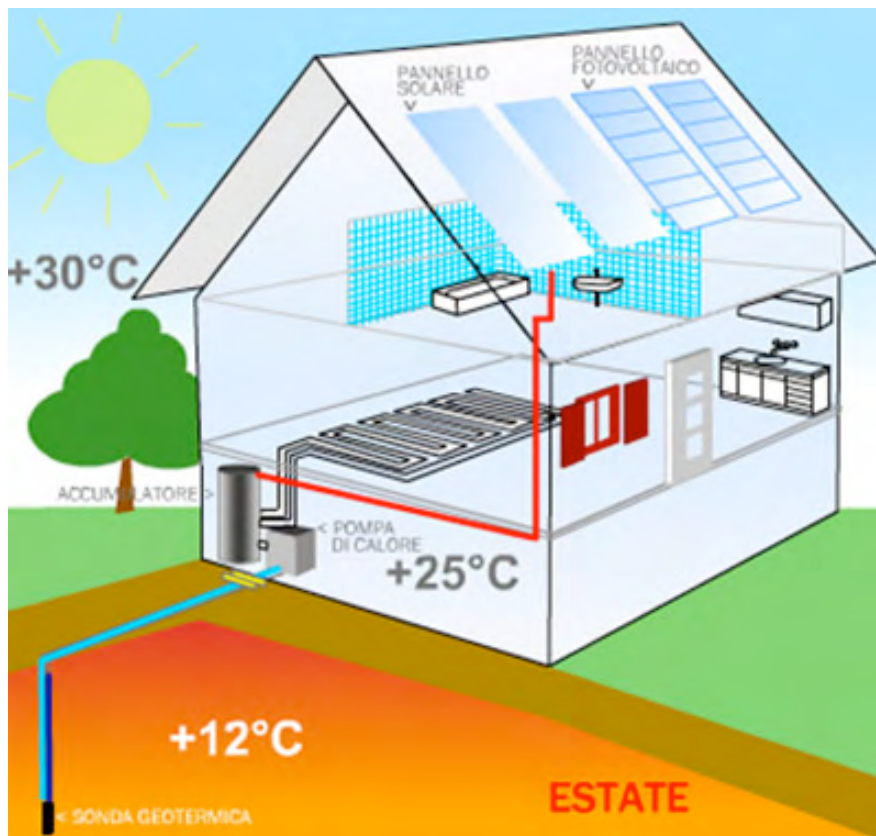


Figura 89 – Integrazione di impianto geotermico con solare termico - fonte Geocalor

La stessa macchina infatti, mediante una semplice valvola è in grado di scambiare tra loro le funzioni dell'evaporatore e del condensatore, fornendo così calore in inverno e freddo in estate. Le economie conseguibili nella climatizzazione degli ambienti con l'utilizzo della pompa di calore si riferiscono però al solo minor consumo che questa consente nel periodo

³⁵ L'impianto fotovoltaico può essere utilizzato per la produzione di energia elettrica necessaria al funzionamento della pompa di calore.

invernale, difatti i consumi estivi per il raffrescamento ambientale sono uguali, sia che venga utilizzata la pompa di calore che il tradizionale condizionatore.

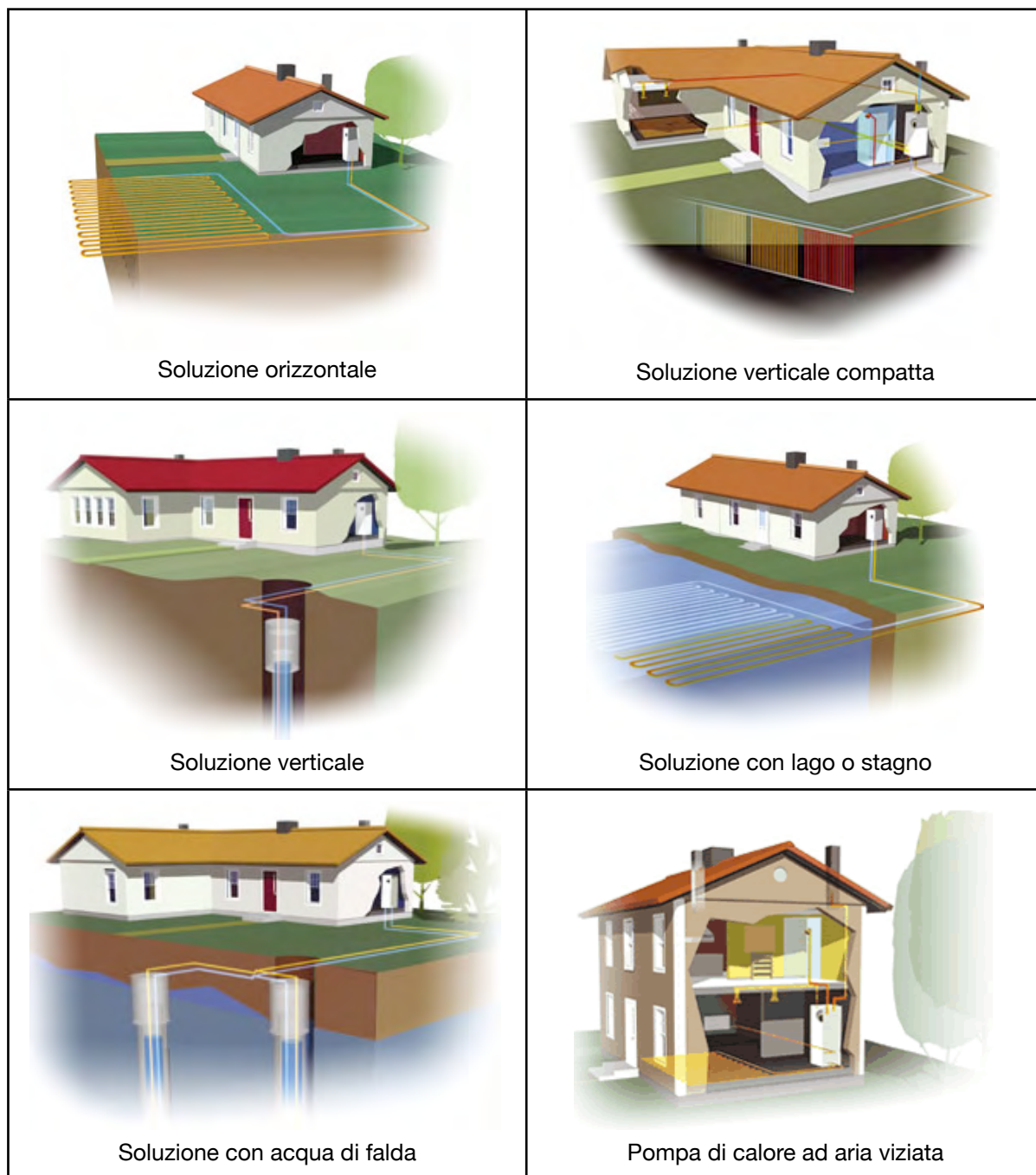


Tabella 12 - *Tipologie di utilizzo delle pompe di calore* - fonte Aisolutions

Riferendoci all'investimento iniziale, questo supera del 20% - 30% l'investimento per un impianto con caldaia a metano, essendo però i costi di riscaldamento con sistema geotermico inferiori del 50% rispetto ad uno a metano, ne risulta che il tempo di ammortamento del maggiore investimento è di circa 6 - 8 anni.

7.5 *Le caldaie a pellets*

La legna sta guadagnando un posto sempre più importante come alternativa ai combustibili fossili, quali petrolio e gas, ed è a questi preferibile trattandosi di energia rinnovabile ed ecologicamente sostenibile. L'utilizzo di questo combustibile avviene principalmente con caldaie a legna (funzionanti con tronchetti di legna o cippato) o con caldaie a pellets.



Figura 90 – Pellets - fonte Certopellet

I pellets sono costituiti da segatura e trucioli pressati ed hanno un diametro di circa 6 mm ed una lunghezza variabile tra i 10 mm ed i 30 mm. In confronto ai tronchetti di legna i pellets occupano la metà del volume e consentono una combustione migliore e più confortevole. Gli impianti vengono realizzati generalmente con caldaie centralizzate poste normalmente nello scantinato a cui viene affiancato il locale combustibile. In alternativa, i pellets possono essere insufflati attraverso condotte flessibili, per essere convogliati da una cisterna interrata alla centrale termica. La possibilità di modulare la fiamma e di regolarne quindi la potenza, la regolazione completamente automatica e l'approvvigionamento automatico rendono le caldaie a pellets confortevoli quanto le caldaie a gas e gasolio. Inoltre le caldaie a pellets di ultima generazione possiedono rendimenti superiori al 90%, immissione dei pellets sotto la fiamma per aumentare lo scambio di calore, trasporto automatico della cenere dalla griglia mobile al contenitore per lo smaltimento, accensione automatica, meccanismi elettrici privi di

manutenzione e a basso consumo energetico. Per contro gli impianti a pellets impongono dei costi di investimento maggiori, anche a causa del locale combustibile.

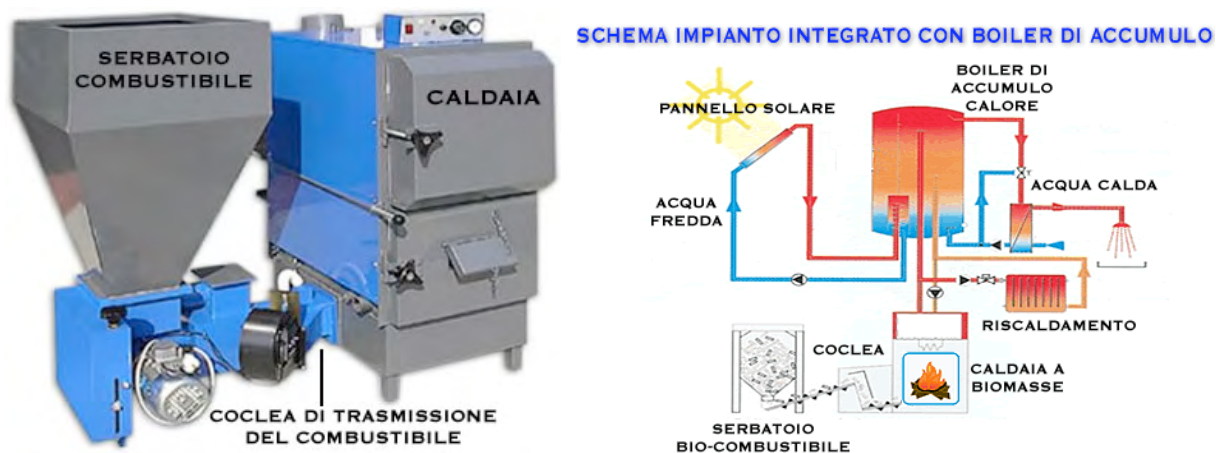


Figura 91 – Caldaia a pellets e schema impianto- fonte Pellet Italia

Per le case a basso consumo energetico è possibile realizzare tuttavia dei depositi molto piccoli (circa 1,5 m³ ad appartamento), considerando che la caldaia serve soprattutto per lo produzione di acqua calda. Per le “passivhaus”, considerata la bassa potenza di cui necessitano questi edifici, è possibile impiegare delle stufe a pellets da soggiorno, con sportello di fuoco a vista, che provvedono sia al riscaldamento dei locali sia alla produzione dell’acqua calda.



Figura 92 – Caldaia a pellets da soggiorno- fonte Edilkamin

ESEMPI DI EDIFICI BIOCLIMATICI

8.1 Localizzazione

Nei paragrafi che seguono vengono analizzati i seguenti otto edifici di recente costruzione:

- 1) Il museo etnografico Pirámides de Güimar;
- 2) La borsa di Malta;
- 3) Una vivienda a El Escorial;
- 4) La sede centrale I Guzzini;
- 5) Una villa a Brembate Sopra;
- 6) Gli uffici della BRE;
- 7) L'università delle scienze applicate di Bonn-Rhein-Sieg;
- 8) Il museo di Arte Moderna di Kristinehamn;

localizzati nelle diverse zone climatiche d'Europa e disposti in ordine crescente di gradi giorno, partendo dal clima mite delle Canarie (caso unico con 0 gradi giorno) fino ad arrivare al clima rigido della Svezia (con i suoi 4803 GG). Attraverso questa analisi, realizzata secondo uno schema comune, gli edifici in questione vengono descritti evidenziando le soluzioni bioclimatiche adottate, rendendo possibile un confronto tra le varie esperienze ed un rapido riscontro su come il clima locale abbia influenzato la conformazione fisica dell'edificio, i materiali adottati e le scelte progettuali degli architetti. La descrizione, che spazia dagli edifici residenziali agli edifici uso ufficio, permette inoltre di osservare l'interazione delle soluzioni bioclimatiche (serre solari, muri di Trombe-Michel, masse termiche di accumulo, ventilazione passante orizzontale, ecc) con gli impianti di riscaldamento e raffrescamento tradizionali (caldaie a gas, ecc) e l'interazione tra questi e gli impianti che sfruttano le fonti di energia rinnovabile (solare termico, solare fotovoltaico e

pompe di calore), mostrando come l'utilizzo dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento passivo, cerchi di affiancare, piuttosto che sostituire, gli impianti tradizionali.



Fig. 93 – Localizzazione edifici

8.2 Museo etnografico Pirámides de Güimar

Proprietà: Cabildo de Tenerife
Indirizzo: Calle Chacona, Güimar -Tenerife
Uso primario: Mostre e auditorio
Progetto: C. R. Larrea, E. A. Sala, C. Rubio
Anno di completamento: 1997

Superficie netta: 1.328 m²
Volume riscaldato/raffrescato: 4.545 m³
Superficie dell'involucro edilizio: 2.670 m²
Gradi giorno: 0

Il museo etnografico Pirámides de Güimar, si trova alle Canarie, isole spagnole con un clima mite ed uniforme tutto l'anno, in cui la richiesta di riscaldamento e raffrescamento è pressoché inesistente. I progettisti hanno quindi deciso di realizzare un edificio naturalmente ben illuminato, per ridurre le spese di illuminazione, e ben aerato, per evitare l'utilizzo dell'aria condizionata nei periodi più caldi o con molta affluenza di visitatori. L'edificio, progettato secondo una strategia di controllo solare che ne ha determinato la sua forma finale, è stato realizzato interrato, e sviluppato intorno a due cortili. Inoltre, per ridurre i danni ambientali dovuti al trasporto, è stato realizzato con materiali locali: basalto, tufo vulcanico, legno di gelso trattato con oli naturali, vetro e



Fig. 94 – Vista esterna



Fig. 95 – Vista interna



Fig. 96 – Ingresso auditorio



Fig. 97 – Uscita auditorio

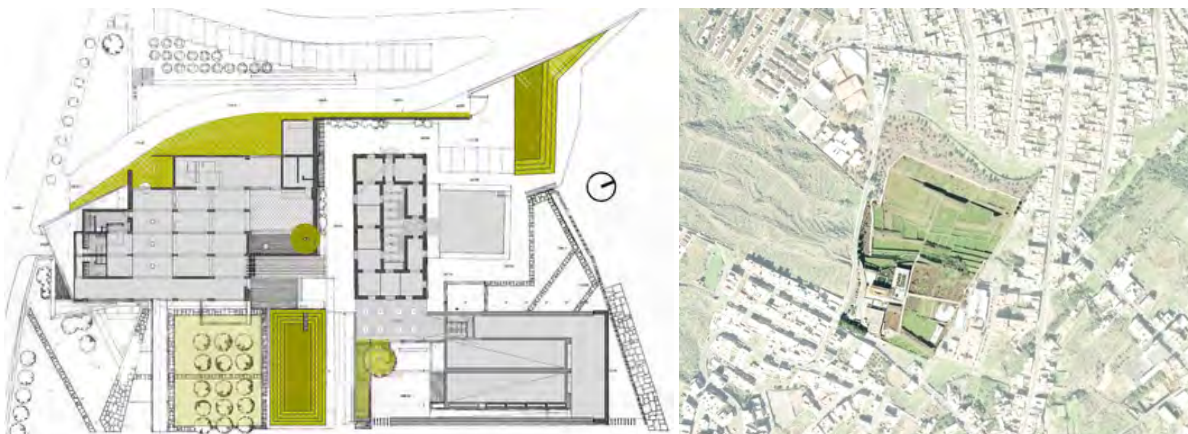


Fig. 98 – Pianta piano terra e Planimetria generale - fonte delle immagini Euleb



Fig. 99 – Muro in Basalto



Fig. 100 – Cortile interno



Fig. 101 – Ingresso di una sala espositiva.

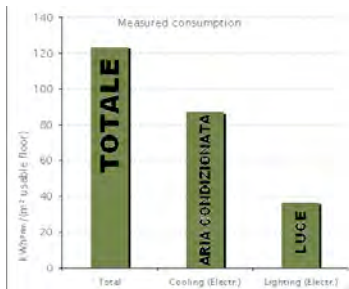


Fig. 102 – Consumi energetici



Fig. 103 – Funzionamento del cortile ai fini della ventilazione

acciaio. La luce naturale, che a queste latitudini genera forti ombre e abbagliamenti, viene fatta penetrare direttamente nell'edificio attraverso lucernari profondi, e indirettamente dai cortili che riflettono la radiazione solare attraverso superfici attentamente trattate. Il raffrescamento dei locali avviene tramite ventilazione passante orizzontale. Uno dei cortili interni, piantumato e umidificato, svolge la funzione di raffrescamento, umidificazione e contenimento dell'aria, che a contatto con l'aria calda dei locali occupati, dà il via alla circolazione naturale. L'aria condizionata viene utilizzata solo nell'auditorio interrato. Le pareti massicce, tramite massa termica, aiutano a conservare il fresco nei locali. L'utilizzo delle coperture vegetali e dei cortili con piante e acqua contribuiscono al controllo del microclima esterno, creando uno spazio tampone tra l'esterno e le sale espositive aumentando così il benessere dei visitatori. Dall'analisi dei consumi, la spesa per il condizionamento dell'auditorio risulta quella maggiore, anche se in realtà è molto bassa, seguita da quella per gli apparecchi elettrici dell'edificio.

8.3 *Borsa di Malta*

Proprietà: Stato di Malta
Indirizzo: Castille Place , La Valetta
Uso primario: uffici
Progetto: Brian Ford & Associates
Anno di completamento: 2001

Superficie lorda: 1.862 m²
Superficie netta: 1.271 m²
Volume riscaldato/raffrescato: 7.600 m³
Superficie dell'involucro edilizio: 2.800 m²
Gradi giorno: 832

La nuova borsa di malta, ricavata all'interno dell'antica Cappella della Guarnigione, è ubicata nella città della Valletta, località dagli inverni miti e dalle estati calde e secche (la temperatura minima è di 8°C, la massima di 38°C). Risulta quindi evidente che la necessità primaria non riguarda il riscaldamento ma il raffrescamento. I progettisti, non potendo intervenire sulle pareti in pietra dell'edificio (larghe 60 cm), in quanto vincolate, hanno deciso di svuotare completamente l'interno e di inserire una nuova struttura metallica, divisa da solai in cemento, all'interno dell'involucro originale. E' stato quindi realizzato un atrio a cinque piani circondato da uffici, separati tra loro da partizioni in cartongesso e tamponamenti



Fig. 104 – *Facciata ovest*



Fig. 105 – *Facciata principale*



Fig. 106 – *Atrio centrale ed uffici*

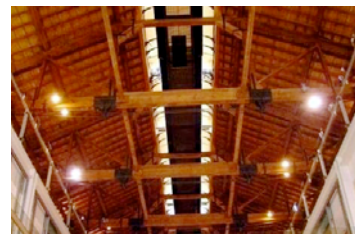


Fig. 107 – *Copertura lignea*

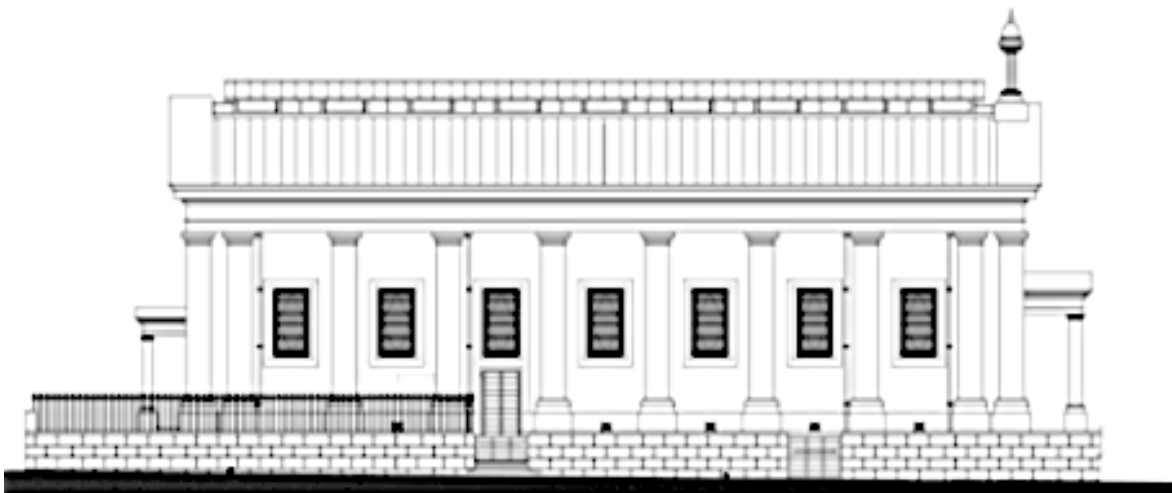


Fig. 108 – *Prospetto ovest* - fonte delle immagini Brian Ford & Associates

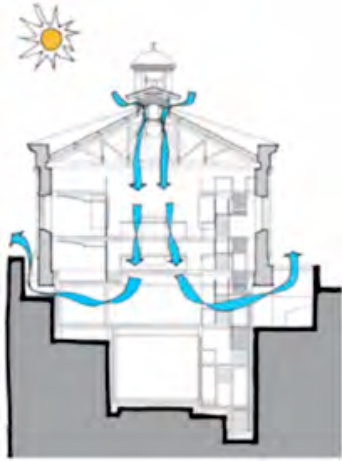


Fig. 109 – Ventilazione passante verticale o a torre di captazione

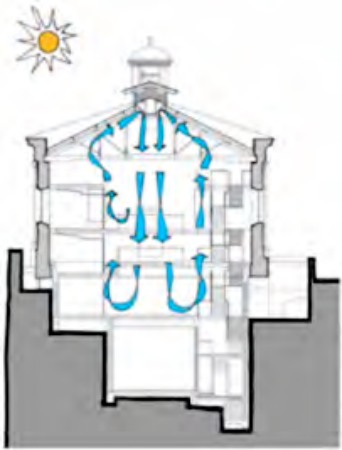


Fig. 110 – Ventilazione indotta dal sistema di raffreddamento.

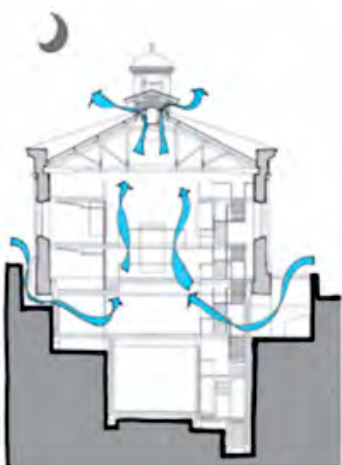


Fig. 111 – Effetto camino

vetrati. A chiusura dell'involucro, è stata posta una nuova copertura con struttura lignea a vista, con valore di trasmittanza termica globale U di $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Nei pochi giorni in cui è necessario, l'edificio viene riscaldato da ventilconvettori alimentati da una pompa di calore. Per il raffrescamento, si utilizza invece un impianto ad aria condizionata per gli uffici e la sala riunioni, mentre per l'atrio si utilizza un sistema di ventilazione combinato vento-effetto camino. Sul colmo della copertura sono stati installati circuiti ad acqua refrigerata che umidificano l'aria attraverso dei micronizzatori installati sui colmi del tetto. In presenza di vento l'aria entra dalla copertura e fuoriesce da griglie poste nella parte bassa dell'edificio (fig. 109). In assenza di vento, l'aria calda in salita viene raffreddata dalle serpentine e umidificata, con il risultato di creare una corrente d'aria fredda che punta di nuovo verso il basso (fig. 110). Durante la notte, l'edificio si raffredda per effetto del vento, quando presente, o tramite effetto camino quando assente (fig. 111). L'aria entra al di sotto del piano terreno e sale verso le griglie superiori da cui esce. L'utilizzo della ventilazione naturale associata all'impianto di aria condizionata permette un discreto risparmio di energia (il consumo di energia elettrica per il raffreddamento si aggira intorno ai $113 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) senza influire sulle condizioni di benessere degli utenti.

8.4 *Vivienda a El Escorial*

Proprietà: Fujy Arquitectura.
Localizzazione: El Escorial, Madrid - Spagna
Uso primario: Abitazione
Progetto: Architetto Luca Lancini
Anno di completamento: 2005

Superficie lorda: 340 m²
Superficie netta: 300 m²
Gradi giorno: 1980

La vivienda realizzata dalla società Fujy Arquitectura è situata a nord di un parco naturale nei pressi di El Escorial, un paese a 40 km da Madrid. Il terreno di circa 1000 m² che ospita la costruzione è in pendenza e di conformazione rocciosa. Per evitare onerosi sbancamenti, il solaio del piano terreno poggia su setti di mattoni a interasse di circa 1 m. L'edificio, di due piani, è a pianta rettangolare e si sviluppa secondo l'asse est ovest. La facciata esposta a sud è trasparente per sfruttare al massimo l'apporto gratuito dell'energia solare, ed è protetta da filtri selettivi; la facciata nord è essenzialmente chiusa, ma con selezionate aperture di piccole dimensioni per garantire la ventilazione naturale degli ambienti; il prospetto est è articolato con aperture dotate di sistemi di schermatura mobili;



Fig. 112 – *Vista d'insieme*



Fig. 113 – *Fronte est*



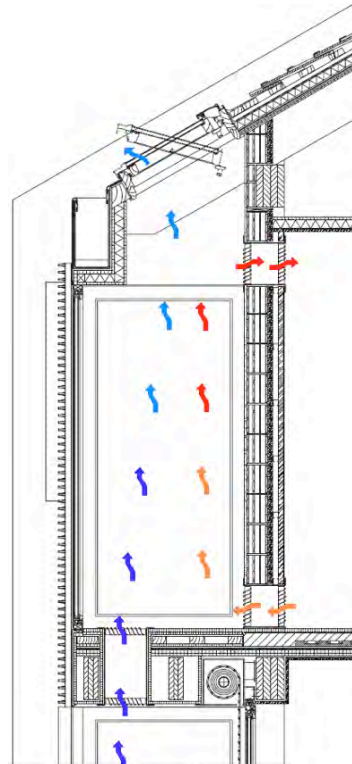
Fig. 114 – *Ingresso principale*



Fig. 115 – *Vista facciata sud* - fonte delle immagini Arketipo 05/06



Fig. 116 – Vista serra





 VENTILAZIONE ESTIVA
 VENTILAZIONE INVERNALE

Fig. 117 – Funzionamento serra

il prospetto ovest è quasi completamente chiuso. La pianta si sviluppa su due livelli. Al piano terreno, al quale si accede per mezzo di una passerella in doghe di legno, si trovano la zona giorno, una zona di servizio con la lavanderia e una zona notte per gli ospiti. Il primo piano ospita la zona notte con due camere da letto e una suite con un'ampia terrazza coperta.

Tutte le camere al piano superiore affacciano direttamente a sud e il loro rapporto con l'esterno è mediato da una serra solare e da un piccolo balcone coperto. La facciata sud è arretrata di un metro rispetto al filo del piano superiore, per schermare le ampie aperture del piano terra durante la stagione estiva, inoltre è stato realizzato un sistema di schermatura a lame di alluminio orizzontali che caratterizza l'intero prospetto. Le quattro serre, costruite al primo piano, rappresentano il mezzo principale di utilizzo dell'energia solare. Si tratta di serre a guadagno isolato, dove il trasferimento di aria calda agli ambienti adiacenti avviene attraverso scambi convettivi mediante l'apertura di apposite

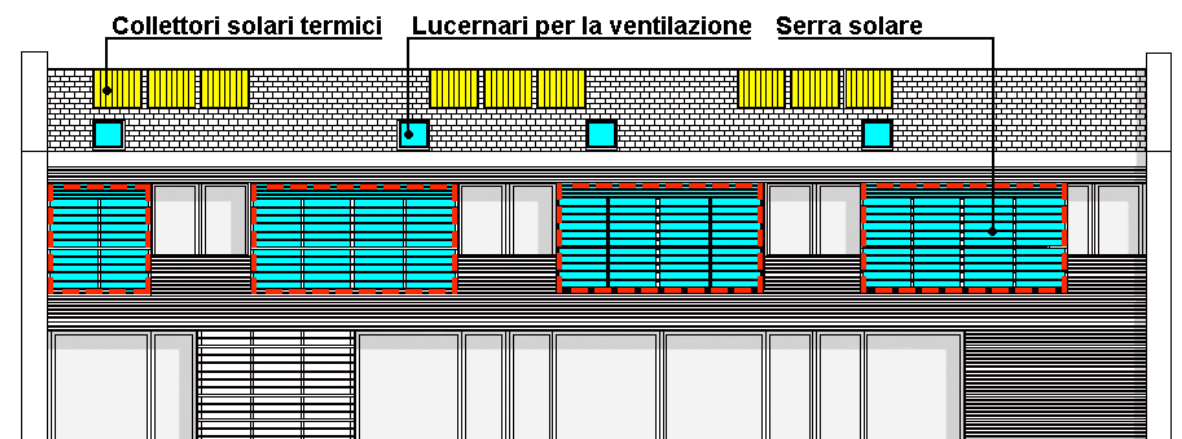


Fig. 118 – Prospetto sud

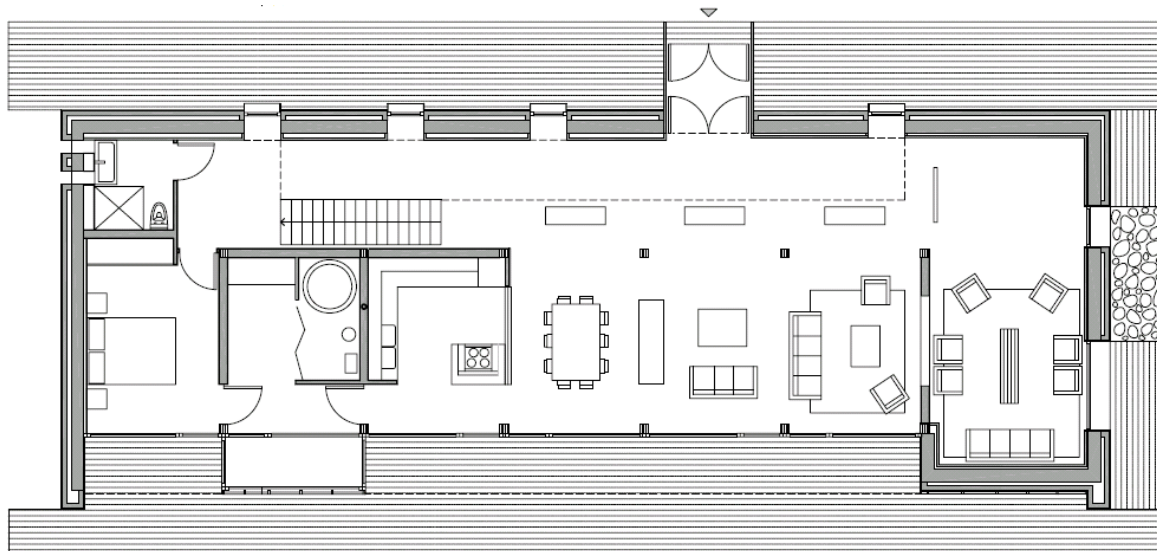


Fig. 119 – *Pianta piano terra*

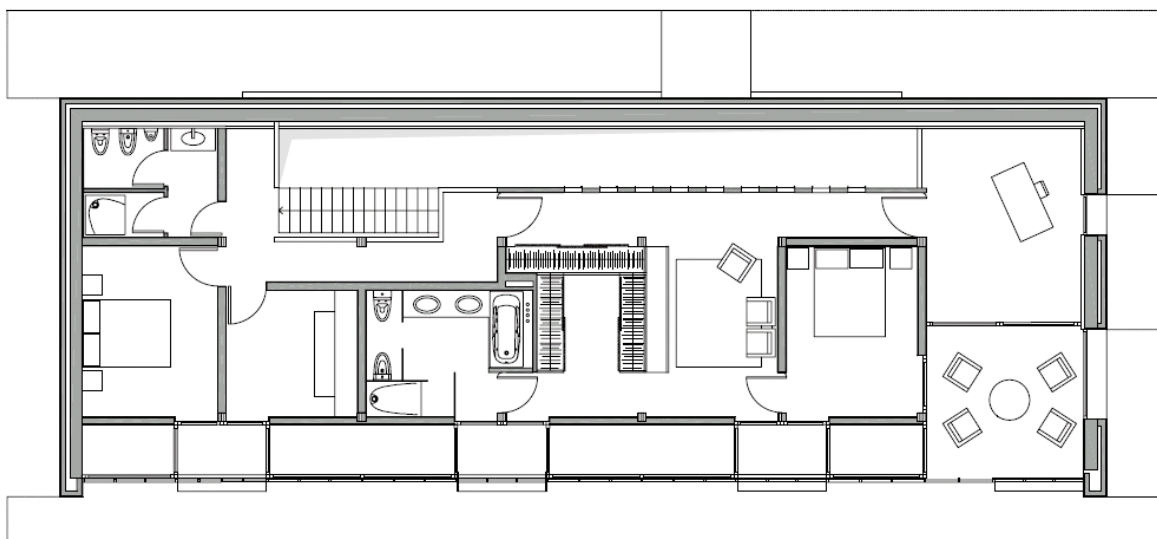


Fig. 120 – *Pianta piano primo*



Fig. 121 – *Vista facciata nord*

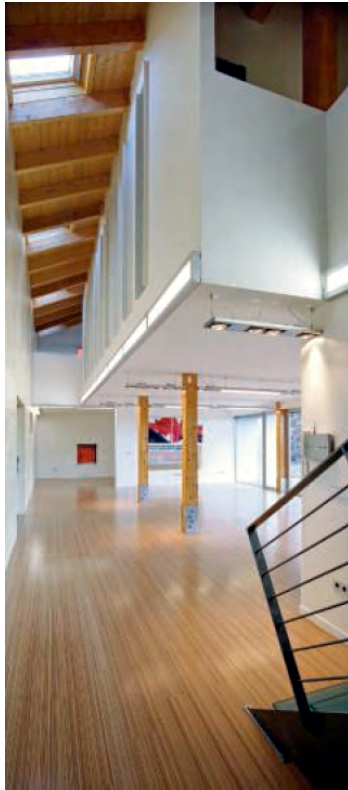
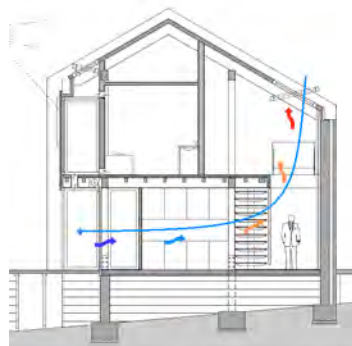


Fig. 122 – Vista interna P.T.





-  Ventilazione passante verticale
-  Effetto camino

Fig. 123 – Schema ventilazione

prese d'aria collocate nella parete interna. Quest'ultima, composta da uno strato di mattoni argillosi dello spessore di 14 cm rivestita da una controparete interna in cartongesso, svolge la funzione di massa termica. A integrazione delle serre, è presente un sistema attivo di climatizzazione a pavimento radiante, sia per il riscaldamento sia per il raffrescamento. Il sistema è alimentato da una caldaia elettronica a condensazione alimentata a gas propano per l'acqua calda e da un refrigeratore integrato per l'acqua fredda. La produzione di acqua calda sanitaria è affidata a 9 pannelli solari termici integrati in copertura e orientati a sud. Inoltre, sono stati previsti un sistema di raccolta delle acque meteoriche che, accumulate in cisterne collocate al di sotto del piano terreno, vengono utilizzate per usi non potabili. E' inoltre possibile il raffrescamento naturale a ventilazione passante verticale (o attraverso effetto camino in assenza di vento), grazie all'arretramento del muro interno del piano primo di un metro, rispetto al muro perimetrale dell'edificio.

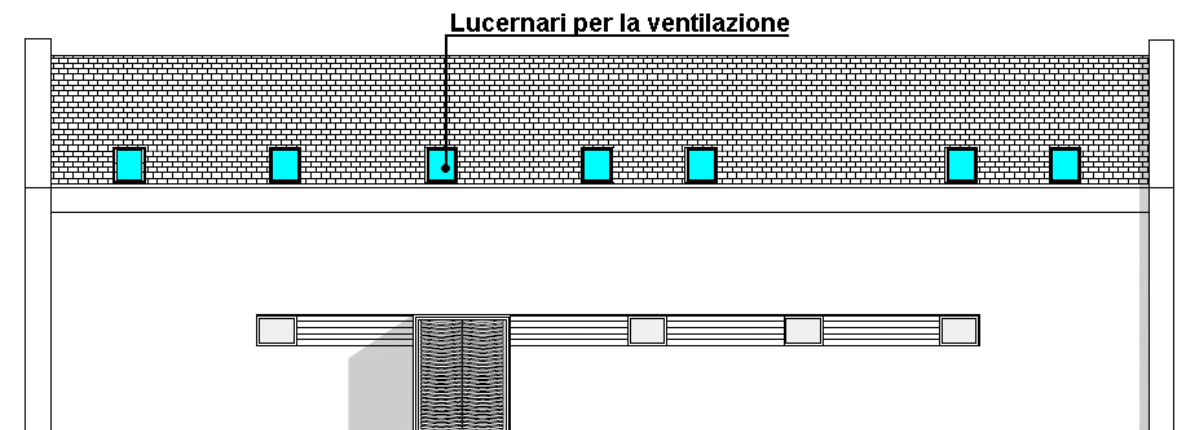


Fig. 124 – Prospetto nord

8.5 Sede centrale I Guzzini

Proprietà: I Guzzini Illuminazione s.r.l.
Indirizzo: Strada statale 77 (Km102), Recanati - Italia
Uso primario: Uffici
Progetto: Studio di Architettura Mario Cucinella
Anno di completamento: 2002

Superficie lorda: 2.320 m²
Superficie netta: 1926 m²
Volume riscaldato/raffrescato: 7.760 m³
Gradi giorno: 1982

La nuova sede della “I Guzzini illuminazione”, si trova nelle Marche, regione dagli inverni miti e dalle estati calde e secche. L’edificio, ha pianta rettangolare con dimensioni di 40 m x 19,3 m ed un volume di circa 10.000 m³, offre spazio per uffici su quattro piani, disposti attorno ad un atrio centrale che contiene i disimpegni ed i servizi e un collegamento diretto ad un edificio adiacente esistente. Nei primi tre piani si trovano gli uffici amministrativi mentre gli uffici direzionali dell’azienda si trovano al quarto piano. Sopra l’atrio, che prevede anche un giardino interno, dodici lucernari sono stati installati pensando ad una strategia di ventilazione ed illuminazione naturali. Ogni lucernario è rettangolare e



Fig. 125 – Il Giardino nell’atrio



Fig. 126 – Atrio e lucernari

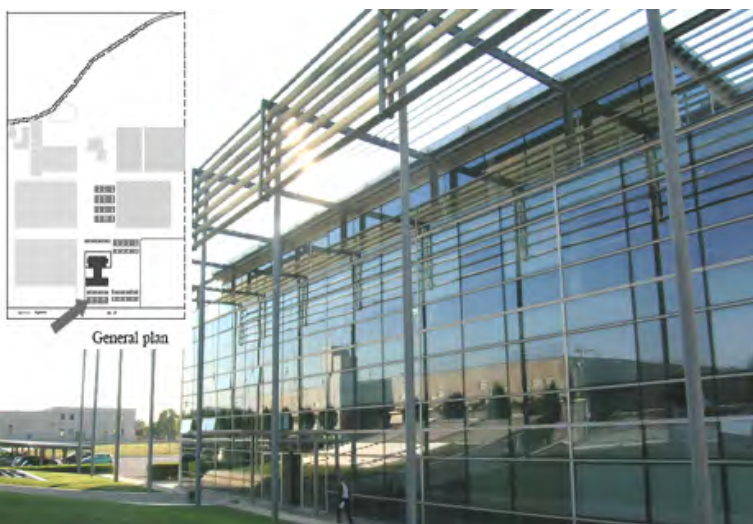


Fig. 127 – Ubicazione edificio e vista fronte sud - fonte delle immagini Euleb



Fig. 128 – Facciata est



Fig. 129 – *Il Giardino nell'atrio*



Fig. 130 – *Disimpegni al P.1*



Fig. 131 – *Uffici direzionali*



Fig. 132 – *Uffici amministrativi*



Fig. 133 – *Uffici amministrativi*

fornito di persiane manovrabili che si aprono o chiudono a secondo della richiesta d'aria. Le facciate nord e sud sono interamente trasparenti, composte da una vetratura che sporge di 780 mm dalla struttura in cemento e le passa davanti, realizzata con i seguenti strati: frangisole orizzontali; vetro basso emissivo; intercapedine non ventilata; vetro trasparente flottante. Per evitare fenomeni di surriscaldamento e di abbagliamento, è stata progettata una copertura con funzione di ombreggiamento a protezione della facciata sud. Le facciate est ed ovest sono invece opache e composte dai seguenti strati: intonaco leggero; muratura a foratura densa; intercapedine ventilata; muratura a foratura densa e coibentazione in lana minerale. Il valore di trasmittanza termica U del muro è di circa $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. L'edificio, pensato per una strategia di raffrescamento e di illuminazione naturale, si avvale di masse termiche interne per il raffrescamento notturno, l'uso di ampie finestrate per l'illuminazione naturale, schermature esterne per il controllo solare e di un atrio centrale con lucernari di copertura, per portare luce all'interno dell'edificio e permettere la ventilazione naturale degli uffici. La ventilazione naturale si produce grazie all'effetto camino generato dalla stratificazione dell'aria nell'atrio. L'edificio è fornito di un sistema a ventilconvettori a quattro tubi che viene usato per riscaldare o raffrescare i locali d'inverno e d'estate. Il sistema di regolazione permette all'edificio di

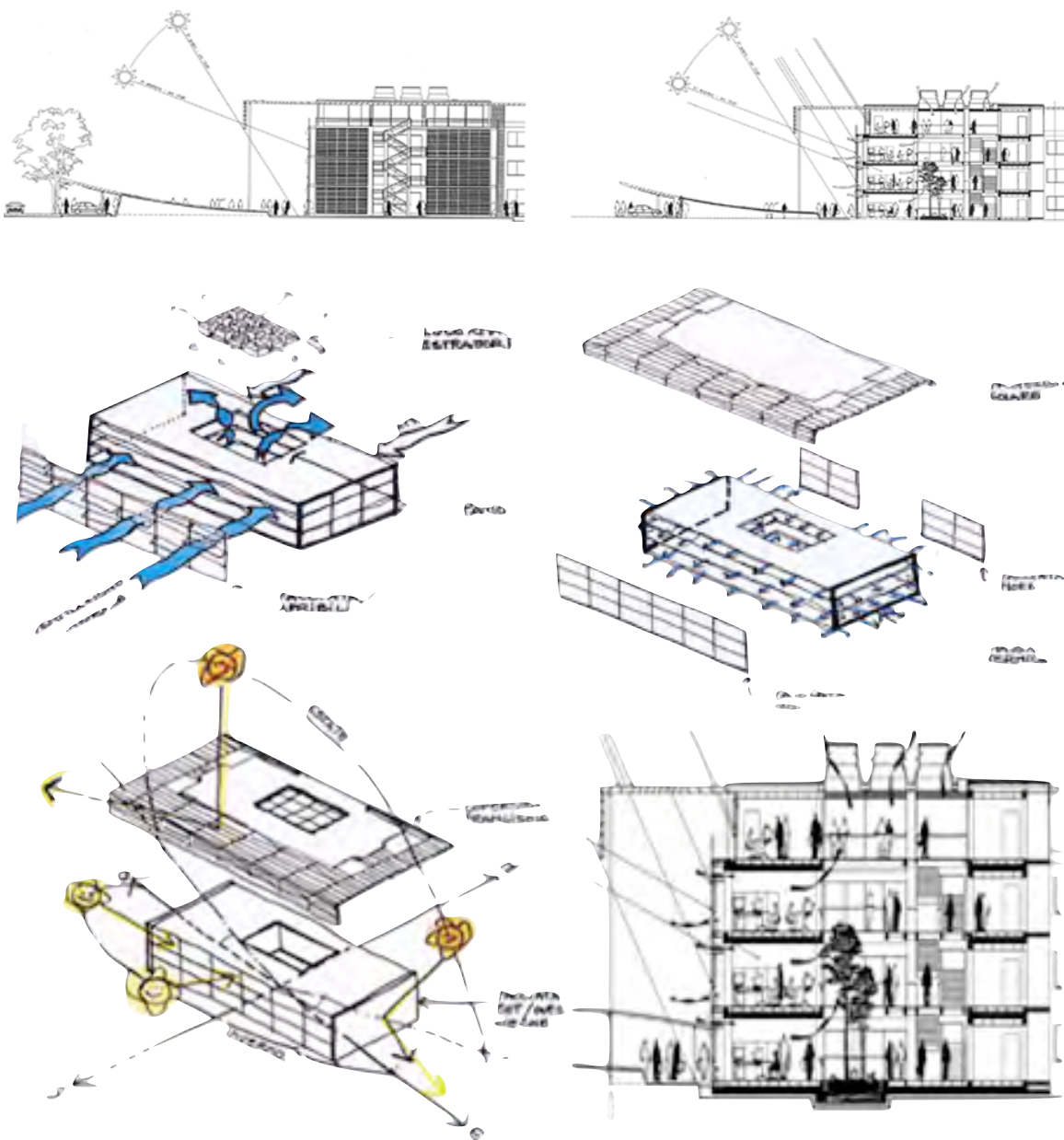


Fig. 134 – Schizzi “bioclimatici” di progetto

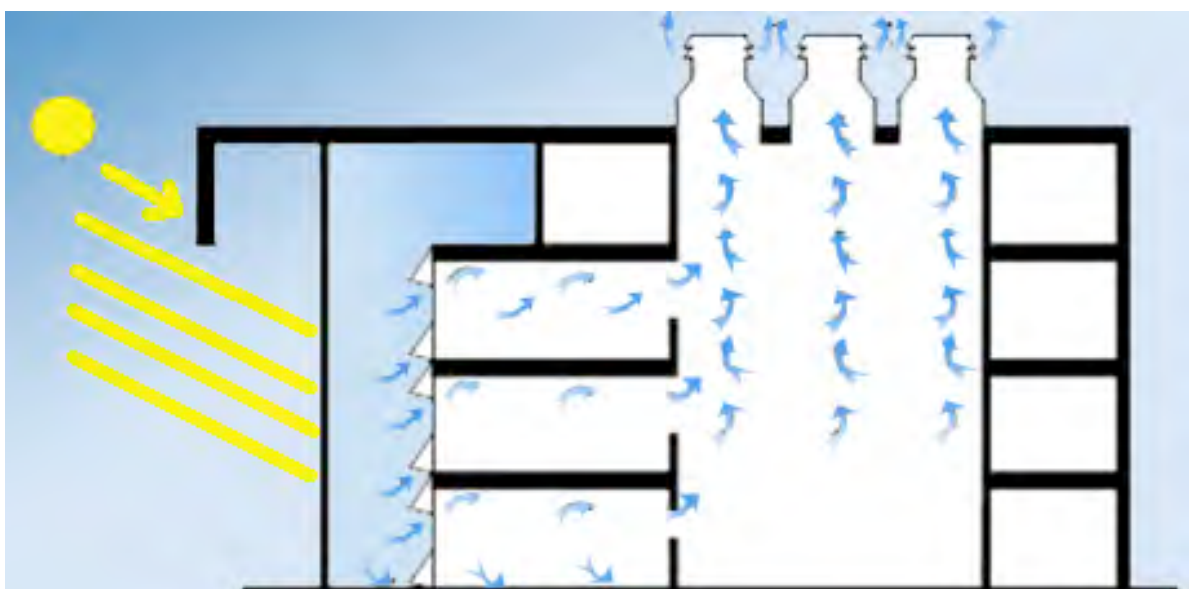


Fig. 135 – Flussi d'aria nella ventilazione



Fig. 136 – *Schermatura esterna*



Fig. 137 – *Sistema di riscaldamento*



Fig. 138 – *Ventilconvettore*

funzionare secondo tre modalità operative differenti (riscaldamento, ventilazione naturale ed aria condizionata) a seconda delle condizioni climatiche esterne e delle temperature interne ed esterne. In modalità ventilazione naturale, l'aria proveniente dalle finestre aperte attraversa una griglia nella parte superiore del pannello di separazione fra l'atrio e l'open space e sale alle torrette. Durante il giorno tutte le bocchette superiori sono aperte di 5 cm per avere ventilazione naturale. Durante la notte le bocchette si aprono al massimo di 25 cm se la temperatura interna scende sotto i 17.5°C. In caso contrario le bocchette rimangono chiuse. Quando la temperatura interna è inferiore a 20°C o superiore a 23°C l'edificio opera in modalità meccanica, con l'attivazione del sistema a ventilconvettori. In ogni spazio vi sono tre termostati d'ambiente installati sulle stazioni di lavoro. Quando la temperatura scende al di sotto di 20°C il sistema a ventilconvettori riscalda l'aria mentre la raffredda quando la temperatura interna sale oltre 23°C. Gli occupanti possono fissare la temperatura della stanza in un campo di 3°C intorno al valore di 20°C e 23°C in modo da avere il proprio benessere termico. Il consumo energetico annuale dell'edificio è di circa 130,40 kWh/m², di cui 105,00 kWh/m² per riscaldamento e ventilazione ibrida (raffrescamento), mentre i consumi elettrici dovuti all'illuminazione sono di circa 25,00 kWh/m² annui. Il costo dell'edificio è stato di € 1.550,00 a m².

8.6 Villa a Brembate Sopra

Proprietà: Famiglia Imi - Traina
Localizzazione: Brembate Sopra, Bergamo - Italia
Uso primario: Abitazione
Progetto: Atelier2
Anno di completamento: 2008

Superficie lorda: 200 m²
Superficie netta: 150 m²
Gradi giorno: 2.449

L'abitazione privata costruita a Brembate Sopra, comune a nord di Bergamo, può rappresentare nella sua semplicità l'edificio bioclimatico tipo. Realizzato su due piani, a pianta rettangolare, si sviluppa secondo l'asse est ovest. La disposizione interna dei locali vede quelli di servizio sul lato nord ed i locali abitati disposti lungo il lato sud, per il massimo sfruttamento dell'illuminazione naturale. La facciata nord è essenzialmente chiusa, ma con selezionate aperture di piccole dimensioni per garantire la ventilazione naturale degli ambienti; i prospetti est ed ovest sono compatti e dotati di aperture minime; la facciata esposta a sud è dotata di grandi aperture per sfruttare al massimo l'apporto gratuito dell'energia solare e di frangisole fissi, in copertura e in facciata, per il controllo solare estivo. Le finestre hanno telai termicamente



Fig. 139 – Vista da sud-ovest



Fig. 140 – Vista facciata sud



Fig. 141 – Vista facciata ovest



Fig. 142 – Schermatura

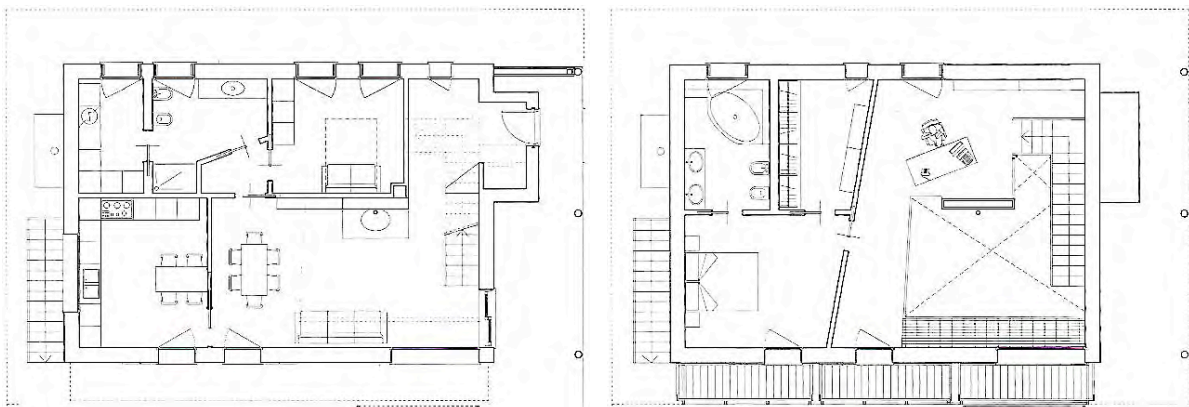


Fig. 143 – Da sinistra: pianta piano terra e piano primo - fonte delle immagini Atelier2

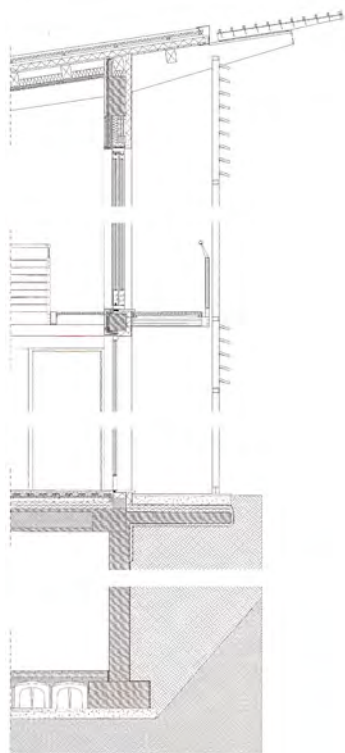


Fig. 144 – Sezione del lato sud

isolati e vetri doppi a camera d'aria mentre le pareti, realizzate con una stratificazione di isolanti, hanno una trasmittanza termica globale pari a $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Il riscaldamento solare passivo avviene “a guadagno diretto” (la radiazione solare entra nell'edificio e viene assorbita dal pavimento e dalle pareti interne che fanno da massa d'accumulo termico), mentre il raffrescamento passivo è ottenuto con la ventilazione passante orizzontale, incentivata dalla doppia altezza del soggiorno. L'impianto di riscaldamento è a pavimento radiante alimentato da una caldaia a condensazione alimentata a gas, coadiuvato da una stufa a pellet nei mesi più freddi. La produzione dell'acqua calda sanitaria è affidata a collettori solari piani orientati a sud e posti sulla copertura. Inoltre, è stato previsto un sistema di raccolta delle acque meteoriche che, accumulate in una cisterna interrata, viene utilizzata per l'irrigazione del giardino e per usi non potabili.



Fig. 145 – Schema impiantistico

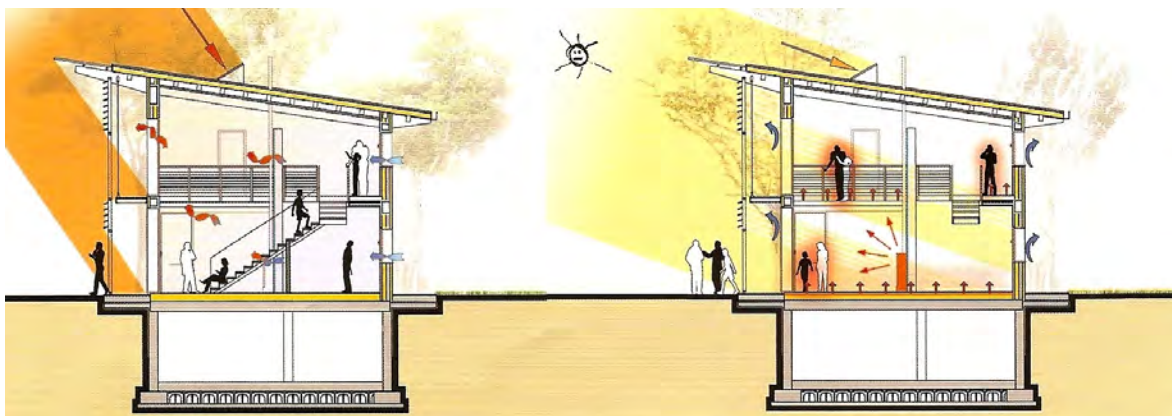


Fig. 146 – Schema del flusso energetico nel periodo estivo (a sinistra) ed invernale (a destra).

8.7 Ufficio BRE

Proprietà: Building Research Establishment
Indirizzo: Bucknells Road, Watford
Uso primario: Uffici
Progetto: Bernard Williams and Associates
Anno di completamento: 1996

Superficie lorda: 2.040 m²
Superficie netta: 1.470 m²
Volume riscaldato/raffrescato: 5.145 m³
Superficie dell'involucro edilizio: 2.932 m²
Gradi giorno: 2975

Gli uffici della BRE si trovano nella contea di Bedfordshire (Inghilterra orientale), località dagli inverni miti e dalle estati calde (umido in tutte le stagioni). Obiettivo principale del progetto è stata l'efficienza energetica dell'edificio, in particolare l'illuminazione, la ventilazione naturale ed il controllo solare. Obiettivo secondario, ma non meno importante, è stato l'aspetto ambientale. L'edificio è stato infatti costruito riutilizzando 80.000 mattoni di un edificio esistente demolito. Fonte principale di riscaldamento sono due caldaie ad alto rendimento che scaldano l'acqua per un impianto a radiatori e per un impianto a pavimento annegato nel massetto del solaio. In estate, nell'impianto a pavimento viene fatta scorrere acqua fredda di pozzo. Componenti



Fig. 147 – Vista generale



Fig. 148 – Pannelli fotovoltaici



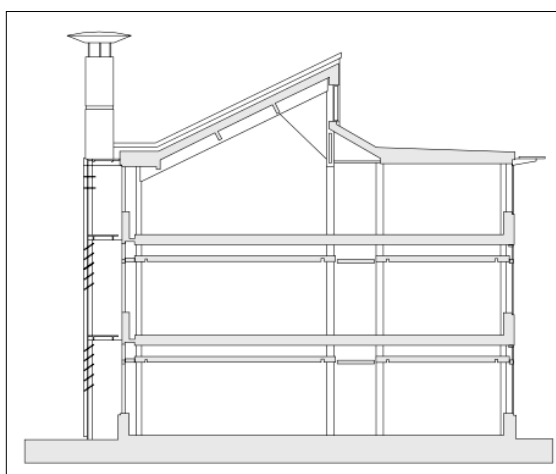
Fig. 149 – Particolare solaio

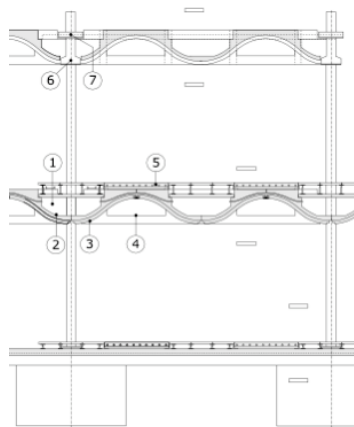


Fig. 150 – Vista interna dell'ingresso



Fig. 151 – Ingresso principale e sezione tipo - fonte delle immagini fcbstudios





1. percorso di ventilazione attraverso il solaio al piano sottostante
2. 75mm di solaio costruito in opera su unità di solaio prefabbricata di 75mm
3. 75mm solaio prefabbricato sinusoidale
4. lampada Philips T5
5. 100mm di massetto con annesso riscaldamento e raffreddamento su 50mm di coibentazione
6. trave che segue linea della copertura prefabbricata
7. puntoni in acciaio fissano la trave ai pilastri metallici con diametro di 216 mm

Fig. 152 – Sezione solaio

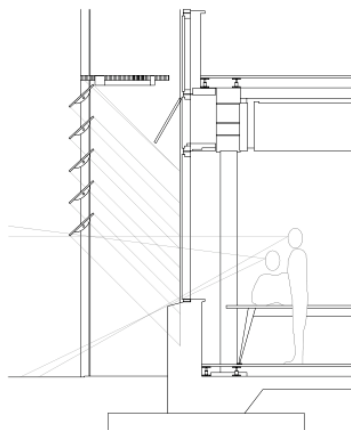


Fig. 153 – Schermature

principali del sistema di ventilazione naturale sono le finestre apribili, i camini di ventilazione ed i soffitti sinusoidali (che contengono canali all'interno delle depressioni delle onde, usati per trasferire l'aria esterna nella profondità dell'edificio). Finestre regolate automaticamente, posizionate fra i muri interni dei camini e le zone open space ai piano terra e primo, si aprono direttamente sui camini in modo da estrarre aria dall'edificio. I muri esterni dei camini sono tamponati con vetrocemento per migliorare il movimento termico dell'aria. L'ultimo piano, non avendo un soffitto sinusoidale dispone di una copertura inclinata che espelle l'aria stantia dalle finestre poste a 5 m di altezza tramite un proprio effetto camino. La facciata vetrata, i soffitti alti ed una bassa profondità in pianta riducono la richiesta di illuminazione artificiale. Frangisole in vetro proteggono in estate dall'abbagliamento e dai guadagni solari indesiderati, in inverno riflettono la luce all'interno dell'edificio. Un dispositivo fotovoltaico di 47 m² integrato nella facciata fornisce elettricità all'edificio fino a 1.5 kW

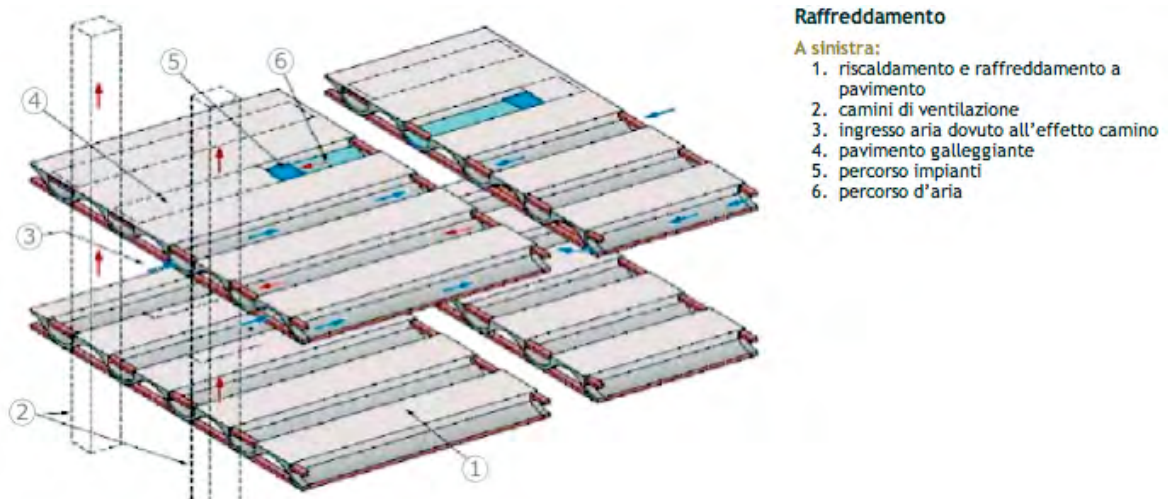


Fig. 154 – Schema di funzionamento della ventilazione naturale nel solaio e nei camini solari

8.8 Università delle scienze applicate di Bonn-Rhein-Sieg

Proprietà: Land NRW
Indirizzo: Grantham-Allee 20, Sankt Augustin
Uso primario: Educazione
Progetto: Werner + Neubert
Anno di completamento: 1999

Superficie lorda: 30.100 m²
Superficie netta: 15.995 m²
Volume riscaldato/raffrescato: 124.000 m³
Superficie dell'involucro edilizio: 39.680 m²
Gradi giorno: 3244

La nuova università, ubicata nella città Sankt Augustin, distretto di Rhein-Sieg, nello stato federale della Renania Settentrionale-Vestfalia (Germania), gode di inverni miti ed estate calde (umido in tutte le stagioni). L'edificio, realizzato con telaio in cemento armato, presenta tamponamenti in cemento con coibentazione nell'intercapedine, oppure muri di tamponamento realizzati in calcestruzzo con isolamento esterno e rivestimento in alluminio. I serramenti, sia delle finestre che delle facciate continue, sono in legno-alluminio con vetro basso emissivo. Il valore medio di trasmittanza termica U dell'involucro è di 0,42 W/m²K. Inoltre nel salone attrezzature è stato creato un muro di Trombe-Michel



Fig. 155 – Ingresso principale



Fig. 156 – Vista del campus

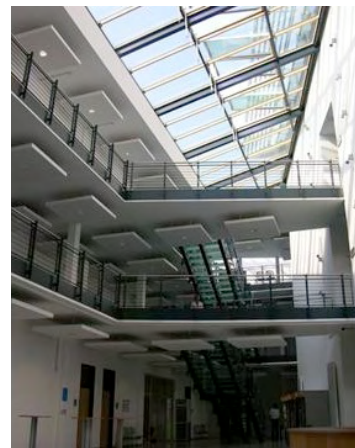


Fig. 157 – Atrio

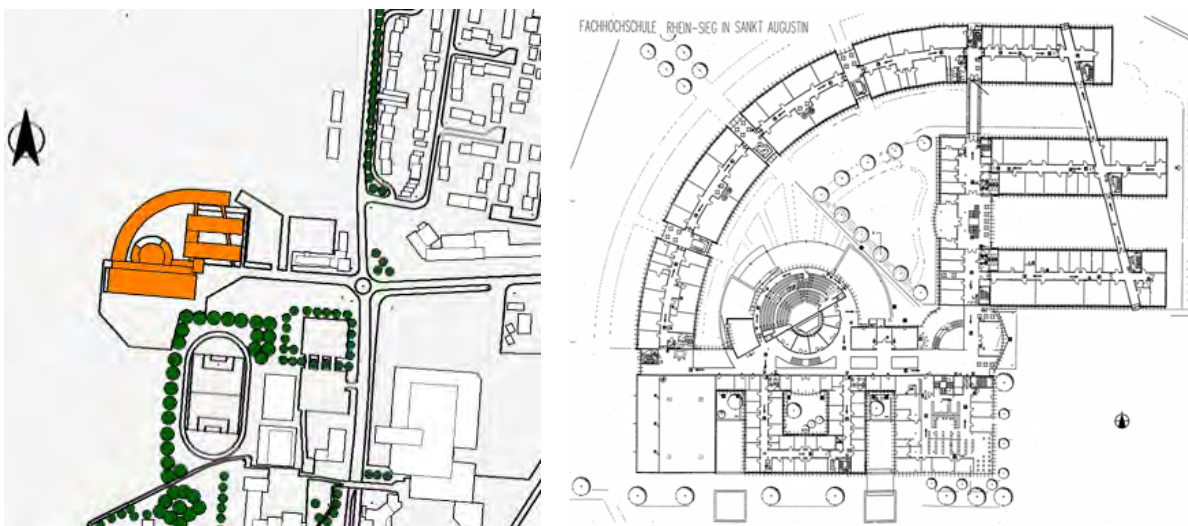


Fig. 158 – Planimetria generale e pianta piano terra. - fonte delle immagini Euleb

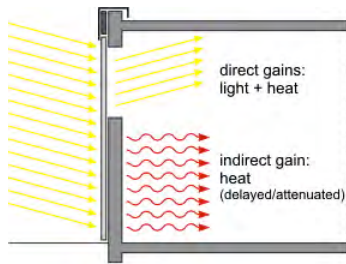


Fig. 159 – Muro di Trombe-Michel nel salone attrezzature



Fig. 160 – Visuale esterna del salone delle attrezzature



Fig. 161 – Schermatura esterna



Fig. 162 – Cellule fotovoltaiche integrate nella copertura dell'atrio d'ingresso.

composto da un isolamento termico trasparente di fronte ad un muro massiccio in calcestruzzo, che fornisce calore al locale. Le facciate hanno frangisole esterni che evitano il surriscaldamento nei periodi estivi. Il sole può comunque essere diretto nei locali attraverso i lucernari posti nella parte alta dei locali, mentre le parti inferiori della facciata sono schermate. Le schermature sono automaticamente regolate in base alla temperatura del locale ed all'illuminazione naturale. Un controllo manuale da parte degli utenti è sempre possibile. Durante le stagioni fredde, i lucernari lasciano invece penetrare tutta la radiazione solare, per assorbirne il calore attraverso le murature interne, realizzate massicce, in modo da sfruttare la loro capacità di massa termica. Un impianto fotovoltaico è stato integrato nella vetratura della copertura dell'atrio centrale, con funzione ombreggiante, ed un secondo in una facciata continua con orientamento a sud, senza funzione schermante. La superficie totale dei pannelli componenti il sistema fotovoltaico è di 222 m².

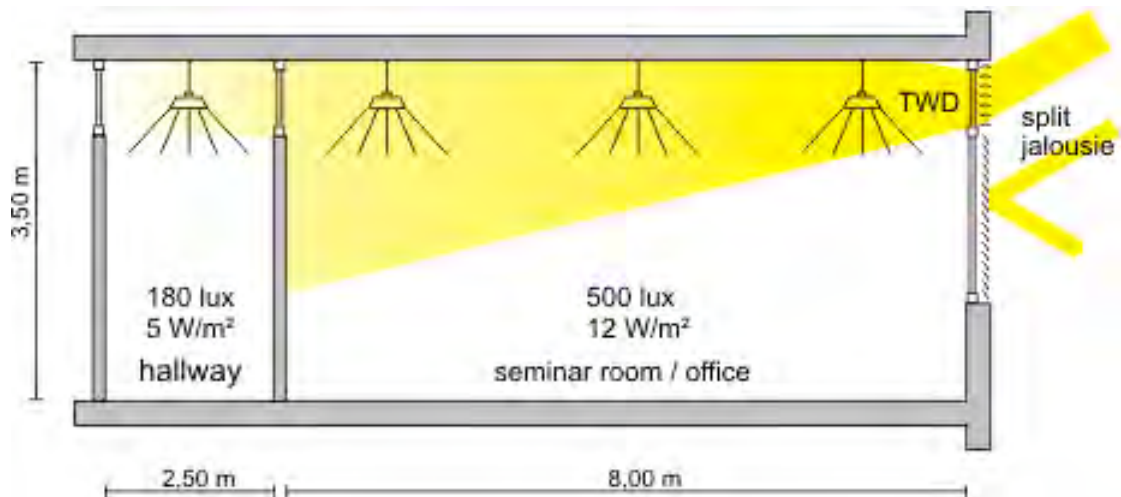


Fig. 163 – Filosofia d'illuminazione delle aule

L'edificio, è stato dotato di un impianto di cogenerazione alimentato a gas che genera 76 kW di calore e 40 kW di elettricità. L'elettricità prodotta viene fornita alla rete pubblica, come da accordi contrattuali con le autorità locali, mentre il calore viene sfruttato per soddisfare il carico termico dei locali. Per i periodi di freddo intenso, l'impianto di cogenerazione viene integrato da due caldaie a condensazione a gas da 600 kW ognuna. Il riscaldamento delle aule avviene attraverso radiatori, che vengono automaticamente spenti all'apertura delle finestre, grazie ad un sistema di regolazione centralizzato, che regola oltremodo il riscaldamento in base ai periodi di occupazione delle aule ed attraverso un sistema di ventilazione meccanica con recupero di calore. Gli auditori vengono invece scaldati dal solo impianto di ventilazione. L'aria viene prima preriscaldata attraverso uno scambiatore di calore interrato e successivamente attraverso uno scambiatore



Fig. 164 – Imp. di cogenerazione

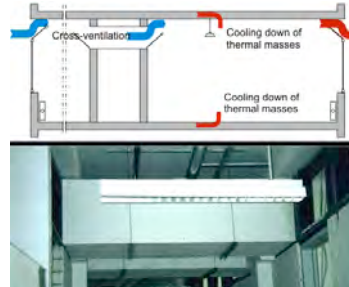


Fig. 165 – Ventilazione delle aule

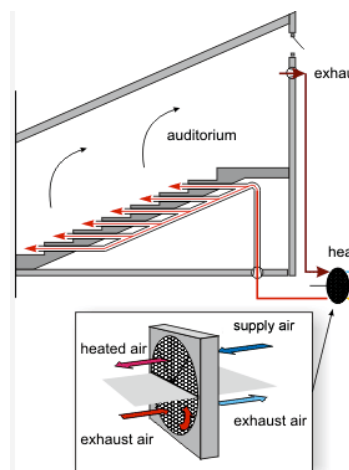


Fig. 166 – Ventilazione auditori

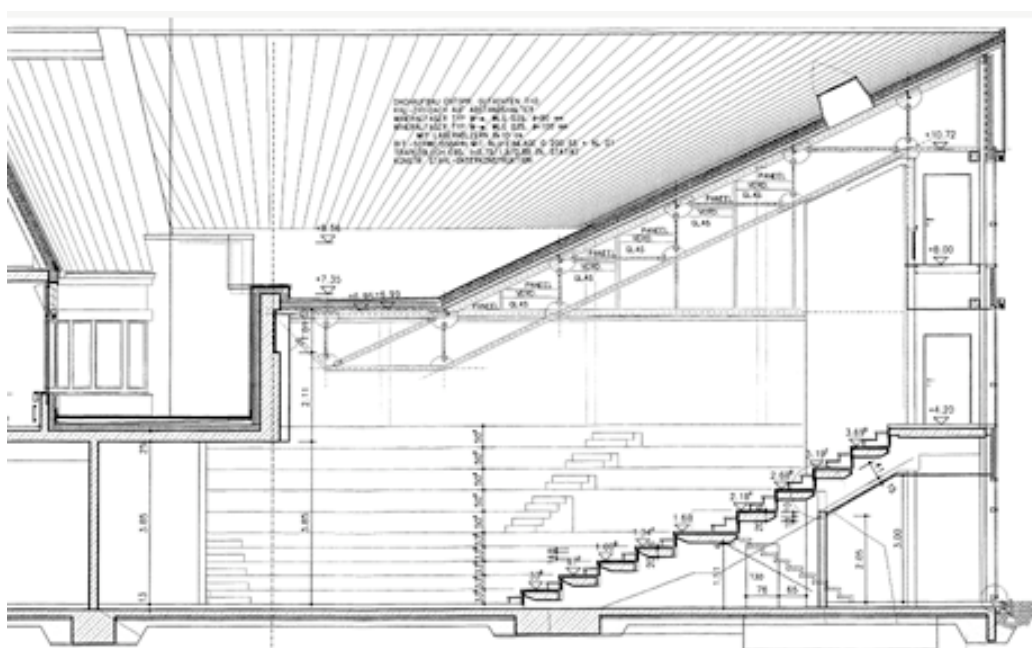


Fig. 167 – Sezione auditorio (asse est-ovest)



Fig. 168 – *Particolare aula*



Fig. 169 – *Particolare atrio P.T.*



Fig. 170 – *Particolare atrio P.I.*



Fig. 171 – *Particolare atrio P.I.*

di calore a rotori (pompa di calore ad aria). Il raffrescamento delle aule, oltre all'impianto di aria condizionata, prevede una ventilazione a "passante orizzontale" notturna, realizzata con l'apertura automatica dei lucernari e di un canale di ventilazione nel corridoio. La ventilazione dell'auditorio viene invece realizzata grazie ad un dispositivo di ventilazione meccanica, con un sistema di controllo VAV (volume aria variabile) delle emissioni di CO₂. Non potendo mancare il recupero dell'acqua piovana, l'edificio d'ingresso è stato fornito di una cisterna che raccoglie in un laghetto ed in un fossato l'acqua proveniente dalla copertura. Quest'acqua viene poi riutilizzata nei bagni degli auditori ed in quelli delle zone amministrative. Solo i bagni delle aule sono ad acqua fresca, per evitare l'uso di lunghi condotti di trasferimento. Si è stimato comunque che il 36% del consumo totale di acqua di tutta l'università è fornito dall'acqua piovana.



Fig. 172 – *Fossato per il recupero dell'acqua piovana* - fonte delle immagini Euleb

8.9 Museo di Arte Moderna di Kristinehamn

Proprietà: Città di Kristinehamn
Indirizzo: Dr Enwalls väg 13C, Kristinehamn
Uso primario: Museo di Arte Contemporanea
Progetto: Christer Nordström Arkitektkontor
Anno di completamento: 2003

Superficie lorda: 1.500 m²
Superficie netta: 1.400 m²
Volume riscaldato/raffrescato: 6.000 m³
Superficie dell'involucro edilizio: 1.600 m²
Gradi giorno: 4803

La città di Kristinehamn si trova nella parte sud della Svezia, zona dagli inverni rigidi e dalle estati calde ma brevi. Il progetto ha riguardato la ristrutturazione del vecchio museo, a sua volta ricavato da un deposito di carbone. Particolare attenzione è stata posta alla questione ambientale, difatti i materiali dell'edificio sono stati attentamente scelti per minimizzare gli effetti negativi sull'ambiente e sulle persone. I nuovi muri interni, i solai ed i piani intermedi sono stati realizzati in legno. La pavimentazione è in piastrelle di ceramica o gomma. Pittura naturale è stata usata sui muri esterni, mentre le pitture usate all'interno sono ad acqua. Le nuove finestre hanno vetri basso emissivi con riempimento in argon e sigillante in EPDM (U totale 1,6 W/m²K). L'involucro



Fig. 173 – Vista generale



Fig. 174 – Collettore solare

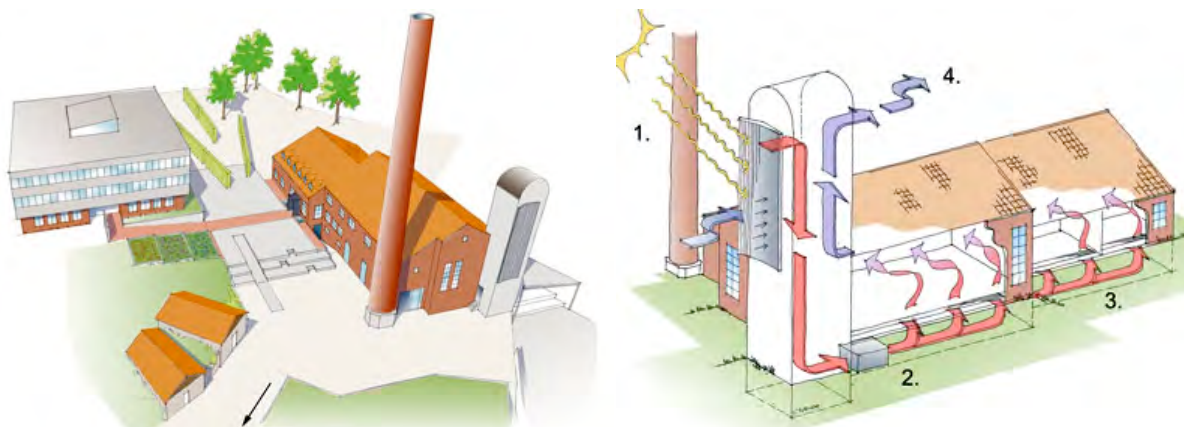


Fig. 175 – Vista tridimensionale dell'area e schema di ventilazione- fonte delle immagini Euleb



Fig. 176 – Airlock ingresso



Fig. 177 – Airlock ingresso



Fig. 178 – Sala mostre

è stato migliorato termicamente con l'aggiunta di 400 mm di lana minerale fra il soffitto e la copertura, con l'aggiunta di 45 mm di EPS nella parte interna dei muri perimetrali e di 70 mm di EPS nel pavimento sotto il sistema di riscaldamento. Un airlock è stato installato all'ingresso principale per evitare correnti d'aria fredda. Inoltre, pur essendo il museo allacciato al riscaldamento distrettuale con impianto a biomassa (combustibile a schegge di legno), è stato installato un impianto a ventilazione naturale, in cui l'aria esterna per le sale viene preriscaldata da un collettore solare installato sulla facciata sud della vecchia torre del carbone. L'aria, fornita alle sale attraverso griglie a pavimento, viene poi estratta tramite la ventilazione naturale mediante la vecchia torre. Alcuni spazi sono invece stati dotati di ventilazione meccanica con recupero di calore. Dopo l'intervento di recupero, il consumo energetico per il riscaldamento è stato ridotto del 50 % (da 210 kWh/m²a a 107 kWh/m²a), con un piccolo incremento dei consumi elettrici dovuto al consumo dei nuovi impianti.

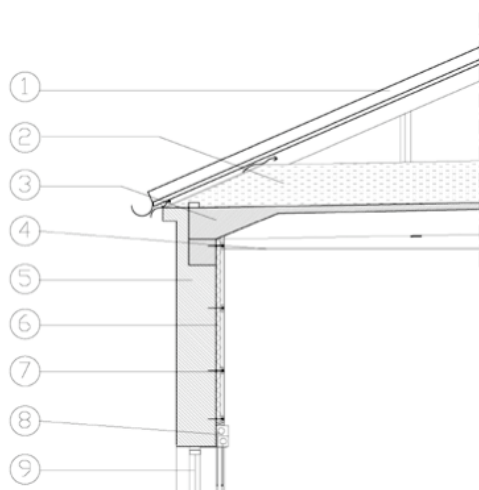


Fig. 179 – Sezione del muro e della copertura

Legenda

1. pannello di copertura
2. 400 mm di coibentazione nuova a riempimento lasco
3. vecchio solaio in calcestruzzo
4. nuovo soffitto in materiale acustico
5. vecchio muro in mattoni
6. 45 mm di nuovo coibente EPS
7. nuovo muro interno
8. tende per il controllo della luce naturale
9. finestre ristrutturate con pannelli in vetro riflettente

LO STANDARD PASSIVHAUS

9.1 La storia

Lo standard passivhaus (letteralmente casa passiva)³⁶ nasce dagli studi del Dr. Wolfgang Feist sui programmi che simulano in modo dinamico il comportamento termico degli edifici.



Figura 180 - Dr. W. Feist

Interessato all'analisi degli edifici energeticamente molto efficienti e non trovando nei programmi all'epoca esistenti niente di adatto, creò un suo programma di calcolo, denominato DYNBIL, ancora in uso ed in continuo sviluppo. Fra le tante simulazioni sui vari modelli di case, trovò una combinazione formata da un alta qualità dell'involucro, da un impianto di ventilazione con recupero di

calore e da vetrate termicamente molto efficienti che gli suggerirono l'idea di eliminare il tradizionale impianto di riscaldamento per sostituirlo con il già presente impianto di ventilazione. In pratica si chiese, posso scaldare l'intero edificio attraverso l'impianto per la ventilazione igienica? Utilizzando il suo stesso programma e ponendo come punto di partenza il più alto livello di comfort interno possibile (ASHRAE 6% di insoddisfatti), fece un percorso a ritroso, arrivando a definire le caratteristiche dei singoli componenti per la realizzazione di un edificio ad altissima efficienza energetica da localizzare nel freddo clima della Germania, ovvero:

- Una trasmittanza termica degli elementi costruttivi opachi $U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- Una trasmittanza termica degli elementi finestrati $U \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- Assenza di ponti termici ψ (ψ =trasmittanza termica lineare) $\leq 0,01 \text{ W/mK}$;
- Resistenza dell'involucro al vento: $n_{50} \leq 0,6/\text{h}$
- Alto rendimento del sistema di recupero del calore $\geq 75\%$

³⁶ Il nome deriva dalla fonte principale di calore utilizzata da questi edifici: sole, terreno e aria sfruttati in modo passivo. L'energia prodotta dagli impianti (caldaie, stufe, ecc) è definita attiva.

che in linea teorica permettevano il raggiungimento dei seguenti standard energetici:

- Un consumo massimo di energia per il riscaldamento di 15 kWh/m²a;
- Un consumo energetico globale massimo di 42 kWh/m²a;

Nel 1988, grazie ad un contributo finanziario del Ministero per l'Economia della Regione tedesca dell'Assia, iniziò lo sviluppo, insieme ad alcune aziende tedesche, del sistema di recupero di calore e delle vetrate ad alta efficienza energetica al fine di realizzare un edificio pilota a basso consumo energetico e ad un costo ragionevole per il clima tedesco. L'edificio, un piccolo condominio realizzato a Darmstadt (Germania) nel 1991 e monitorato per tutto l'anno seguente, confermò la riuscita dell'esperimento.



Figura 181 - Il condominio costruito a Darmstadt nel 1991- fonte Passivhausinstitut

Il progetto riuscì infatti a soddisfare la duplice aspettativa della riduzione dei consumi di energia (risultati inferiori del 90% rispetto a quelli di una casa tradizionale tedesca³⁷) e del mantenimento di un alto comfort ambientale interno, anche se ad un costo molto alto, visto che tutti i componenti principali furono appositamente progettati e costruiti per l'occasione. Durante la progettazione e la realizzazione del condominio di Darmstadt, il Dr. Feist si rese

³⁷ Il consumo di un edificio tradizionale tedesco (costruito prima del 1984) è di circa 235 kWh/m²a, di cui 175 kWh/m²a per il riscaldamento, 28 kWh/m²a per l'acqua calda e 32 kWh/m²a per la corrente elettrica.

conto che l'utilizzo del programma di calcolo DYNBIL³⁸ risultava troppo complesso per i progettisti, e tra il 1992 ed il 1995 sviluppò un nuovo programma di calcolo, su base Microsoft Excel, da utilizzare in fase di progettazione e verifica, il PHPP³⁹.

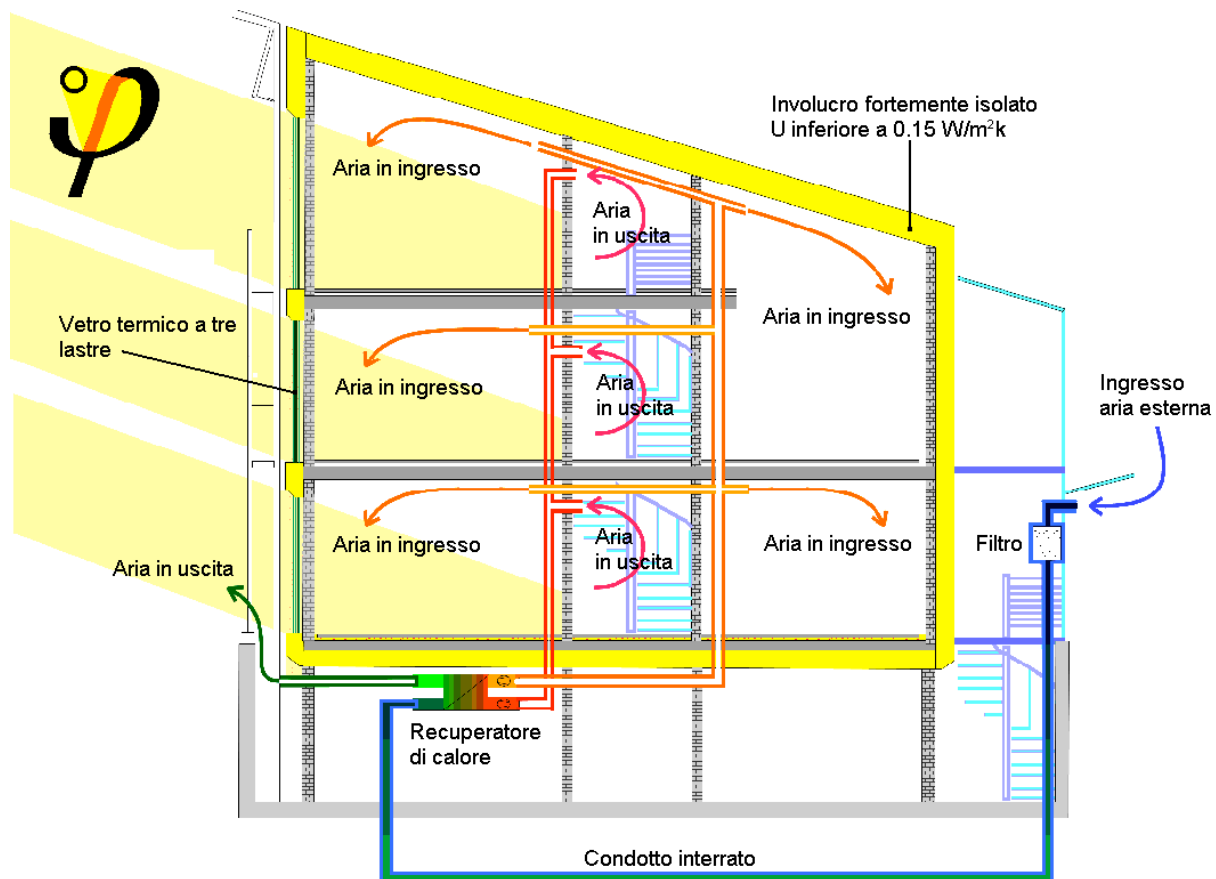


Figura 182 - Insieme dei sistemi passivi utilizzati a Darmstadt - fonte Passivhausinstitut

Gli stessi sistemi passivi (involucro fortemente isolato con finestre a triplo vetro basso emissivo, impianto di ventilazione meccanica con recuperatore di calore e condotto interrato per il preriscaldamento dell'aria) furono successivamente adoperati nel 1995 in una seconda costruzione in Groß-Umstadt, il cui costo risultò solo del 10% superiore a quello di un nuovo edificio. Nel 1996, dopo queste prime esperienze positive, il Dr. Wolfgang Feist fondò a Darmstadt il Passivhausinstitut (PHI), un istituto indipendente di ricerca e sperimentazione che si occupa dell'analisi, dello sviluppo e della certificazione degli edifici passivi e dei componenti per edifici passivi. Feist, basandosi sulle esperienze fatte e sui risultati ottenuti

³⁸ La sola somma dei singoli componenti non fa un edificio passivo. Soltanto la progettazione integrale di tutti i componenti permette all'edificio di raggiungere i requisiti richiesti. A questo serve il DYNBIL.

³⁹ Passive House Planning Package.

dai due edifici, iniziò a codificare l'insieme di soluzioni tecnologiche adoperate nelle case di Darmstadt e di Groß-Umstadt nello “standard passivhaus”⁴⁰, che sostanzialmente si fonda su tre principi cardini: un limite ai consumi energetici; un requisito di qualità (livello di comfort termico); un insieme di sistemi passivi preferenziali, che permettano sia il rispetto del limite dei consumi energetici, sia del requisito di qualità. Il tutto obbligatoriamente ad un costo ragionevole.

9.1.1 Il progetto europeo Cepheus

Visto l'enorme successo ottenuto dagli edifici di Darmstadt e Groß-Umstadt, nel 1997 la Commissione Europea decise di finanziare il progetto Cepheus⁴¹, al fine di valutare la praticabilità del modello proposto dal Dr. Wolfgang Feist. A tale scopo finanziò la realizzazione e il monitoraggio di quattordici complessi residenziali “passivhaus” di diverse tipologie edilizie e costruttive in cinque diversi Paesi europei, per un totale di 221 unità abitative, imponendo un consumo energetico globale massimo di 42 kWh/m²a. Il progetto verificò inoltre: il livello di accettazione di questi edifici da parte degli investitori e degli acquirenti; l'applicabilità dei livelli qualitativi delle “passivhaus” in tutto il territorio europeo (facendo riferimento agli extra costi di costruzione); la qualità dell'aria indoor; il comfort termico; il rapporto costi/benefici e le modalità di utilizzo delle “passivhaus” da parte degli utenti nella vita quotidiana.

Localizzazione	N. alloggi	m ²	Tipologia
Dornbirn (Austria)	1	133	Villetta
Egg (Austria)	4	321	Casa a schiera
Hallein (Austria)	31	2.340	Mista
Hörbranz (Austria)	3	370	Casa a schiera

⁴⁰ Il termine significa Casa Passiva, ma non tutti i professionisti sono attratti dall'idea che il termine generale “passiva” venga ora associato ad uno standard costruttivo specifico (anche se nell'Europa continentale è ormai così), di conseguenza per definire lo standard del prof. Feist useremo il termine in lingua tedesca.

⁴¹ Cost Efficient Passive Houses as European Standards. Programma dimostrativo di durata quadriennale (1998-2002) inserito all'interno del programma europeo Thermie (1997).

Localizzazione	N. alloggi	m ²	Tipologia
Horn (Austria)	1	170	Villetta
Kuchl (Austria)	31	2.340	Mista
Salzburg Gnigl (Austria)	6	337	Casa a schiera
Steyr Dietach (Austria)	3	468	Casa in linea
Wolfburg (Austria)	10	1.200	Mista
Luzern Nebikon (Svizzera)	5	641	Casa a schiera
Hannover Kronsberg (Germania)	32	3.805	Casa in linea
Kassel Marbachshole (Germania)	40	3.164	Mista
Rennes (Francia)	40	2.744	Mista
Goteborg (Svezia)	26	2.704	Casa a schiera

Tabella 13 - *Quadro riassuntivo dei progetti Cepheus*

Il progetto superò ogni più rosea aspettativa. Non solo il consumo energetico globale rimase al di sotto del limite imposto, ma si dimostrò oltre ogni ragionevole dubbio che è possibile realizzare edifici passivi efficienti a costi addizionali contenuti e dall'elevato comfort abitativo in qualsiasi stagione dell'anno (risultato confermato non solo dagli esiti oggettivi dei monitoraggi, ma dalla valutazione espressa dagli stessi utenti).

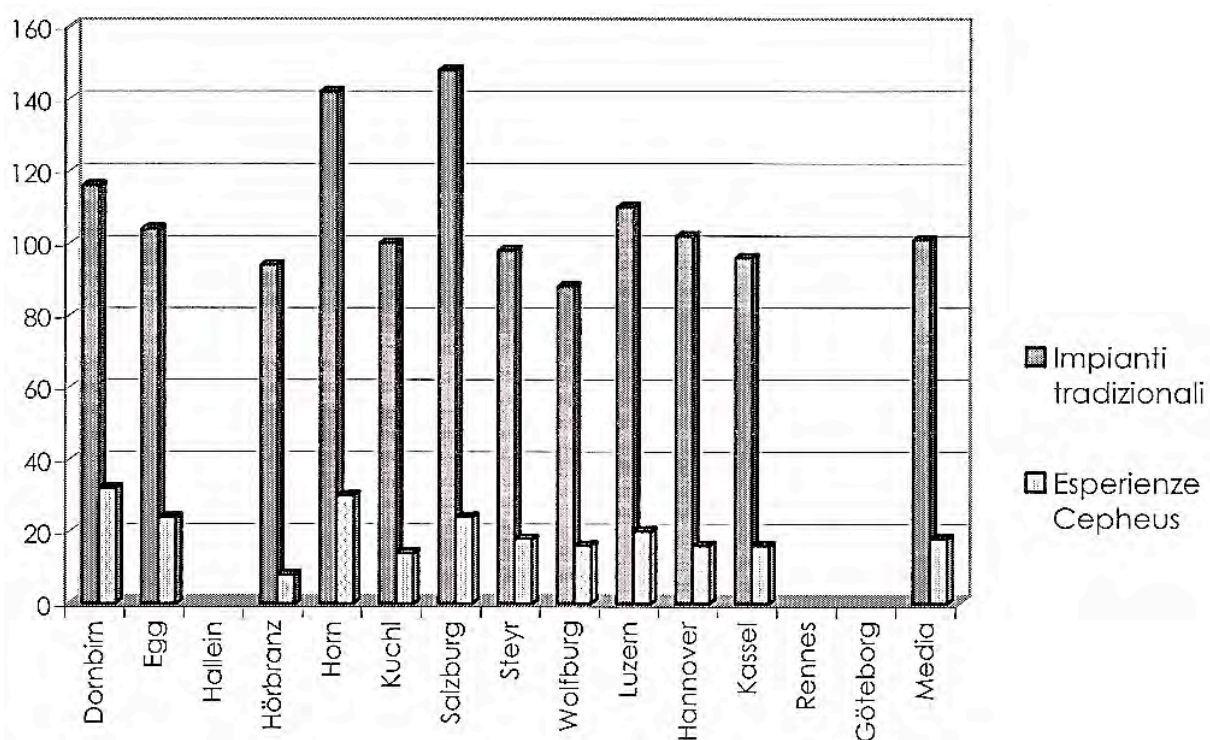


Figura 183 - *Consumo energetico per il riscaldamento: confronto tra edifici tradizionali e Cepheus - fonte PHI*

Anche l'inserimento delle “passivhaus” nel mercato avvenne senza alcuna difficoltà, in quanto utenti ed imprenditori dimostrarono subito il loro appoggio a tale iniziativa (uno dei partner austriaci vendette dieci case unifamiliari a soli quattro mesi dalla loro realizzazione). Furono inoltre organizzate una serie di visite e di conferenze che videro una larga partecipazione da parte degli interessati in tutti i cinque Paesi in cui il progetto fu realizzato (aumentò anche il numero dei fornitori di elementi idonei agli edifici passivi) dando il via alla diffusione dello standard “passivhaus” nei Paesi dell’Europa centrale (nei cinque anni successivi il numero di passivhaus superò le 8.000 unità).



Figura 184 - *Passivhaus in Germania* - fonte Passivhausinstitut

Emblematica fu anche la pubblicità con la quale le nuove abitazioni furono commercializzate, infatti più che l'aspetto energetico, fu posta all'attenzione del pubblico l’alta qualità abitativa dei nuovi edifici.

9.1.2 *Il progetto europeo Passive-On*

Il successo del Passivhausinstitut nello sviluppare e implementare un approccio alla progettazione edilizia nei paesi dell’Europa centrale, che non sia solo molto efficiente energeticamente, ma che rispetti anche i criteri di comfort universalmente riconosciuti, ha portato la Comunità Europea a chiedersi se tale approccio fosse applicabile anche in altri paesi ed in altri climi. A tal fine decise di commissionare la ricerca denominata Passive-On⁴²,

⁴² Progetto di ricerca biennale (1 gennaio 2005 - 30 settembre 2006).

per verificare l'applicabilità dello standard "passivhaus" in Portogallo, Spagna, Italia e nei climi caldi della Francia e del Regno Unito. Difatti, la definizione di uno standard per le case a basso consumo energetico ha offerto numerosi vantaggi sia al settore edile in generale sia al mercato immobiliare tedesco ed austriaco in particolare, portando ad una esplosione delle "passivhaus" nei Paesi dell'Europa centrale.

Lo standard "passivhaus" (2003)
<ul style="list-style-type: none">- Criterio del riscaldamento: il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento ambientale non deve superare i 15 kWh per m² di superficie netta abitabile per anno.- Criterio dell'energia primaria: la richiesta di energia primaria per tutti i servizi energetici, inclusi riscaldamento, acqua calda sanitaria, elettricità per l'abitazione e gli ausiliari, non deve superare i 120 kWh per m² di superficie netta abitabile per anno.- Tenuta all'aria: l'involucro edilizio deve presentare un risultato al test di pressurizzazione (a 50 Pa e condotto secondo la EN 13829) non superiore ai 0,6/h.- Criterio della temperatura di comfort invernale: la temperatura operativa nelle stanze deve essere mantenuta sopra i 20 °C d'inverno, usando le succitate quantità di energia.- Tutti i valori di richiesta energetica devono essere calcolati con il programma PHPP.

Tabella 14 - *Requisiti per la certificazione di una passivhaus nell'Europa centrale* - fonte PHI

Per verificare l'applicabilità delle "passivhaus" nei climi caldi, i ricercatori del progetto Passive-On sono partiti (come fece il Dr. Feist) dalle esigenze di comfort interno dei suoi abitanti. Se è vero infatti che le case del sud Europa devono essere riscaldate in inverno, è anche vero che devono avere un clima confortevole specialmente in estate e di conseguenza le temperature interne devono sempre rimanere al di sotto della massima temperatura definita dalla norma UNI EN 15251⁴³, norma che però prevede due temperature massime di comfort a seconda del tipo di sistema usato per raffrescare. Se il raffrescamento è fornito mediante un sistema attivo allora la temperatura massima interna è definita dal modello di Fanger (max 26°C). Se invece il comfort estivo è mantenuto mediante strategie di raffrescamento passivo (ventilazione naturale), allora il limite di temperatura superiore è imposto dal modello

⁴³ Criteri per la progettazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica.

adattivo⁴⁴ (27,2°C per Milano, 28,7°C per Lisbona ecc). L'idea di escludere dalle "passivhaus" la ventilazione naturale fu scartata a priori (non consumare energia per raffrescare è il miglior risparmio di energia), quindi i ricercatori hanno lavorato su cinque modelli di "passivhaus", uno per ogni Paese partner del programma, prevedendo entrambe le strategie di raffrescamento, quello attivo e quello passivo.

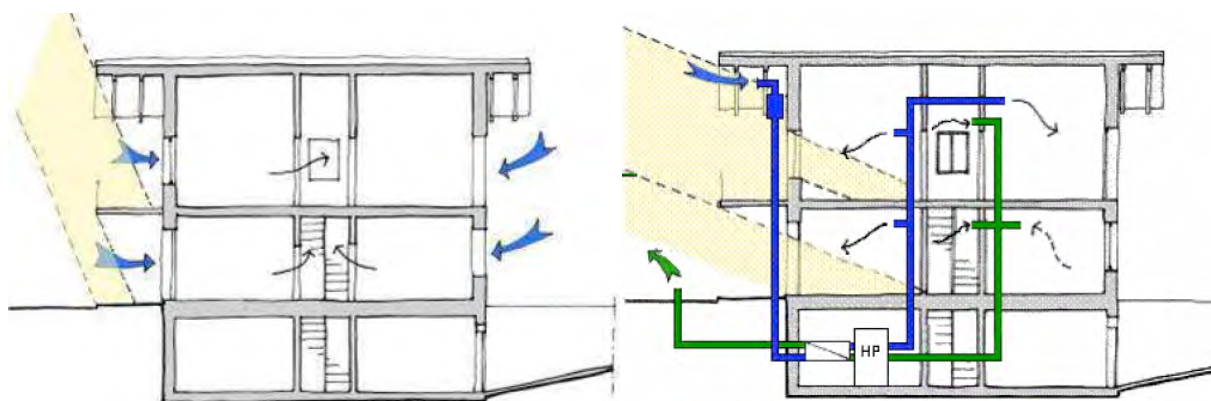


Figura 185 - Strategie di climatizzazione del modello italiano - fonte Passive-on project

Il risultato della ricerca fu l'introduzione nei programmi di calcolo DYNBIL e PHPP dei parametri per il calcolo del raffrescamento (compresa la possibilità di utilizzare la ventilazione naturale e le verifiche per evitare il surriscaldamento estivo) e la definizione dei nuovi requisiti che dal 2007 definiscono lo standard delle "passivhaus", ovvero:

- Criterio della temperatura di comfort estiva: la temperatura operativa nelle stanze deve essere mantenuta sotto i 26 °C d'estate, usando le seguenti quantità di energia:
 - Un fabbisogno di energia utile per il raffrescamento $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (per raffrescamento prevalentemente attivo);
 - Un fabbisogno di energia primaria $\leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.
- Un numero massimo di 36 giorni con temperatura interna sopra i 26°C (per raffrescamento prevalentemente passivo).

Oltre a definire i nuovi parametri, il gruppo di studio si è preoccupato di verificare gli extra costi necessari per realizzare una "passivhaus" mediterranea e l'analisi dei costi nel ciclo di

⁴⁴ La temperatura di comfort dipende dal clima esterno e dalla capacità di adattamento delle persone.

vita dell'edificio, dimostrando che anche nei i climi caldi è possibile realizzare edifici passivi efficienti a costi addizionali contenuti e dall'elevato comfort abitativo.

9.1.3 *Il progetto europeo CEPH*

Nel 2008, al fine di diffondere le conoscenze necessarie per la realizzazione delle “passivhaus” tra gli architetti ed i designer, l'Unione Europea ha promosso lo sviluppo e la diffusione del programma CEPH (Certified European Passive House Designer). Un corso completo ed intensivo di 80 ore con un programma che copre tutte le questioni rilevanti per la progettazione delle “passivhaus”. Ai partecipanti che supereranno l'esame finale sarà rilasciato dal Passivhausinstitut un attestato europeo riconosciuto (in Italia il corso è tenuto dal TBZ di Bolzano).

9.2 *Definizione e criteri di qualità*

Il nome “passivhaus” deriva dalla capacità di questi edifici di scaldarsi praticamente da soli sfruttando il calore del sole e le fonti interne di calore (persone, lampade ed elettrodomestici). Ma una “passivhaus” non è un semplice edificio bioclimatico (pur essendone una evoluzione) munito di serra o camino solare, è un edificio che deve contemporaneamente soddisfare due requisiti di qualità: quello energetico (un fabbisogno di energia per il riscaldamento ed il raffrescamento $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) e quello di comfort (ASHRAE 6% di insoddisfatti). Molte persone però definiscono erroneamente “passivhaus” quegli edifici che hanno un fabbisogno di energia per il riscaldamento $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, ignorando la definizione originale data dal Dr. Feist: *“Edifici nei quali è possibile avere il più alto livello di comfort interno, riscaldando e raffrescando gli ambienti con l'impianto di ventilazione per il rinnovo igienico dell'aria”*. Poiché questa definizione di comfort abitativo prescrive la massima differenza di temperatura tra quella operante e quella superficiale ammissibile, la massima velocità d'aria ammissibile e la temperatura operante, si arriva alla definizione delle prestazioni minime per l'involucro e

per l'impianto di ventilazione, che calcolati scientificamente con il programma di calcolo DYNBIL, definiscono i criteri che le "passivhaus" devono rispettare per soddisfare sia il requisito energetico sia quello di comfort.

Criteri principali	
Fabbisogno di energia utile per il riscaldamento	$\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
Fabbisogno di energia utile per il raffrescamento	$\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
Fabbisogno di energia utile primaria totale	$\leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
Tenuta all'aria (n50)	0,6/h
Temperatura superficiale interna minima	17°C
Rendimento di recupero minimo dell'impianto di ventilazione	75%
Consumo massimo di corrente elettrica dell'impianto di ventilazione	45 Wh/m ³

Criteri secondari	
Potenza specifica trasportabile con l'aria dell'impianto di ventilazione	10 W/m ²
Assenza di ponti termici ψ (ψ =trasmissione termica lineare)	$\leq 0,01 \text{ W/mK}$
oppure ponti termici "leggeri" ψ	$\leq 0,025 \text{ W/mK}$
Trasmittanza complessiva del serramento montato U	$\leq 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$
Trasmittanza del serramento U	$\leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabella 15 - Criteri per il conseguimento dello standard "passivhaus" - fonte TBZ

Del resto, gli stessi inquilini delle "passivhaus" raccontano come vivono il contrasto fra gli edifici comuni dei loro conoscenti, esposti alle correnti e con una modesta qualità dell'aria e le loro case. Ma questo non è un caso, si fonda su semplici leggi fisiche. Le superfici esterne ben isolate, la temperatura superficiale costante su pareti, pavimenti e finestre e l'aria sempre rinnovata e uniformemente calda eliminano dagli ambienti l'impulso alla rotazione dell'aria (rullo d'aria) e l'onda fredda che si forma su pavimento e pareti (eliminando completamente il discomfort da asimmetria media radiante). Oltretutto le varie esperienze hanno dimostrato che questi sono anche edifici molto robusti. Il proprietario di una palazzina uffici a Vipiteno (BZ) racconta che un sabato di dicembre gli si è rotta la caldaia a cippato che produce calore per i

vecchi uffici e per quelli nuovi in standard “passivhaus”. Lunedì verso le 10 gli impiegati dei vecchi uffici lo informano che vanno a casa perché hanno una temperatura di 8°C (fuori erano -8°C), mentre gli impiegati del nuovo ufficio non si sono mai accorti di niente.

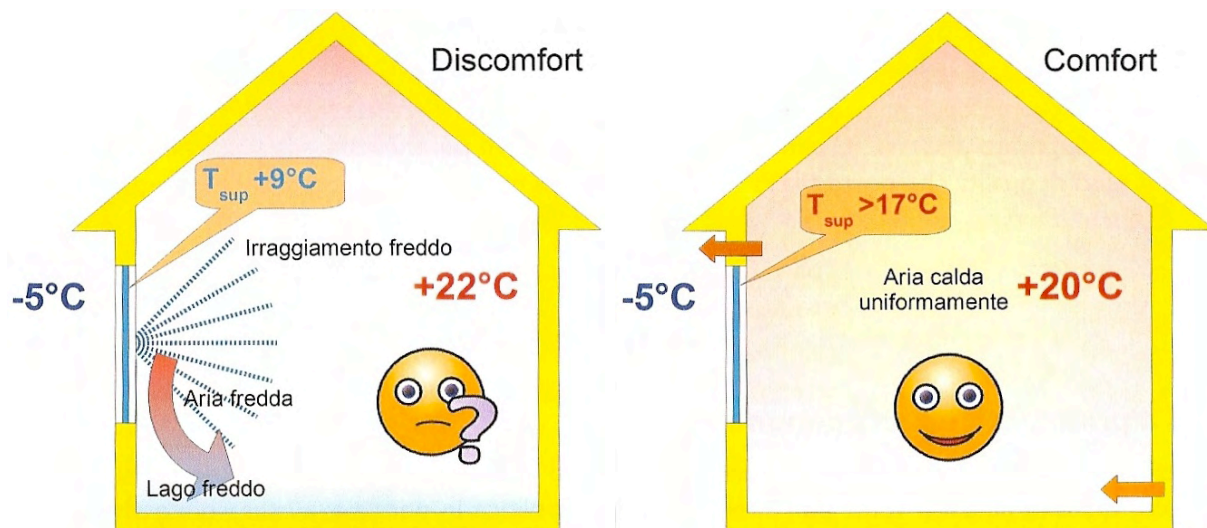


Figura 186 - Il comfort di una “passivhaus” rispetto ad una casa tradizionale - fonte TBZ

Del resto le prestazioni richieste per la certificazione assicurano le “passivhaus” da errori costruttivi, garantendo anche le caratteristiche fisiche dei materiali utilizzati, cosa che però non mette al riparo dai danni dovuti all’incuria o alla trascuratezza.

9.3 L’involucro

La funzione dell’involucro termico è quello di ridurre gli scambi di calore tra l’interno e l’esterno dell’edificio; nel caso di una “passivhaus” l’involucro deve ridurre questi scambi in misura tale da poter scaldare e raffreddare tutti gli ambienti attraverso l’aria dell’impianto di ventilazione. Questo significa che l’edificio deve avere un involucro termico molto efficace e con una tenuta all’aria eccezionale. Compito del progettista è determinare questi scambi, al fine di determinare i valori di trasmittanza U di ogni singolo componente dell’involucro. Per farlo bisogna eseguire con il programma PHPP un particolare calcolo detto "bilancio termico" che ci fornisce tutti i valori di cui abbiamo bisogno per progettare correttamente l’edificio. Occorre ricordare che nelle “passivhaus” l’involucro termico deve avvolgere tutto l’edificio o

per dirla come il Dr. Feist: “*deve essere possibile tracciarne il contorno con unica linea*”, sia in pianta che in sezione. Va inoltre precisato che la linea dell’involucro non è il bordo esterno della parete o del solaio, ma la superficie esterna dell’isolamento (vedi esempi in tabella 16).



Figura 187 - *Involucro termico* - fonte l'Edificio Passivo di Uwe Wienke

I componenti opachi

Dalle analisi svolte sugli edifici tedeschi realizzati e certificati in standard “passivhaus” emergono i valori di trasmittanza tipici di questi edifici.

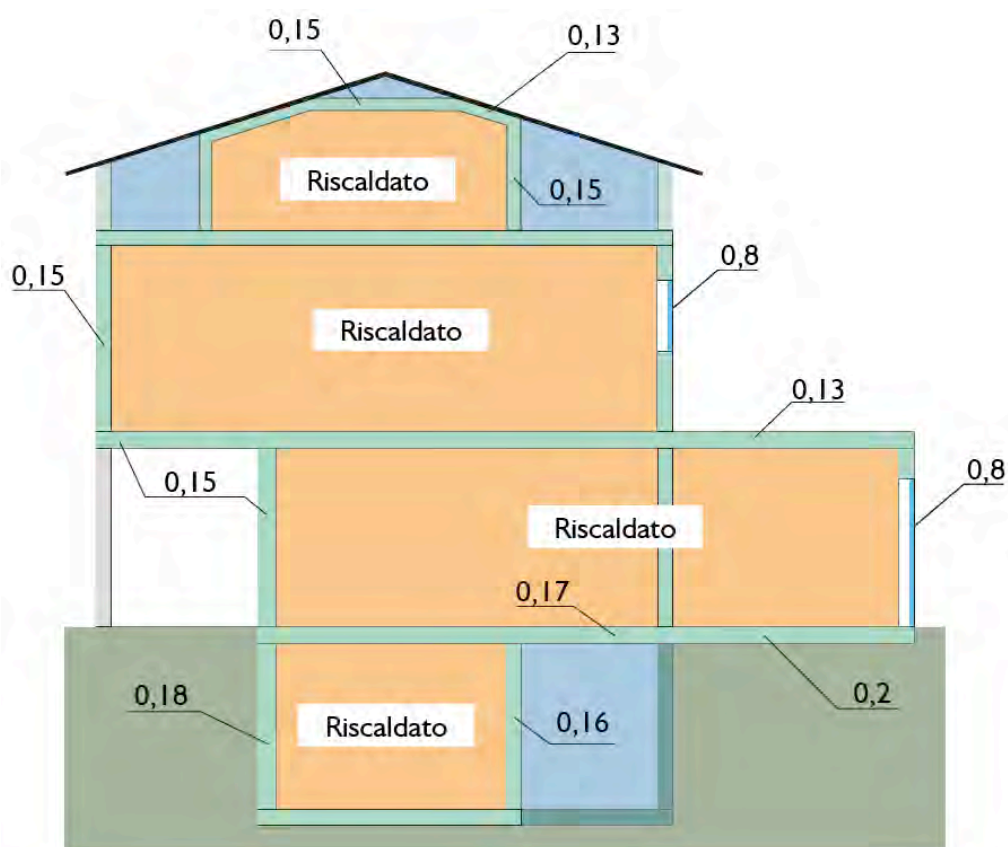
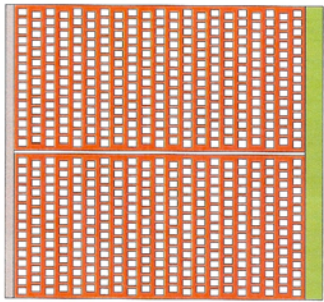
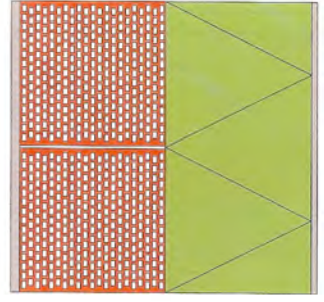
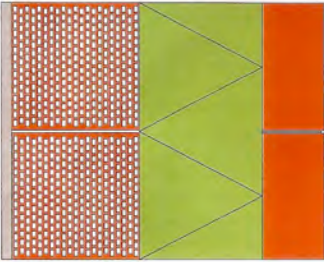


Figura 188 - *Valori U tipici delle passivhaus tedesche* - fonte TBZ

Questi valori sono però validi per il clima tedesco e austriaco, e volendo, ancora appropriati per le regioni del nord Italia. Per avere i valori di trasmittanza U nelle altre zone climatiche del Paese, bisognerà aspettare che vengano realizzati i primi edifici in standard “passivhaus” nelle regioni del centro e sud Italia (finora sono state realizzate “passivhaus” soltanto nel clima alpino e del nord Italia). Ma che significa avere un componente opaco con trasmittanza U di $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$? Semplicemente avere un muro di circa 50 cm.

Parete esterna con laterizio a bassa dispersione - Spessore 54,5 cm						
①	②	③	Materiali	λ (W/mK)	Spessori (m)	$R = S/\lambda$ ($\text{m}^2\text{K/W}$)
			1. Intonaco di calce	0,80	0,015	0,019
			2. Laterizio Ederplan XP	0,08	0,50	5,950
			3. Intonaco isolante	0,09	0,03	0,333
Somma delle singole resistenze $\sum_i R_i = 6,30 \text{ m}^2\text{K/W}$ Somma delle resistenze superficiali $\sum_i (1/\alpha_i) = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$ Resistenza termica totale $R_t = \sum_i (1/\alpha_i) + \sum_i R_i = 6,47 \text{ m}^2\text{K/W}$ Trasmittanza $U = 1/R_t = \mathbf{0,154 \text{ W/m}^2\text{K}}$						

Parete esterna in laterizio con cappotto - Spessore 52,5 cm							
①	②	③	④	Materiali	λ (W/mK)	Spessori (m)	$R = S/\lambda$ ($\text{m}^2\text{K/W}$)
				1. Intonaco di calce	0,80	0,015	0,019
				2. Laterizio porizzato	0,25	0,25	1,00
				3. Cappotto	0,045	0,25	5,556
				4. Intonaco al silicato	0,70	0,01	0,014
Somma delle singole resistenze $\sum_i R_i = 6,589 \text{ m}^2\text{K/W}$ Somma delle resistenze superficiali $\sum_i (1/\alpha_i) = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$ Resistenza termica totale $R_t = \sum_i (1/\alpha_i) + \sum_i R_i = 6,759 \text{ m}^2\text{K/W}$ Trasmittanza $U = 1/R_t = \mathbf{0,148 \text{ W/m}^2\text{K}}$							

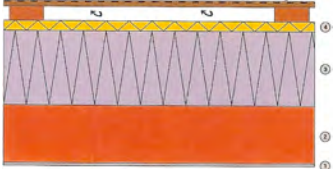
Parete esterna con intercapedine coibentata - Spessore 62,5 cm							
①	②	③	④	Materiali	λ (W/mK)	Spessori (m)	$R = S/\lambda$ ($\text{m}^2\text{K/W}$)
				1. Intonaco di calce	0,80	0,015	0,019
				2. Laterizio porizzato	0,25	0,25	1,00
				3. Cappotto di canapa	0,045	0,24	5,333
				4. Mattone a vista	0,80	0,12	0,15
Somma delle singole resistenze $\sum_i R_i = 6,502 \text{ m}^2\text{K/W}$ Somma delle resistenze superficiali $\sum_i (1/\alpha_i) = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$ Resistenza termica totale $R_t = \sum_i (1/\alpha_i) + \sum_i R_i = 6,672 \text{ m}^2\text{K/W}$ Trasmittanza $U = 1/R_t = \mathbf{0,150 \text{ W/m}^2\text{K}}$							

Parete esterna in legno TJI - Spessore 42,8 cm				
	Materiali	λ (W/mK)	Spessori (m)	$R = S/\lambda$ (m ² K/W)
	1. Lastra in fibrogesso	0,60	0,013	0,022
	2. Lino (spazio x impianti)	0,045	0,020	0,667
	3. Pannello OSB	0,15	0,030	0,133
	4. Cellulosa + TJI	0,045	0,30	6,667
	5. Pannello OSB	0,15	0,020	0,133
	6. Lastra legno-cemento	0,09	0,030	0,333
	7. Intonaco	0,8	0,015	0,019
Somma delle singole resistenze $\sum_i R_i = 7,94$ m ² K/W Somma delle resistenze superficiali $\sum_i (1/\alpha_i) = 0,17$ m ² K/W Resistenza termica totale $R_t = \sum_i (1/\alpha_i) + \sum_i R_i = 8,144$ m ² K/W Trasmittanza $U = 1/R_t = \mathbf{0,123$ W/m ² K				

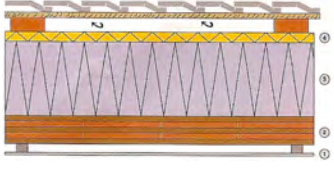
Parete esterna in legno a pannello multistrato - Spessore 37,3 cm				
	Materiali	λ (W/mK)	Spessori (m)	$R = S/\lambda$ (m ² K/W)
	1. Lastra in fibrogesso	0,600	0,013	0,022
	2. Lino (spazio x impianti)	0,045	0,030	0,677
	3. Pannello multistrato	0,150	0,100	0,714
	4. Fibra di legno	0,045	0,160	4,000
	5. Fibra di legno x intonaco	0,150	0,060	1,200
	6. Intonaco al silicato	0,090	0,010	0,014
Somma delle singole resistenze $\sum_i R_i = 6,617$ m ² K/W Somma delle resistenze superficiali $\sum_i (1/\alpha_i) = 0,17$ m ² K/W Resistenza termica totale $R_t = \sum_i (1/\alpha_i) + \sum_i R_i = 6,787$ m ² K/W Trasmittanza $U = 1/R_t = \mathbf{0,147$ W/m ² K				

Tetto in laterocemento con cappotto - Spessore 17,5 cm				
	Materiali	λ (W/mK)	Spessori (m)	$R = S/\lambda$ (m ² K/W)
	1. Intonaco di calce	0,800	0,01	0,013
	2. Solaio in laterocemento	0,800	0,02	0,025
	3. Pannello sottovuoto	0,004	0,03	7,500
	4. Pannello in fibra di legno	0,045	0,035	0,778
	5. Ventilazione		0,05	
	6. Tavolato		0,02	
	7. Lamiera		0,01	
Somma delle singole resistenze $\sum_i R_i = 8,315$ m ² K/W Somma delle resistenze superficiali $\sum_i (1/\alpha_i) = 0,21$ m ² K/W Resistenza termica totale $R_t = \sum_i (1/\alpha_i) + \sum_i R_i = 8,525$ m ² K/W Trasmittanza $U = 1/R_t = \mathbf{0,117$ W/m ² K				

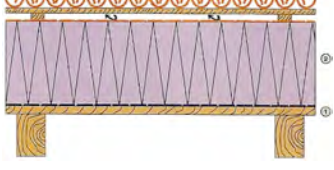
Tetto in laterocemento con cappotto - Spessore 58,5 cm

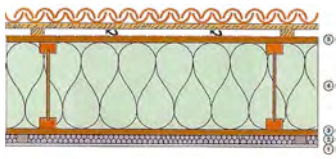
	Materiali	λ (W/mK)	Spessori (m)	$R = S/\lambda$ (m ² K/W)
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Intonaco di calce 2. Solaio in laterocemento 3. Pannello in fibra di legno 4. Pannello in fibra di legno 5. Ventilazione 6. Tavolato 7. Lamiera 	<p>0,800</p> <p>0,500</p> <p>0,040</p> <p>0,045</p> <p>0,050</p> <p>0,020</p> <p>0,010</p>	<p>0,010</p> <p>0,200</p> <p>0,260</p> <p>0,035</p> <p>0,050</p> <p>0,020</p> <p>0,010</p>	<p>0,013</p> <p>0,400</p> <p>6,500</p> <p>0,778</p>
<p>Somma delle singole resistenze $\Sigma_i R_i = 7,69$ m²K/W Somma delle resistenze superficiali $\Sigma_i (1/\alpha_i) = 0,21$ m²K/W Resistenza termica totale $R_t = \Sigma_i (1/\alpha_i) + \Sigma_i R_i = 7,900$ m²K/W Trasmittanza $U = 1/R_t = 0,127$ W/m²K</p>				

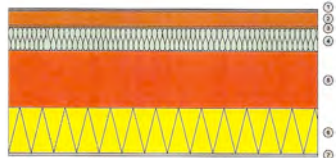
Tetto in pannello multistrato e cappotto - Spessore 49,6 cm


	Materiali	λ (W/mK)	Spessori (m)	$R = S/\lambda$ (m ² K/W)
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cartongesso 2. Struttura per cartongesso 3. Pannello multistrato 4. Pannello in fibra di legno 5. Pannello in fibra di legno 6. Ventilazione 7. Listello delle tegole 8. Tegole in cemento 	<p>0,20</p> <p>0,14</p> <p>0,04</p> <p>0,045</p>	<p>0,011</p> <p>0,03</p> <p>0,10</p> <p>0,24</p> <p>0,035</p> <p>0,04</p> <p>0,02</p> <p>0,02</p>	<p>0,055</p> <p>0,714</p> <p>6,000</p> <p>0,778</p>
<p>Somma delle singole resistenze $\Sigma_i R_i = 7,547$ m²K/W Somma delle resistenze superficiali $\Sigma_i (1/\alpha_i) = 0,21$ m²K/W Resistenza termica totale $R_t = \Sigma_i (1/\alpha_i) + \Sigma_i R_i = 7,757$ m²K/W Trasmittanza $U = 1/R_t = 0,129$ W/m²K</p>				

Tetto in travetti di legno - Spessore 45 cm

	Materiali	λ (W/mK)	Spessori (m)	$R = S/\lambda$ (m ² K/W)
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tavolato 2. Freno al vapore 3. Pannello in fibra di legno 4. Telo traspirante 5. Ventilazione 6. Listello delle tegole 7. Tegole 8. Tegole in cotto 	<p>0,15</p> <p>0,04</p>	<p>0,03</p> <p>0,30</p> <p>0,04</p> <p>0,02</p> <p>0,02</p> <p>0,04</p>	<p>0,2</p> <p>7,5</p>
<p>Somma delle singole resistenze $\Sigma_i R_i = 7,7$ m²K/W Somma delle resistenze superficiali $\Sigma_i (1/\alpha_i) = 0,21$ m²K/W Resistenza termica totale $R_t = \Sigma_i (1/\alpha_i) + \Sigma_i R_i = 7,91$ m²K/W Trasmittanza $U = 1/R_t = 0,126$ W/m²K</p>				

Tetto in legno TJI - Spessore 48,1 cm				
	Materiali	λ (W/mK)	Spessori (m)	$R = S/\lambda$ (m ² K/W)
	1. Cartongesso	0,20	0,011	0,055
	2. Lino (spazio impianti)	0,045	0,03	0,667
	3. Pannello OSB	0,15	0,02	0,133
	4. Cellulosa + TJI	0,045	0,30	6,667
	5. Pannello OSB	0,15	0,02	0,133
	6. Ventilazione		0,04	
	7. Listello delle tegole		0,02	
	8. Tegole in cotto		0,04	
Somma delle singole resistenze $\Sigma_i R_i = 7,655$ m ² K/W Somma delle resistenze superficiali $\Sigma_i (1/\alpha_i) = 0,21$ m ² K/W Resistenza termica totale $R_t = \Sigma_i (1/\alpha_i) + \Sigma_i R_i = 7,865$ m ² K/W Trasmittanza $U = 1/R_t = \mathbf{0,127$ W/m ² K				

Solaio in laterocemento- Spessore 51,8 cm				
	Materiali	λ (W/mK)	Spessori (m)	$R = S/\lambda$ (m ² K/W)
	1. Piastrelle	1,20	0,01	0,008
	2. Massetto	1,4	0,05	0,036
	3. Anticalpestio in fibra di legno	0,06	0,008	0,133
	4. Sottopavimento in perlite	0,05	0,08	1,600
	5. Solaio in laterocemento	0,70	0,20	0,286
	6. Calce espansa	0,05	0,16	3,556
	7. Intonaco di calce	0,80	0,01	0,013
Somma delle singole resistenze $\Sigma_i R_i = 5,631$ m ² K/W Somma delle resistenze superficiali $\Sigma_i (1/\alpha_i) = 0,34$ m ² K/W Resistenza termica totale $R_t = \Sigma_i (1/\alpha_i) + \Sigma_i R_i = 5,971$ m ² K/W Trasmittanza $U = 1/R_t = \mathbf{0,167$ W/m ² K				

Solaio prefabbricato con EPS- Spessore 45,9 cm				
	Materiali	λ (W/mK)	Spessori (m)	$R = S/\lambda$ (m ² K/W)
	1. Pavimento parquet	0,15	0,015	0,100
	2. Anticalpestio	0,06	0,004	0,067
	3. Pannello OSB	0,15	0,02	0,133
	4. Lino e TJI	0,045	0,22	4,889
	5. Solaio pref. con EPS	0,67	0,20	0,299
Somma delle singole resistenze $\Sigma_i R_i = 5,487$ m ² K/W Somma delle resistenze superficiali $\Sigma_i (1/\alpha_i) = 0,34$ m ² K/W Resistenza termica totale $R_t = \Sigma_i (1/\alpha_i) + \Sigma_i R_i = 5,827$ m ² K/W Trasmittanza $U = 1/R_t = \mathbf{0,172$ W/m ² K				

Pavimento verso terreno con vetro alveolare- Spessore 64 cm				
	Materiali	λ (W/mK)	Spessori (m)	$R = S/\lambda$ (m ² K/W)
	1. Piastrelle	1,20	0,01	0,008
	2. Massetto	1,40	0,05	0,036
	3. Polistirene estruso	0,04	0,08	2,000
	4. Fondamenta in cemento	2,10	0,16	0,076
	5. Vetro alveolare	0,05	0,14	2,800
	6. Getto in cemento	1,80	0,20	3,556
	7. Ghiaia			0,111
Somma delle singole resistenze $\sum_i R_i = 5,031$ m ² K/W Somma delle resistenze superficiali $\sum_i (1/\alpha_i) = 0,17$ m ² K/W Resistenza termica totale $R_t = \sum_i (1/\alpha_i) + \sum_i R_i = 5,201$ m ² K/W Trasmittanza $U = 1/R_t = \mathbf{0,192}$ W/m ² K				

Parete verso terreno- Spessore 43 cm				
	Materiali	λ (W/mK)	Spessori (m)	$R = S/\lambda$ (m ² K/W)
	1. Intonaco di calce	1,20	0,01	0,008
	2. Parete in cemento armato	2,10	0,20	0,095
	3. Polistirene estruso	0,04	0,22	5,50
	4. Guaina ventilata			
	5. Laterizio di drenaggio			
	6. Ghiaia			
	Somma delle singole resistenze $\sum_i R_i = 5,604$ m ² K/W Somma delle resistenze superficiali $\sum_i (1/\alpha_i) = 0,12$ m ² K/W Resistenza termica totale $R_t = \sum_i (1/\alpha_i) + \sum_i R_i = 5,724$ m ² K/W Trasmittanza $U = 1/R_t = \mathbf{0,175}$ W/m ² K			

Tabella 16 - Esempi di pareti e solai per passivhaus - fonte TBZ

I ponti termici

I ponti termici sono quelle parti dell'involucro che, rispetto alla media, hanno una trasmittanza termica più elevata. Nella fattispecie si tratta di elementi termicamente non sufficientemente isolati, attraverso i quali il calore si disperde rapidamente. Gli elementi che solitamente costituiscono dei ponti termici sono i balconi, le gronde ed i collegamenti tra pareti e infissi. I ponti termici sono la causa principale della condensazione del vapore acqueo sulle pareti e della conseguente formazione di muffe. Al fine di risparmiare energia, rendere più salubri le

abitazioni e proteggere la struttura edilizia dal degrado, le “passivhaus” devono essere progettate senza ponti termici. Ciò significa che tutti gli elementi (pilastri e architravi in cemento armato, pareti di tamponamento, ecc) devono trovarsi all'interno dell'involucro termico e lo strato termoisolante deve mantenere ovunque lo spessore necessario. Questo non significa che i balconi, le terrazze e le gronde sono vietati, solamente devono essere elementi a sé stanti e non devono entrare in contatto con le strutture che si trovano all'interno dell'involucro termico. Tuttavia, i ponti termici non sono totalmente evitabili, punti difficili rimangono sempre i collegamenti tra pareti e fondazione e tra pareti e finestre, ma il loro effetto si può attenuare ad esempio, iniziando la muratura perimetrale usando per il primo filare blocchi di cemento alleggerito (gasbeton) o elementi speciali che possiedano una bassa trasmittanza termica e montando le finestre su elementi speciali o all'estradosso della parete, facendo in modo che l'isolamento termico copra almeno una fascia di 5 cm del telaio.



Figura 189 - Collegamento parete fondazione con blocchi in gasbeton - fonte TBZ

Con l'uscita sul mercato di alcuni prodotti specifici per l'isolamento dei ponti termici (balconi, mensole, aggetti di gronda, parapetti ecc...), il Dr. Feist ha tollerato l'introduzione nelle "passivhaus" dei ponti termici leggeri ($\psi \leq 0,025 \text{ W/mK}$). Si tratta di elementi il cui peggioramento all'involucro può essere compensato attraverso miglioramenti dei componenti opachi, a condizione che: la temperatura superficiale interna raggiunga in ogni punto i 17°C; la tenuta all'aria e al vento siano tracciati in modo chiaro e l'esecuzione dei lavori sia spiegata in modo univoco.

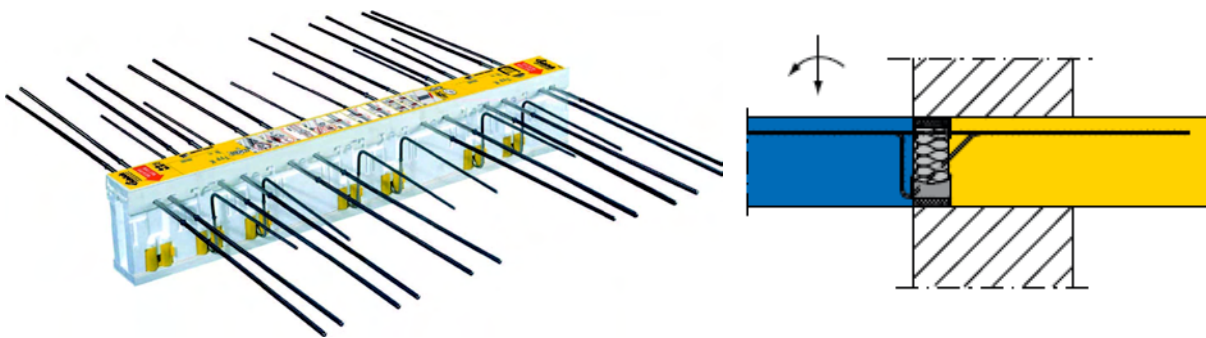


Figura 190 - Ponte termico leggero (collegamento solaio balcone) - fonte ISOPRO®

I componenti finestrati

Tutti gli edifici bioclimatici sono caratterizzati da ampie finestre sul lato sud al fine di captare in inverno il massimo degli apporti solari. Queste finestre, pur avendo vetri isolanti, hanno però un inconveniente: durante la notte e nei giorni senza sole fanno perdere più calore di quello che fanno guadagnare durante il giorno e nei giorni di sole causano spesso il surriscaldamento degli ambienti. Se il surriscaldamento si può prevenire con opportune schermature, le perdite notturne si possono rendere minime solo con l'uso di finestre speciali che hanno una trasmittanza ancora più bassa. Questo è quello che ha fatto il Dr. Feist quando ha ideato le finestre per le "passivhaus". Queste finestre hanno infatti un bilancio energetico positivo, ovvero apportano all'edificio più calore di quello che disperdono e, allo scopo di fornire il massimo del comfort negli ambienti interni, mantengono sempre una temperatura superficiale di 17°C, anche nei giorni più freddi dell'anno. Per ottenere questo risultato, le

vetrate devono avere una trasmittanza termica U inferiore a $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ e far passare più del 60% della luce incidente. Questa bassa trasmittanza si ottiene soprattutto con l'uso di vetri speciali composti da lastre di vetro termico molto trasparente e con le intercapedini riempite di un gas nobile, argon o krypton (gas che hanno una conducibilità termica inferiore all'aria).

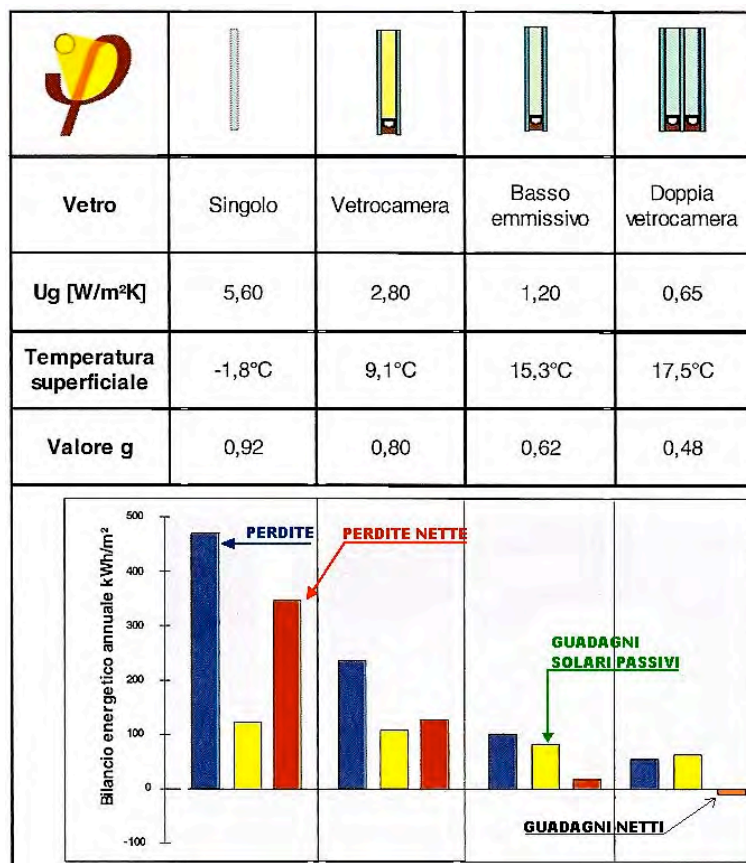


Figura 191 - Prestazioni di differenti componenti vetrati - fonte PHI

“Un buon vetro ha però bisogno di un telaio di adeguata qualità⁴⁵”, un telaio normale ha infatti una trasmittanza U compresa tra $1,5$ e $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, il doppio di quella dei vetri utilizzati nelle “passivhaus” U_g ($U_{\text{glass}} \leq 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$) e perciò troppo alta. Grazie alla collaborazione dei produttori il Dr. Feist è riuscito nell’arco di pochi anni a sviluppare telai di finestre che rispondessero al requisito da lui richiesto, ovvero una trasmittanza globale U_f ($U_{\text{frame}} \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$). Al fine di valutare in modo completo la qualità termica di una finestra bisogna considerare anche il coefficiente di trasmissione termica ψ (PSI) dei distanziatori che separano le lastre di vetro e che, volenti o nolenti, costituiscono un ponte termico. Il valore

⁴⁵ Dr. Feist 1998

U_w (U window) di una finestra per “passivhaus” è quindi dato dall’insieme dei valori U_g , U_f e ψ e valutato secondo la norma EN 10077.

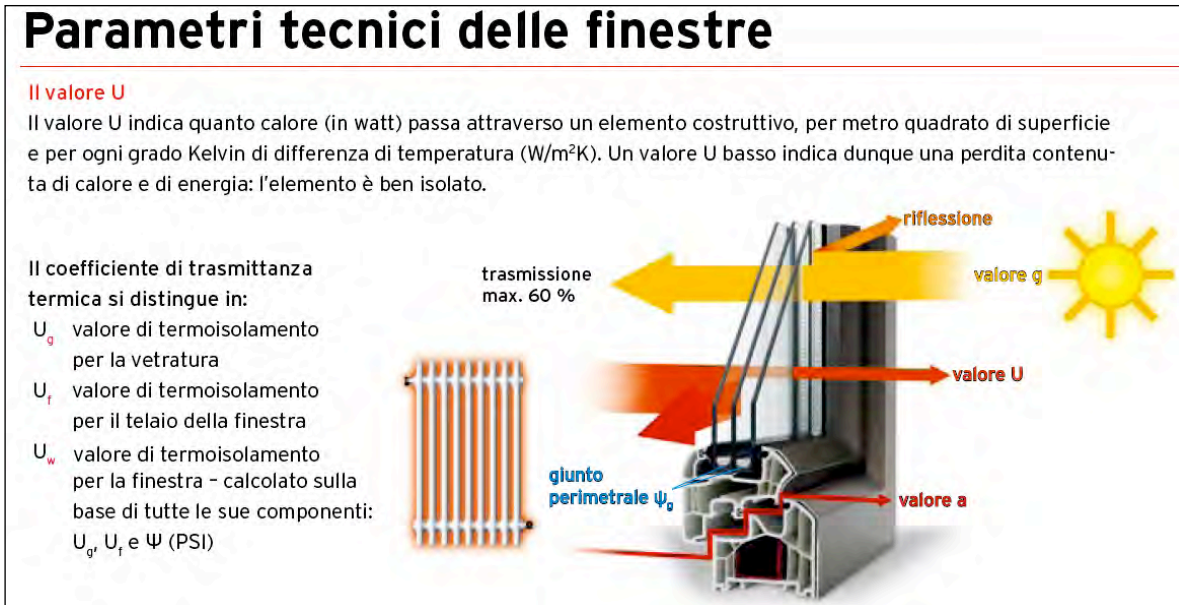


Figura 192 - *Parametri tecnici delle finestre* - fonte Internorm

Ma che succede se poi non montiamo la finestra nel modo corretto? Semplicemente un disastro, in quanto l’intero edificio disperderebbe più calore di quello che gli impianti riuscirebbero a fornire. Per evitare che ciò possa accadere il Dr. Feist a deciso di certificare “personalmente” i serramenti per le “passivhaus”, imponendo alle ditte che ne richiedono la certificazione l’obbligo di fornire le istruzioni per il corretto montaggio del serramento. Questo viene quindi testato montato su parete seguendo le indicazioni del produttore e se supera tutti i test, compreso quello della tenuta all’aria (valore a), ottiene la certificazione.



Figura 193 - *Varianti di installazione* - fonte Internorm

	<h2 style="text-align: center;">ed[it]ion 4 passiv</h2> <div style="text-align: center;">  Passivhaus zertifizierte Komponente </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Zertifikat ausgegeben am 01.09.2010</p> <p>Passivhaus geprüfte Komponente Verbundfensterrahmen Hersteller: Internorm International GmbH, A-6900 Traun Produktname: ed[it]ion 4 passiv / retro-design</p> <p>Passivhaus-Kriterien werden für die Zertifizierung des Bauteils geprüft</p> <p>Passivhaus-Berechnungsergebnisse: U_g = 0,80 ± 0,06 W/(m²K) (Anforderung: U_g ≤ 0,80 W/(m²K))</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th>Werte</th> <th>Ust. Index</th> <th>Minimale Anforderung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>U_g (m²K)</td> <td>0,80</td> <td>0,87</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>Wärmedämmung</td> <td>124</td> <td>124</td> <td>124</td> </tr> </tbody> </table> <p>Passivhaus-Eigenwärmeverlust (in der Bauteilmitte): q_{int} = 1,4 W/(m²K) ≤ 1,5 W/(m²K) (Anforderung: q_{int} ≤ 1,5 W/(m²K)) bei p = 0,1 Pa (U_g = 0,80 W/(m²K))</p> <p>Passivhaus-Eigenwärmeverlust: U_{g,ext} = 0,80 W/(m²K)</p> <p>Das Zertifikat ist wie folgt zu verwenden: PASSIV HAUS geprüfte KOMponente  Passivhaus-Kriterien / Nennleistung U_g = 0,80 W/(m²K) q_{int} = 1,40 W/(m²K) Wärmehaltereit = 144 / 114 min U_{g,ext} = 0,80 W/(m²K) q_{int} = 1,40</p> </div>	Parameter	Werte	Ust. Index	Minimale Anforderung	U _g (m ² K)	0,80	0,87	0,80	Wärmedämmung	124	124	124
Parameter	Werte	Ust. Index	Minimale Anforderung											
U _g (m ² K)	0,80	0,87	0,80											
Wärmedämmung	124	124	124											
	<h2 style="text-align: center;">ed[it]ion passiv</h2> <div style="text-align: center;">  Passivhaus zertifizierte Komponente </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Zertifikat ausgegeben am 01.09.2010</p> <p>Passivhaus geprüfte Komponente Fensterbänke Hersteller: Internorm International GmbH, A-6900 Traun Produktname: ed[it]ion passiv</p> <p>Passivhaus-Kriterien werden für die Zertifizierung des Bauteils geprüft</p> <p>Passivhaus-Berechnungsergebnisse: U_g = 0,80 ± 0,06 W/(m²K)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th>Werte</th> <th>Ust. Index</th> <th>Minimale Anforderung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>U_g (m²K)</td> <td>0,79</td> <td>0,87</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>Wärmedämmung</td> <td>116</td> <td>116</td> <td>116</td> </tr> </tbody> </table> <p>Passivhaus-Eigenwärmeverlust: U_{g,ext} = 0,80 W/(m²K)</p> <p>Das Zertifikat ist wie folgt zu verwenden: PASSIV HAUS geprüfte KOMponente  Fensterbänke: U_g = 0,79 W/(m²K) q_{int} = 0,822 W/(m²K) Breite = 714 mm</p> </div>	Parameter	Werte	Ust. Index	Minimale Anforderung	U _g (m ² K)	0,79	0,87	0,80	Wärmedämmung	116	116	116
Parameter	Werte	Ust. Index	Minimale Anforderung											
U _g (m ² K)	0,79	0,87	0,80											
Wärmedämmung	116	116	116											
	<h2 style="text-align: center;">se[le]ction</h2> <div style="text-align: center;">  Passivhaus zertifizierte Komponente </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Zertifikat ausgegeben am 01.09.2010</p> <p>Passivhaus geprüfte Komponente Fensterbank Hersteller: Internorm International GmbH, A-6900 Traun Produktname: se[le]ction</p> <p>Passivhaus-Kriterien werden für die Zertifizierung des Bauteils geprüft</p> <p>Passivhaus-Berechnungsergebnisse: U_g = 0,78 W/(m²K) < 0,80 W/(m²K)</p> <p>Wärmedämmung: U_{g,ext} = 0,78 W/(m²K) < 0,80 W/(m²K) bei p = 0,1 Pa (U_g = 0,78 W/(m²K))</p> <p>Passivhaus-Eigenwärmeverlust: U_{g,ext} = 0,78 W/(m²K)</p> <p>Das Zertifikat ist wie folgt zu verwenden: PASSIV HAUS geprüfte KOMponente  Fensterbank: U_g = 0,78 W/(m²K) q_{int} = 0,81 W/(m²K)</p> </div>												
	<h2 style="text-align: center;">ed[it]ion 4 passiv retro-design</h2> <div style="text-align: center;">  Passivhaus zertifizierte Komponente </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>Zertifikat ausgegeben am 01.09.2010</p> <p>Passivhaus geprüfte Komponente Verbundfensterrahmen Hersteller: Internorm International GmbH, A-6900 Traun Produktname: ed[it]ion 4 passiv / retro-design</p> <p>Passivhaus-Kriterien werden für die Zertifizierung des Bauteils geprüft</p> <p>Passivhaus-Berechnungsergebnisse: U_g = 0,80 ± 0,06 W/(m²K) (Anforderung: U_g ≤ 0,80 W/(m²K))</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Parameter</th> <th>Werte</th> <th>Ust. Index</th> <th>Minimale Anforderung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>U_g (m²K)</td> <td>0,80</td> <td>0,87</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>Wärmedämmung</td> <td>124</td> <td>124</td> <td>124</td> </tr> </tbody> </table> <p>Passivhaus-Eigenwärmeverlust (in der Bauteilmitte): q_{int} = 1,4 W/(m²K) ≤ 1,5 W/(m²K) (Anforderung: q_{int} ≤ 1,5 W/(m²K)) bei p = 0,1 Pa (U_g = 0,80 W/(m²K))</p> <p>Passivhaus-Eigenwärmeverlust: U_{g,ext} = 0,80 W/(m²K)</p> <p>Das Zertifikat ist wie folgt zu verwenden: PASSIV HAUS geprüfte KOMponente  Passivhaus-Kriterien / Nennleistung U_g = 0,80 W/(m²K) q_{int} = 1,40 W/(m²K) Wärmehaltereit = 144 / 114 min U_{g,ext} = 0,80 W/(m²K) q_{int} = 1,40</p> </div>	Parameter	Werte	Ust. Index	Minimale Anforderung	U _g (m ² K)	0,80	0,87	0,80	Wärmedämmung	124	124	124
Parameter	Werte	Ust. Index	Minimale Anforderung											
U _g (m ² K)	0,80	0,87	0,80											
Wärmedämmung	124	124	124											

Figura 194 - Finestre certificate - fonte Internorm

Quale finestra per l'Italia?

Per quanto riguarda la costruzione di edifici in standard “passivhaus” nei climi italiani, ci si può domandare se il tipo di finestra fin qui descritto sia veramente il più adatto. Una risposta la possiamo ricavare dal bilancio termico. Analizzando quello di un edificio localizzato a Monaco di Baviera, Trento, Firenze e Napoli, possiamo notare che i serramenti passivi sono sempre quelli più performanti, anche se a Napoli i serramenti basso emissivi riescono a procurare gli stessi apporti di calore di quelli passivi.



Figura 195 - Confronto degli apporti energetici in 4 diverse località - fonte TBZ

Gli apporti netti non sono però l'unico criterio per la scelta delle finestre, in quanto ai fini del comfort, la temperatura superficiale delle finestre non deve mai scendere di 3,5 K al di sotto della temperatura dell'aria interna. Proviamo quindi a calcolarla.

$$t_i = T_i - [0,125 \times U_g \times (T_i - T_e)]$$

dove: $(T_i - T_e)$ è la differenza tra la temperatura interna e quella esterna; 0,125 è il coefficiente di adduzione interna; U_g è il valore di trasmittanza del vetro. Ipotizzando una temperatura interna di 18°C ed una temperatura esterna di -2°C, la temperatura superficiale di una finestra

con un valore di trasmittanza $U_w = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ è di $14,5^\circ\text{C}$. Quindi la differenza di temperatura è proprio di 3,5 K. Solo però la realizzazione dei primi edifici ci potrà dire se queste finestre sono o no le più adatte per i climi del sud Italia.

La tenuta all'aria

Un edificio, pur dotato di un elevato isolamento termico, disperde circa il 20 % del calore attraverso giunti e fessure. Per eliminare queste inutili dispersioni lo standard “passivhaus” richiede che i suoi edifici abbiano una tenuta all'aria molto alta. Questa tenuta viene accertata mediante uno speciale test, detto Blower Door⁴⁶ (norma UNI EN 13829). Con il test si misura il ricambio d'aria per infiltrazione con una differenza di pressione di 50 Pa (Pascal), ed il numero di ricambi d'aria in queste condizioni deve essere inferiore a 0,6/h. Il test viene eseguito installando un ventilatore sulla porta d'ingresso o su una finestra, mentre tutte le altre aperture sono ermeticamente chiuse. Il ventilatore espelle l'aria all'esterno fino ad arrivare alla differenza di pressione prescelta, poi con un flussometro viene misurato il volume dell'aria che affluisce attraverso l'involucro.



Figura 196 - Blower Door test - fonte TBZ

⁴⁶ Letteralmente ventilatore sulla porta.

9.4 Gli impianti

Il principio di funzionamento dell'impianto di ventilazione di una "passivhaus", ipotizzando una fredda giornata d'inverno con temperatura esterna di -3°C , può essere così schematizzato:

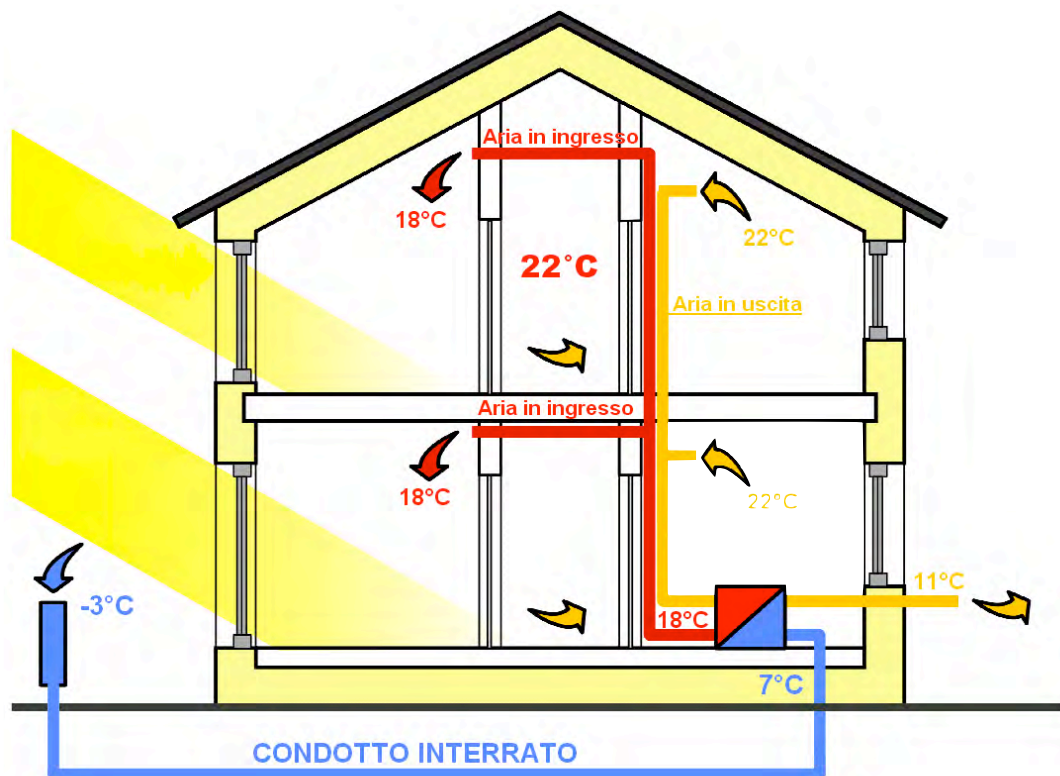


Figura 197 - Funzionamento di una "passivhaus"

- Un condotto interrato preriscalda l'aria esterna da -3°C a 7°C ;
- Lo scambiatore di calore scalda l'aria da 7°C a 18°C ;
- Il sistema di ventilazione distribuisce l'aria calda (18°C) nell'edificio;
- Gli apporti di calore interni (persone ed elettrodomestici) più gli apporti di calore forniti dal sole forniscono l'energia necessaria per scaldare l'aria da 18°C a 22°C ;
- Il sistema di ventilazione estrae l'aria viziata dall'edificio (22°C) e la manda allo scambiatore di calore.
- Lo scambiatore di calore estrae il calore dall'aria in uscita (che passa da 22°C a 11°C) e lo trasferisce a quello in entrata;
- L'aria raffreddata (11°C) viene espulsa all'esterno.

Il riscaldamento dell'aria con il solo recupero di calore dal terreno e dall'aria viziata non sempre è sufficiente, bisogna tutelarsi con impianti di riscaldamento integrativi che entrino in funzione quando necessario. Nell'edificio di Darmstadt, ad esempio, furono utilizzati dei piccoli termosifoni alimentati da una caldaia a gas. Non esiste un vincolo alla tipologia dell'impianto da utilizzare, anche se l'esiguità del fabbisogno energetico comporta una scelta che tenga conto della rapida reazione dell'edificio agli apporti di calore gratuiti. Occorre quindi un impianto di riscaldamento caratterizzato da terminali dotati da bassa inerzia termica, in grado di adattarsi rapidamente alle necessità dell'edificio. Tra tutti il più semplice ed economico è quello formato da una batteria di post-riscaldamento dell'aria in uscita dallo scambiatore di calore. La necessità di dover comunque scaldare l'acqua ad uso domestico e la bassa potenza richiesta all'impianto, ha portato alla diffusione di un sistema formato da uno scambiatore di calore affiancato ad una pompa di calore. Questa estrae il calore dal condotto di espulsione dell'aria viziata (11°C) e lo immette al condotto dell'aria in ingresso (portando l'aria da 18°C a 22°C), il calore estratto è addirittura sufficiente a scaldare l'acqua per l'uso domestico. Nel caso questo non bastasse, si interviene collegando il serbatoio dell'acqua calda a dei collettori solari piani o a tubi sottovuoto.

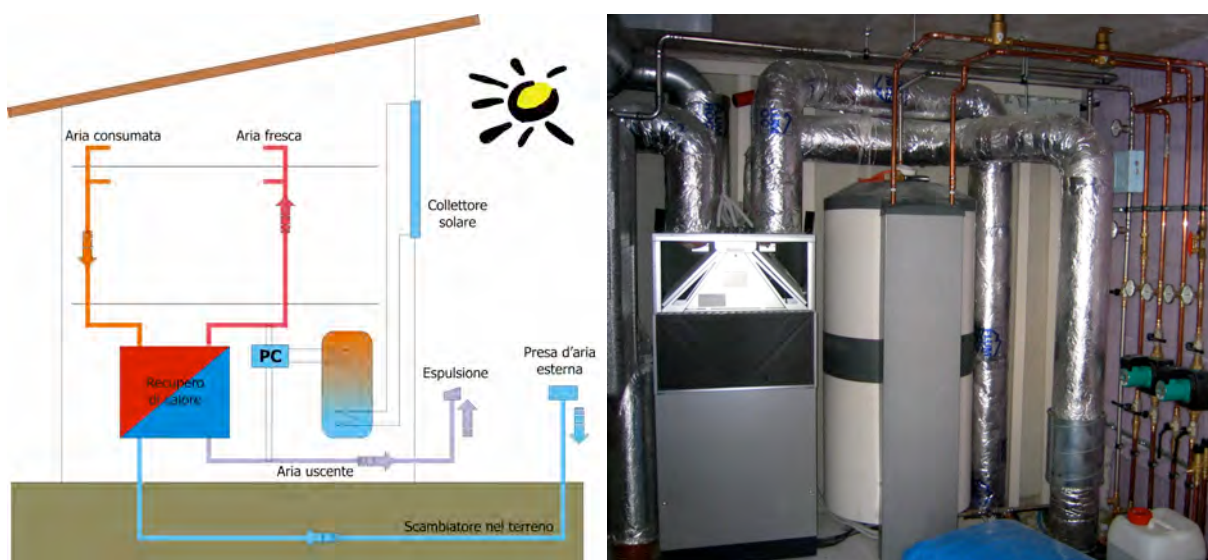


Figura 198 - *Impianto tipo con recupero di calore e pompa di calore* - fonte PHI

Lo stesso sistema impiantistico è in grado di provvedere al raffrescamento estivo. Con il sistema base, si utilizza il condotto interrato per raffrescare l'aria, che una volta giunta in prossimità dello scambiatore di calore, viene dirottata da un by pass direttamente nel condotto dell'aria in ingresso e distribuita negli ambienti. Nella eventualità che questo non bastasse, si provvede ad un ulteriore raffreddamento dell'aria attraverso un impianto tradizionale.

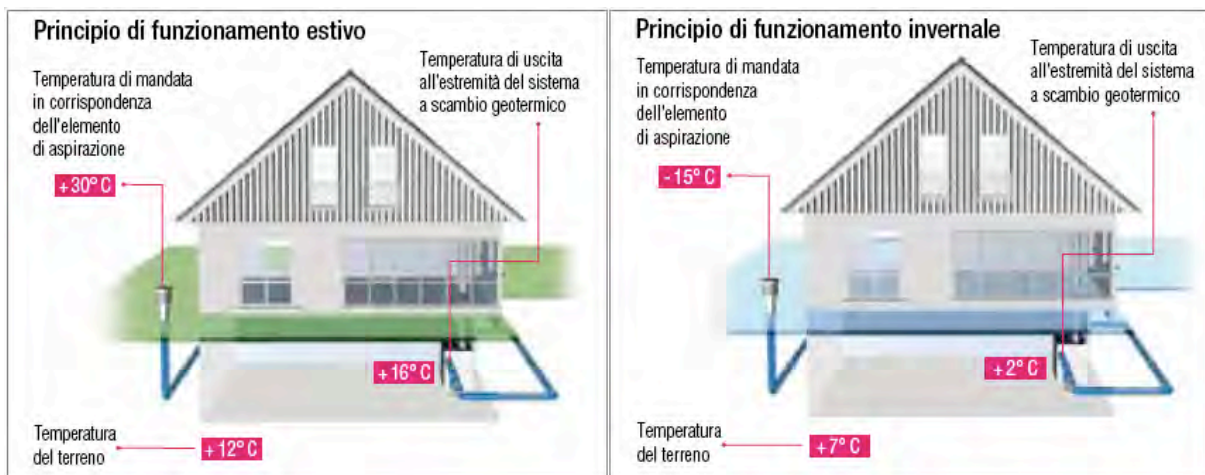


Figura 199 - Funzionamento estivo ed invernale del condotto interrato - fonte REHAU

Se invece viene utilizzato un impianto formato da scambiatore e pompa di calore, si provvede ad un primo raffrescamento col condotto interrato e ad un eventuale post raffreddamento con la pompa di calore (che in questo caso estrae il calore dal condotto dell'aria in ingresso e lo immette al condotto di espulsione dell'aria viziata).

Gli aggregati compatti

Proprio per le “passivhaus”, l'istituto Fraunhofer per l'energia solare (ISE) e l'industria tedesca hanno sviluppato una apparecchiatura capace di espletare tutte le funzioni prima menzionate (riscaldamento, raffrescamento, acqua calda e ventilazione). Si tratta di un macchinario delle dimensioni di un normale frigorifero che contiene al suo interno uno scambiatore di calore, una pompa di calore reversibile ed un serbatoio per l'acqua calda (che volendo può essere collegato ad un collettore solare). In pratica si tratta del sistema formato da scambiatore e pompa di calore riuniti in un unico macchinario (un po' come le stampanti

multifunzione che racchiudono in un'unica macchina la fotocopiatrice, lo scanner e la stampante).



Figura 200 - *Aggregati compatti Aerosmart* - fonte Ruedl

La distribuzione delle bocchette

Le bocchette dell'aria sono disposte come nell'edilizia tradizionale, le mandate sono collocate nei locali nobili, camere da letto e studi, e le riprese sono posizionate nei locali a più alto tasso di inquinamento, quali bagni e cucine. Poiché la mandata e la ripresa sono effettuate in locali diversi, al fine di consentire il passaggio dell'aria è necessario provvedere a fessure sotto le porte o ad appositi condotti di collegamento silenziati. Parziale deroga è rappresentata dalla possibilità di avere mandate anche nei locali bagno e cucina, a condizione che sia garantito il rispetto della sovrappressione nei locali nobili.



Figura 201 - *Bocchette d'areazione* - fonte Zehnder

Impianto elettrico ed elettrodomestici

L'impianto elettrico di una "passivhaus" è del tutto identico a quello di un edificio tradizionale, ad eccezione forse dei cavi che attraversano l'involucro, che nelle passivhaus devono essere sigillati per garantire la tenuta all'aria. Lo standard prevede però un limite di 120 kWh/m²a ai consumi energetici totali, che obbliga l'utente finale all'utilizzo di lampade ed elettrodomestici a risparmio energetico (per intenderci quelli certificati in classe A).

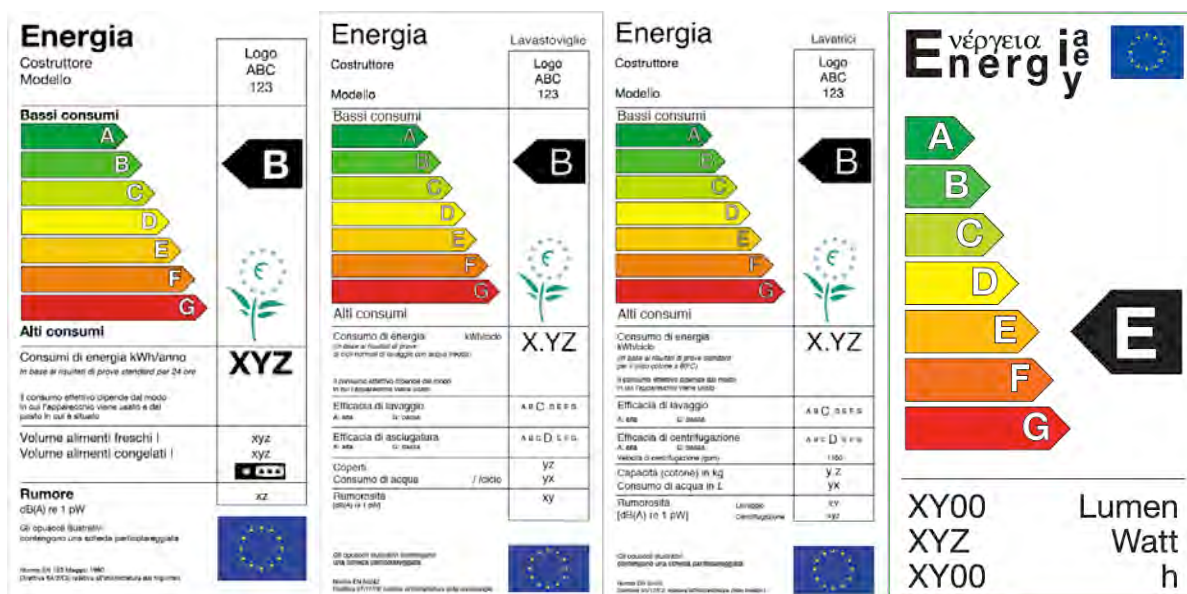


Figura 202 - Etichette energetiche (da sinistra) di frigoriferi, lavastoviglie, lavatrici e lampade - fonte Enea

La tenuta all'aria molto alta di questi edifici obbliga ad un altro cambiamento, la sostituzione del tradizionale piano di cottura a gas con il piano di cottura ad induzione. Difatti, l'obbligo di aerare il locale cucina porterebbe ad un inaccettabile dispersione di calore, cosa che nelle "passivhaus" non è ammessa.



Figura 203 - Piano di cottura tradizionale e ad induzione - fonte electrolux

9.5 Il PHPP come strumento di progetto

Lo strumento più importante per la progettazione delle “passivhaus” è il software PHPP, il suo diagramma di flusso per l’inserimento dei dati permette al progettista di affrontare nella giusta logica e passo dopo passo tutti gli aspetti relativi alla progettazione, compresa quella dell’impianto di ventilazione, che viene eseguita direttamente con il PHPP.

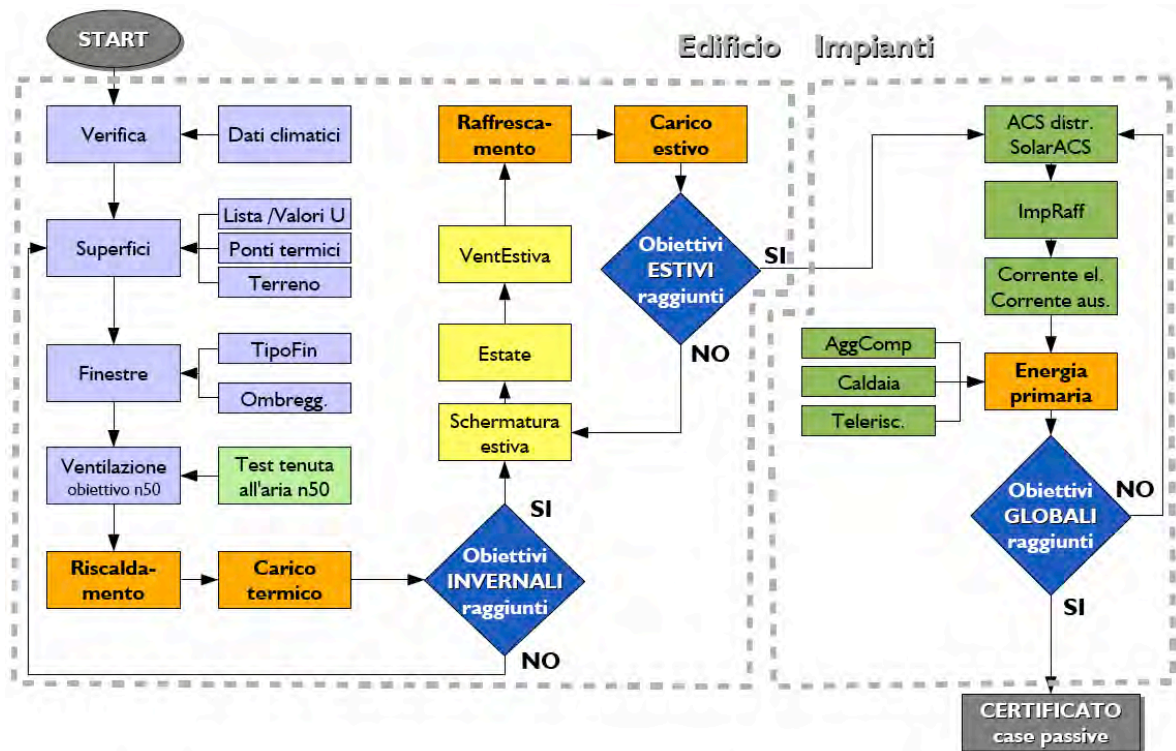


Figura 204 - Diagramma di flusso del PHPP - fonte TBZ

Il software, attraverso la redazione dei bilanci energetici (annuali o mensili), simula il comportamento termodinamico dell’edificio, dando al progettista le informazioni necessarie per dimensionare, ad esempio, gli impianti, le aperture, le schermature e l’involucro isolante,

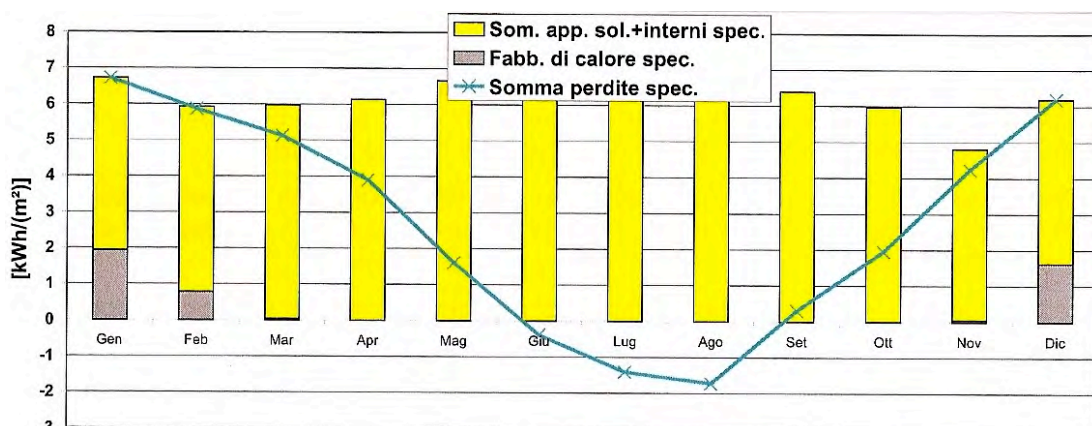


Figura 205 - Bilancio energetico per il calcolo del fabbisogno di riscaldamento - fonte TBZ

nonché i fabbisogni ed i consumi finali dell'edificio che si andrà a costruire.

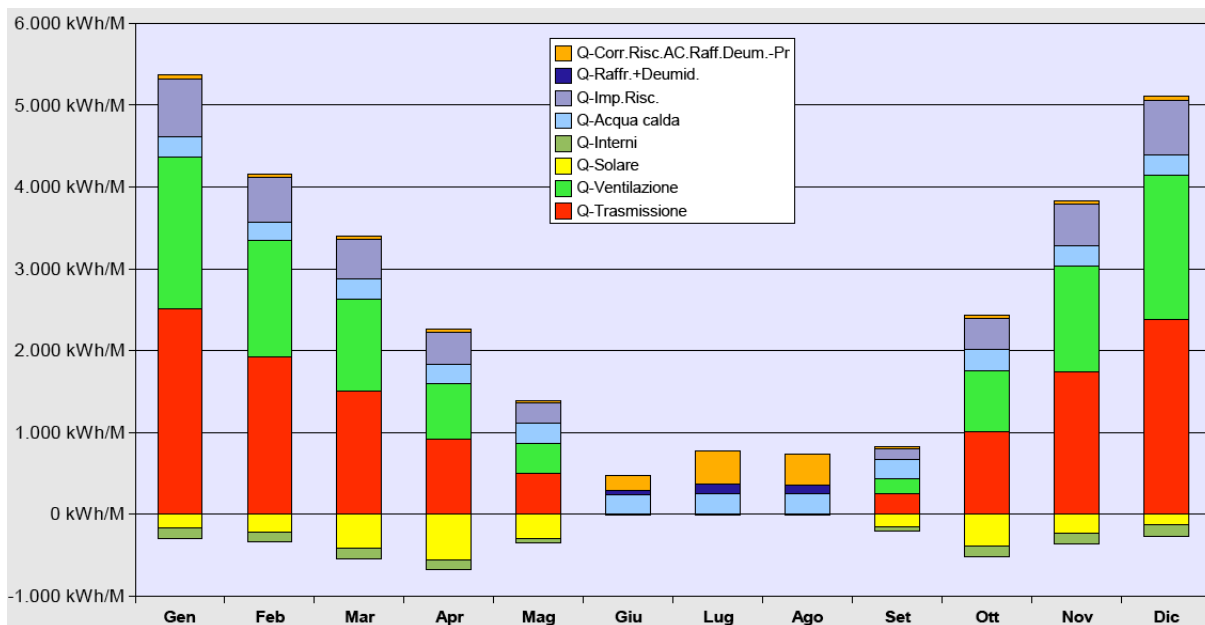


Figura 206 - Bilancio energetico mensile - fonte TBZ

Oltre al PHPP è consigliabile l'utilizzo dei seguenti due software:

- Meteonorm, per la simulazione dei dati climatici e del diagramma solare;
- Heat, per il calcolo dei ponti termici "leggeri";

da integrare con i seguenti se si desidera eseguire un'analisi completa dell'edificio.

- Daemmwerk, per il calcolo termodinamico degli elementi costruttivi;
- Disegno Involucro, per la definizione dell'involucro termico;
- Ecotect, per la simulazione degli ombreggiamenti;
- DYNBIL, per la simulazione dinamica degli edifici complessi.

9.6 I controlli e la certificazione

Lo standard "passivhaus" è raggiunto se tutti i seguenti parametri sono rispettati:

- Un fabbisogno di energia utile per riscaldamento e raffrescamento $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$;
- Un fabbisogno di energia primaria (riscaldamento, raffrescamento, acqua calda e corrente elettrica) $\leq 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$;

- Un involucro a tenuta all'aria con valore verificato al test di pressurizzazione (a 50 Pa e condotto secondo la EN 13829) non superiore ai 0,6/h;
- Un numero massimo di 36 giorni con temperatura interna estiva maggiore della temperatura di riferimento (26°C).
- L'ottenimento dei requisiti attraverso il software PHPP.

Raggiungere questi valori “sulla carta” non è però sufficiente per avere la certificazione dal Passivhausinstitut di Darmstadt, in quanto l'edificio deve essere testato dal vivo, per verificare che possieda realmente le caratteristiche richieste. Le verifiche vengono svolte con i seguenti test: il test di tenuta all'aria; il test sul bilanciamento dell'impianto di ventilazione ed il controllo con la camera ad infrarossi (per verificare la presenza di eventuali ponti termici).

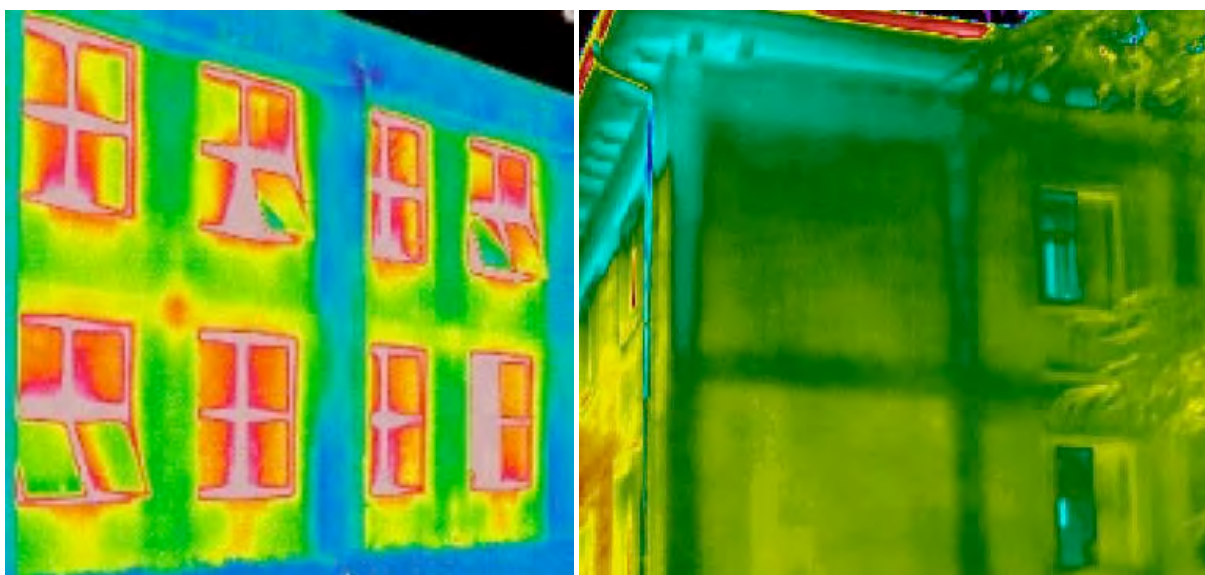


Figura 207 - *Analisi termografica di un edificio* - fonte TBZ

Per venire incontro a committenti e costruttori, il test viene svolto due volte. La prima volta con l'edificio al grezzo verificando i ponti termici e la tenuta all'aria, permettendo così al progettista di intervenire sui punti deboli dell'edificio. La seconda volta ad edificio ultimato, dopo almeno tre settimane di permanenza degli abitanti. Nel test vengono ripetuti l'analisi termografica e la tenuta all'aria e viene effettuato il bilanciamento dell'impianto di ventilazione. L'esperienza ha infatti dimostrato che l'80% degli impianti di ventilazione non è mai bilanciato nel modo corretto, con la conseguente formazione di zone in pressione e zone

in depressione che non permettono un corretto ricambio dell'aria. La presenza degli abitanti permette inoltre di eliminare tutti i problemi di discomfort dovuti ai rumori dell'impianto⁴⁷.

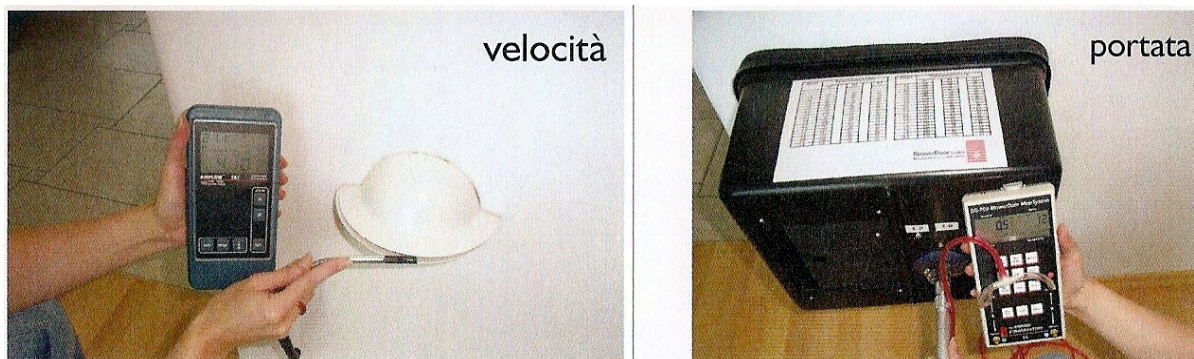


Figura 208 - Bilanciamento dell'impianto di ventilazione - fonte TBZ

Se l'edificio supera positivamente tutti i test ottiene dal Passivhausinstitut di Darmstadt il certificato di "passivhaus".

9.7 I principi della bioclimatica e le "passivhaus"

Come sappiamo, le "passivhaus" sono una diretta evoluzione degli edifici bioclimatici, ma i fattori da considerare nella progettazione di un edificio bioclimatico (le condizioni climatiche locali, l'orientamento dell'edificio, il rapporto superficie/volume e la disposizione dei locali) devono essere presi in considerazione quando si progetta una "passivhaus"? In linea generale si può dire di sì, anche se in maniera meno rilevante.

Le condizioni climatiche locali: volendo risparmiare energia, un edificio deve essere sempre progettato in rapporto alle condizioni climatiche del luogo. Questo principio vale per tutti gli edifici bioclimatici, comprese le "passivhaus", anche se l'involucro fortemente coibentato ed impermeabile all'aria rendono questi ultimi immuni all'influenza dei venti freddi, che incidono sul loro fabbisogno termico meno del 1%.

L'orientamento dell'edificio: l'orientamento verso sud è il migliore per gli edifici che vogliono ricevere calore dal sole e questo vale anche per le "passivhaus". L'impossibilità di

⁴⁷ Un impianto di ventilazione progettato e realizzato nel modo corretto elimina tutti i rumori e le correnti d'aria, facendo dimenticare agli utenti l'esistenza stessa dell'impianto.

orientare correttamente l'edificio non pregiudica però la realizzazione di questi edifici. Ci sono infatti diversi esempi in questo standard con un differente orientamento (a Kassel in Germania, sono stati costruiti due palazzi residenziali che si sviluppano in asse nord sud e ricevono sole dai lati est ed ovest).

Il rapporto superficie/volume: un fattore importante per il fabbisogno energetico è la forma dell'edificio, tanto più l'edificio è compatto tanto minori saranno le dispersioni di calore attraverso l'involucro. Il Dr. Feist non ha imposto un limite all'indice di compattezza, lasciando a committenti e progettisti piena libertà di espressione. Il rispetto dei rigidi requisiti previsti implicherà però la compensazione delle maggiori dispersioni con una maggiore quantità di isolante, cosa che inciderà non poco sul costo finale dell'edificio.

La disposizione dei locali: negli edifici bioclimatici si è dimostrata molto utile la suddivisione degli alloggi in differenti zone termiche disponendo i locali più riscaldati (soggiorno, stanze da letto) sul lato sud e quelli meno riscaldati sul lato nord (bagni, locali di servizio), dove assumono la funzione di "cuscinetti termici". Nelle "passivhaus" la funzione di "cuscinetto" è poco rilevante in quanto il forte isolamento termico impedisce il raffreddamento della parete e dei locali sul lato nord ed il sistema di ventilazione meccanica distribuisce l'aria, e con questa il calore, pressoché uniformemente in tutta l'abitazione.

LO STANDARD CASACLIMA

10.1 La storia

La Provincia autonoma di Bolzano, dando voce ad una cultura locale ecologista per tradizione, nel 1992 aderisce all'Alleanza per il clima⁴⁸, un patto per la protezione del clima tra città e comuni europei ed i popoli indigeni dell'Amazzonia. Per rispettare questo patto, la provincia altoatesina dà vita a diversi progetti per la difesa dell'ambiente: Insieme per il clima; Passi per il clima; Clima e scuola e Aziende per il clima. Nel 2000, il direttore dell'Ufficio aria e rumore della Provincia autonoma di Bolzano Dott. Norbert Lantschner,



Fig. 209 - Norbert Lantschner

viene a conoscenza delle “passivhaus” ed inizia ad elaborare un progetto per la loro diffusione. L'idea era quella di trasformare questi edifici da eccezione a regola. Si rese conto, infatti, che per ridurre drasticamente le emissioni di anidride carbonica nell'atmosfera bisognava affermare sul mercato la nuova tipologia di edifici ad alta efficienza energetica e sostenibilità ambientale e

per farlo bisognava trasferire le conoscenze e le competenze necessarie negli studi di progettazione e nei cantieri, e soprattutto bisognava coinvolgere l'utente finale, che doveva diventare parte attiva nella salvaguardia dell'ambiente. Il problema era, come fare? Come trasmettere ai normali cittadini il significato di termini come U , R , o λ ? Pensando al fatto che chiunque acquista un automobile può conoscerne il consumo di carburante, decise di classificare energeticamente gli edifici esprimendo l'indice in quantità di combustibile utilizzato: classe A = 30 kWh (o 3 litri di gasolio o 3 m³ di gas) al m² all'anno; classe B = 50 kWh (o 5 litri di gasolio o 5 m³ di gas) al m² all'anno; ecc... e di rappresentarne l'efficienza utilizzando una grafica già familiare alle persone, quella per la classificazione energetica degli

⁴⁸ L'Alleanza per il Clima è un'associazione di Comuni ed Enti territoriali europei, che si è impegnata in una partnership con i popoli indigeni delle foreste pluviali con l'obiettivo comune di salvaguardare il clima globale.

elettrodomestici. In questo modo all'utente finale non rimane altro da fare che scegliere la propria classe energetica lasciando ai professionisti e alle imprese l'onere di realizzarlo.

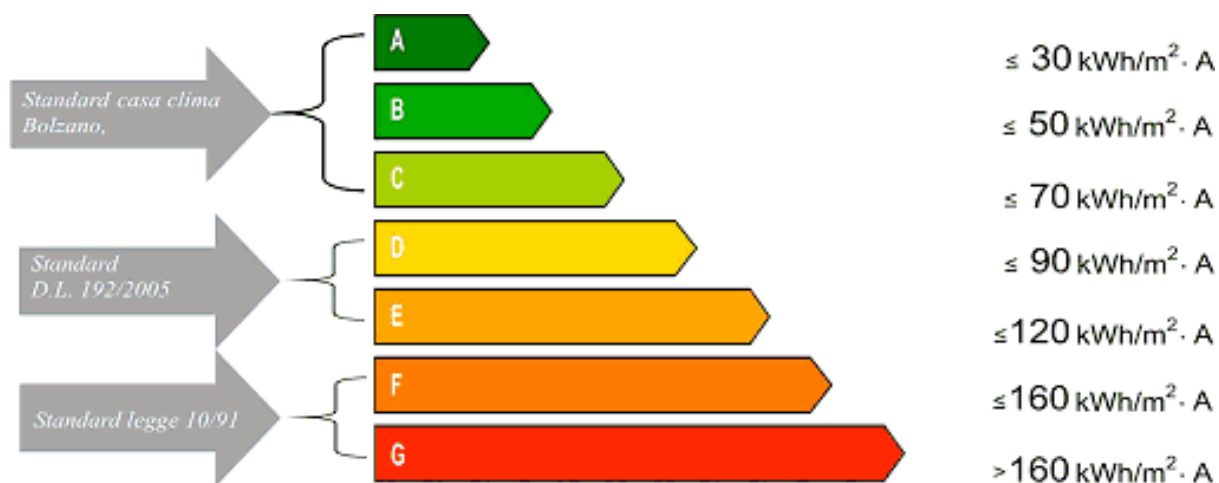


Figura 210 - Classificazione energetica degli edifici - fonte CasaClima

Il progetto viene presentato nel febbraio 2002 a Bolzano, nell'ambito di un convegno con il nome di "CasaClima" (Casa per il clima) e prevede tre distinte classi energetiche: la CasaClima Oro (o da 1 litro); la CasaClima A (o da 3 litri) e la CasaClima B (o da 5 litri); con l'aggiunta del *più* (CasaClima Oro^{più}, CasaClima A^{più} e CasaClima B^{più}) per gli edifici rispettosi dell'ambiente (in questa fase si puntava soprattutto sull'adesione volontaria dei costruttori, ponendo un forte accento su trasparenza e comunicazione). Nel 2003 si realizzano i primi edifici ed il progetto prende piede tra cittadini e costruttori (nel maggio 2003 viene istituito il primo concorso CasaClima). Nel settembre 2004 il Presidente della Provincia autonoma di Bolzano Luis Durnwalder rende la classe energetica da 70 kWh/m²a (classe energetica C) obbligatoria per i nuovi edifici su tutto il territorio della provincia, dando di fatto il via al successo ed alla diffusione del progetto. Nel gennaio 2006 la Fiera di Bolzano organizza la prima fiera Klimahouse (fiera dedicata agli edifici CasaClima) e nel maggio dello stesso anno viene fondata l'agenzia CasaClima, con presidente Norbert Lantschner, che si sostituisce all'Ufficio aria e rumore nella certificazione degli edifici (ormai realizzati anche al di fuori della Provincia autonoma di Bolzano). Nel gennaio 2008, in ottemperanza alle disposizioni della direttiva europea in materia di certificazione energetica degli edifici, il

certificato CasaClima diventa certificato energetico, introducendo oltre alla classificazione energetica dell'involucro, l'efficienza complessiva dell'edificio (sistema edificio impianto con indicazione delle emissioni di CO₂).

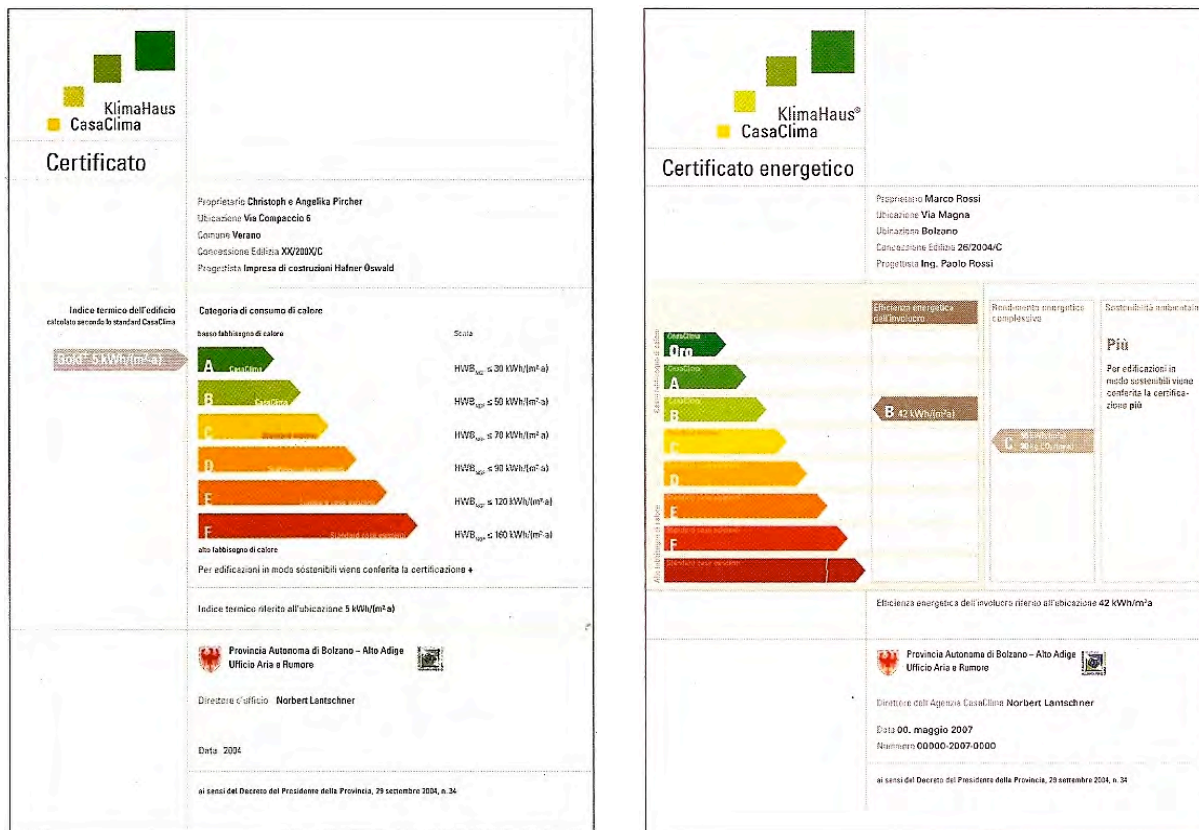


Figura 211 - *Certificato energetico 2006 e 2008 a confronto* - fonte CasaClima

10.2 La classificazione ed il calcolo dell'efficienza energetica

Lo standard CasaClima classifica gli edifici in tre classi, in base all'efficienza energetica dell'involucro (o fabbisogno di energia utile per il riscaldamento), che deve essere inferiore ai 50 kWh/m²a per le CasaClima B, ai 30 kWh/m²a per le CasaClima A ed ai 10 kWh/m²a per le CasaClima Oro (valori calcolati con il software ProCasaClima). La filosofia di CasaClima è quella di puntare alla massima efficienza dell'involucro termico (attraverso un ottimo isolamento) e alla copertura del fabbisogno di riscaldamento restante attraverso un impianto calibrato e dimensionato in modo adeguato, alimentato preferibilmente con fonti rinnovabili di energia. In pratica lo standard "invita" l'utente al raggiungimento di un ottimo bilancio

energetico, cosa che si ottiene solamente minimizzando le perdite di calore e sfruttando al massimo i guadagni solari passivi ed i contributi interni di calore.

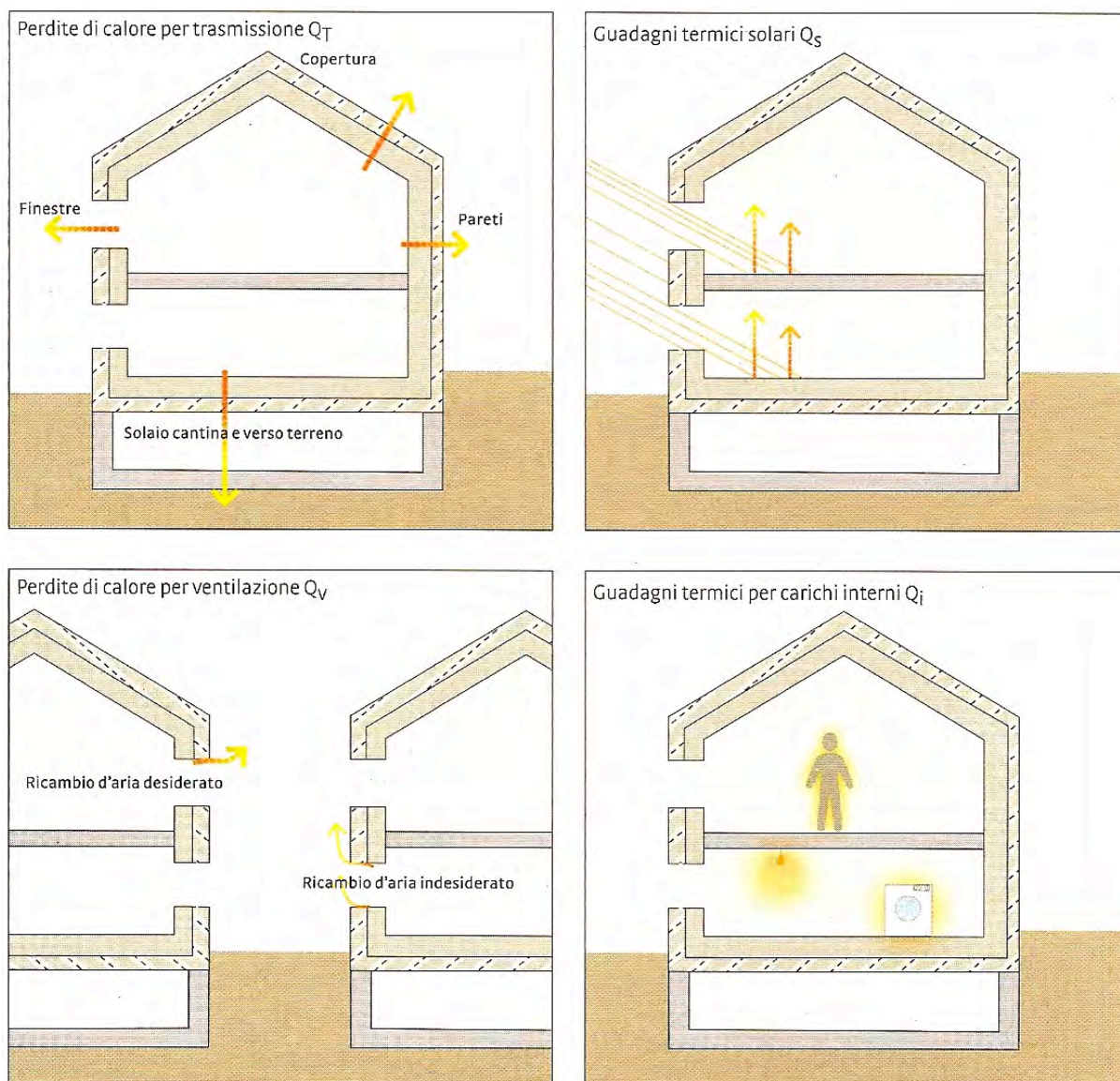


Figura 212 - Bilancio energetico - fonte CasaClima

Il calcolo dell'efficienza energetica viene effettuato tenendo conto dei seguenti parametri:

- I dati climatici della provincia in cui l'edificio viene costruito;
- Le perdite di calore per ventilazione e trasmissione;
- I guadagni termici per carichi interni;
- I guadagni termici solari;
- Il grado di utilizzazione;
- La superficie da scaldare, il volume lordo riscaldato ed il volume netto ventilato.

Dati climatici: per assegnare ad un edificio una certa categoria di efficienza energetica è necessario tenere in considerazione i dati climatici del luogo in cui viene costruito. Il software ProCasaClima utilizza i dati climatici del capoluogo di provincia in cui l'edificio è collocato⁴⁹. Per fare un esempio, se decido di calcolare l'efficienza energetica di un edificio nel Comune di Vigevano, in Provincia di Pavia, il software ai fini della classificazione utilizzerà i dati climatici di Pavia, se decido di calcolare l'efficienza energetica di un edificio nel Comune di Appiano, in Provincia di Bolzano, il software utilizzerà i dati climatici di Bolzano. Il motivo di questa scelta è da ricercare in un "errore di gioventù" dello standard CasaClima, che per creare una sorta di "competizione" tra gli abitanti della provincia autonoma ha optato per una lotta ad armi pari e per non penalizzare gli abitanti residenti nei comuni dalle temperature più rigide, ha uniformato il calcolo alla città di Bolzano. Il programma è comunque in grado di utilizzare i dati climatici del comune in cui si trova l'edificio (cosa che fa in ottemperanza alla direttiva 2002/91/CE per il calcolo dell'energia primaria), ma i valori calcolati non potranno essere utilizzati per la classificazione CasaClima.

Perdite di calore per ventilazione: il ricambio d'aria è fissato dal programma in 0,5 ricambi all'ora. Nel caso vi sia installato un impianto di ventilazione forzata con recupero di calore, si calcola comunque una ventilazione naturale minima di 0,1/h per la quale non si considera il recupero di calore (dovuto all'ingresso di aria fresca attraverso le fessure e all'ingresso dell'aria all'apertura di porte e finestre). Ad esempio: se l'impianto di ventilazione assicura un ricambio d'aria di 0,3/h viene calcolata una ventilazione naturale pari a 0,2/h, ovvero pari alla differenza tra 0,3 e 0,5. *Le perdite di calore per trasmissione* vengono invece calcolate con l'inserimento delle finestre, delle stratigrafie dell'involucro opaco e dei ponti termici lineari.

Guadagni termici solari: nel calcolo vengono presi in considerazione i quattro punti cardinali (le superfici a sud, est, ovest e nord) e le superfici orizzontali. Ai guadagni termici solari viene

⁴⁹ Se esiste una differenza di 500 o più gradi giorno tra il comune in cui è collocato l'edificio ed il capoluogo di provincia, si utilizzano i dati climatici del comune.

applicato un fattore di riduzione di 0,9 per le finestre non ombreggiate (riduzioni dovute allo sporco sulle vetrate ed alla parte dei raggi solari che non entrano perpendicolarmente) ed un fattore di 0,6 per le finestre ombreggiate (nel calcolo si considera solo l'ombreggiamento causato dalle strutture dell'edificio).

Guadagni termici per carichi interni: la densità media del flusso di calore è stata forfettariamente fissata dall'agenzia CasaClima in 3.5 W/m² per gli edifici ad uso abitativo ed in 4,5 W/m² per quelli destinati ad uffici.

Grado di utilizzazione: CasaClima non definisce un particolare stile architettonico o una tipologia costruttiva, pertanto il programma suddivide gli edifici in costruzioni pesanti (ad es. in calcestruzzo), medie (costruzioni in laterocemento o con pannelli di legno massiccio) e leggere (in legno con scheletro portante e costruzioni con isolamento interno). Ai fini del calcolo dei guadagni termici interni (dovuti alla capacità dei materiali di accumulare calore) si considera che le costruzioni pesanti abbiano un grado di utilizzazione pari al 100%, le medie del 98% e le leggere del 90%. Un'ulteriore riduzione viene calcolata secondo la norma EN832 e riguarda il rapporto guadagni/perdite di calore. Si deve infatti considerare che un edificio con poche perdite di calore è in grado di sfruttare solo una parte dei guadagni termici interni. Questo dipende dal fatto che l'accumulo di calore ed il conseguente aumento di temperatura può essere tollerato solo fino ad un certo punto.

Superficie da scaldare: la superficie da utilizzare per il calcolo è la superficie netta dei piani riscaldati. Vengono quindi presi in considerazione i ripostigli, i vani scala e tutti gli altri ambienti che si trovano all'interno dell'involucro isolato. Il *volume lordo riscaldato* (espresso in m³) è definito dalle superficie esterne dell'involucro riscaldato⁵⁰, mentre il *volume netto ventilato* (utilizzato per il calcolo delle perdite di calore per ventilazione) è definito dal volume degli ambienti abitabili (sono quindi esclusi i sottotetti e i vani non abitabili).

⁵⁰ Per la corretta definizione di bordo esterno va consultata la direttiva tecnica CasaClima.

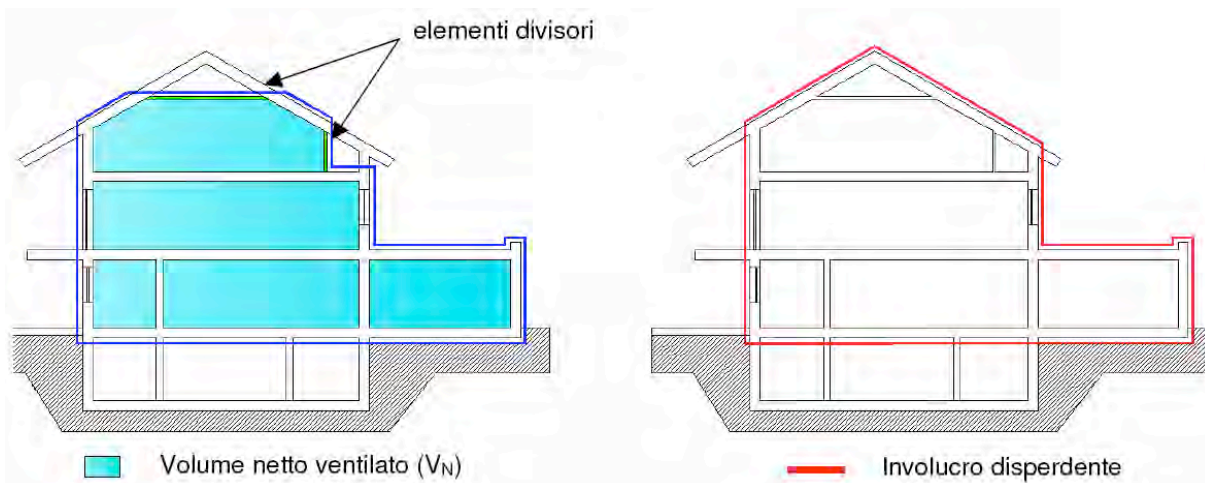


Figura 213 - Volume netto ventilato e involucro termico - fonte CasaClima

10.3 L'involucro

L'agenzia CasaClima, attraverso un'analisi svolta sugli edifici realizzati e certificati in tutto il nord Italia ha redatto una tabella con i valori di trasmittanza tipici di questi edifici, da utilizzare come base di partenza per la progettazione degli edifici in standard CasaClima.

	CasaClima Oro ($U=W/m^2K$)	CasaClima A ($U=W/m^2K$)	CasaClima B ($U=W/m^2K$)
Pareti esterne	0,1 - 0,15	0,1 - 0,2	0,15 - 0,25
Tetto	0,1 - 0,15	0,1 - 0,2	0,15 - 0,25
Solaio verso cantina o terreno	0,1 - 0,15	0,15 - 0,25	0,25 - 0,35
Finestra (U_w)	$\leq 0,8$	$\leq 1,2$	$\leq 1,5$
Vetro (U_g)	$\leq 0,7$	$\leq 1,1$	$\leq 1,3$
Telaio (U_f)	$\leq 0,8$	$\leq 1,2$	$\leq 1,5$

Tabella 17 - Valori U indicativi per lo standard CasaClima - fonte CasaClima

Nel programma di calcolo ProCasaClima può essere inserito il valore di trasmittanza della finestra U_w esclusivamente nel caso in cui la finestra sia stata certificata secondo la EN ISO 12567-1 o 12567-2 ("Isolamento termico di finestre e di porte - Determinazione della trasmittanza termica con il metodo della camera calda"). In caso contrario va inserito sia il valore di trasmittanza del vetro U_g che il valore di trasmittanza del telaio U_f .

Le prestazioni estive dell'involucro

Il software ProCasaClima non calcola il comportamento estivo dell'involucro, ma lo standard prevede comunque l'obbligatorietà di alcuni accorgimenti di carattere passivo per limitare il fabbisogno energetico dovuto alla climatizzazione estiva. Per ottenere la certificazione è infatti necessario documentare l'efficacia dei sistemi schermanti che obbligatoriamente devono ridurre di almeno il 70% l'irradiazione solare diretta sulle superfici trasparenti. Per gli elementi esterni opachi esposti ad irraggiamento solare si richiede uno sfasamento dell'onda termica di almeno 10 ore e il non superamento del valore di $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ della trasmittanza termica periodica (calcolo secondo le norme vigenti).

La tenuta all'aria

Per limitare le perdite di calore dovute alla ventilazione l'agenzia CasaClima consiglia di effettuare il Blower Door Test su tutti gli edifici. Questo test è comunque obbligatorio per tutti gli edifici in cui è presente un sistema di ventilazione controllata con recupero di calore (indipendentemente dalla classe energetica e dalla tipologia costruttiva) e per le case con struttura in legno o "a secco" che aspirano alla certificazione CasaClima. Lo standard prevede i seguenti valori di tenuta all'aria (n50):

- CasaClima B $\leq 2/h$;
- CasaClima A $\leq 1/h$;
- CasaClima Oro $\leq 0,6/h$;

Il Blower-Door Test va effettuato secondo il metodo A della UNI EN 13829 (prova di edificio in uso). Il non superamento del test comporta un non soddisfacimento dei presupposti di qualità costruttiva definiti da CasaClima (quindi il non ottenimento della certificazione) e se in presenza di ventilazione meccanica controllata, il recupero di calore dalla ventilazione meccanica non verrà preso in considerazione nel calcolo del fabbisogno energetico.

I ponti termici

La certificazione CasaClima punta non solo all'efficienza energetica dell'involucro ma anche, e soprattutto, ad una qualità costruttiva che garantisca un buon livello di comfort. Per questo motivo tutti i ponti termici devono essere realizzati secondo le indicazioni tecniche fornite da CasaClima, al fine di ottenere una superficie interna dei punti critici tale da impedire la condensazione del vapore e la conseguente formazione di un terreno fertile su cui possa nascere e proliferare la muffa (almeno 15°C).

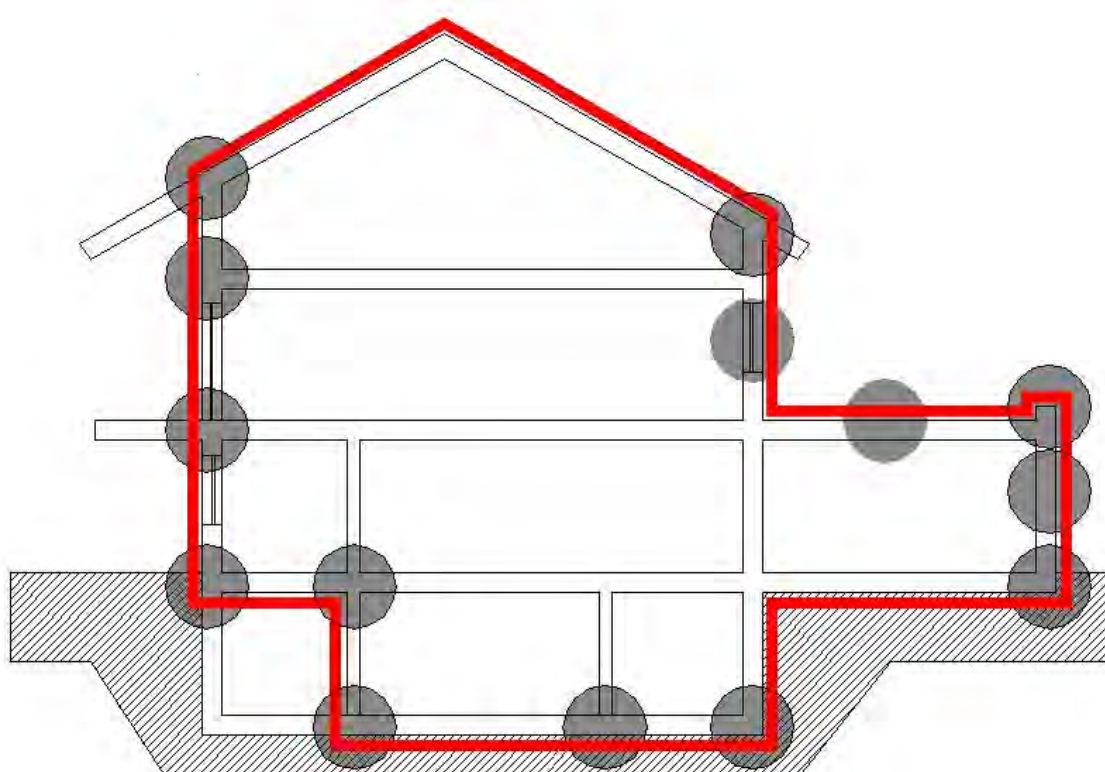


Figura 214 - Ponti termici da risolvere al fine di ottenere la certificazione - fonte CasaClima

Nel caso si utilizzino particolari accorgimenti, alcuni ponti termici possono non essere presi in considerazione nel calcolo dell'efficienza energetica. E' il caso ad esempio di aggetti realizzati con l'uso di "Isokorb", "Egcobox", "Isopro" ecc... (vedi fig. 200) o aggetti (e marciapiedi) realizzati con l'inserimento di uno strato di isolamento con $\lambda \leq 0,04$ fino a 1,5 m con uno spessore minimo di 5 cm superiormente, inferiormente e lateralmente. Lo stesso vale se si utilizza una struttura di uguale o simile proprietà termica dell'involucro (balconi in legno o balconi con supporti di appoggio puntiformi).

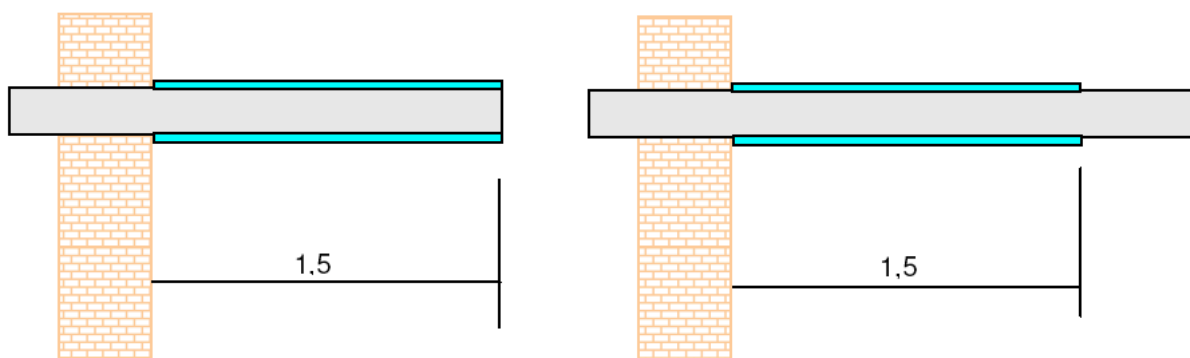


Figura 215 - Ponte termico di un oggetto risolto correttamente - fonte CasaClima

Inoltre, nel programma di calcolo ProCasaClima ai fini della determinazione del fabbisogno energetico dell'edificio non vengono presi in considerazione i ponti termici puntuali.

10.4 Il contrassegno CasaClima più

Il contrassegno CasaClima^{più} viene assegnato agli edifici che si contraddistinguono per una metodologia costruttiva rispettosa dell'ambiente. I principali fattori che caratterizzano tali costruzioni sono: lo sfruttamento di risorse energetiche rinnovabili e l'ottimizzazione del loro utilizzo; l'impiego di materiali da costruzione che apportino il minor danno possibile all'ambiente nei processi di fabbricazione, uso e smaltimento. Per il conferimento del contrassegno CasaClima^{più} devono essere soddisfatti i sei criteri descritti di seguito:

- 1) Fabbisogno termico per il riscaldamento inferiore ai 50 kWh/m²a;
- 2) Nessun utilizzo di fonti energetiche di origine fossile;
- 3) Nessun utilizzo d'isolanti termici sintetici e/o contenenti fibre nocive;
- 4) Nessun utilizzo di pavimenti, finestre e porte in PVC;
- 5) Nessun utilizzo per gli ambienti chiusi di impregnanti chimici per il legno, di colori e vernici contenenti solventi;
- 6) Nessun utilizzo di legno tropicale.

Per capirci meglio proviamo a paragonare la CasaClima a un secchio, il compito dell'involucro è quello di trattenere il calore, il compito del secchio è quello di trattenere l'acqua. Il secchio può essere realizzato sia in plastica che in legno, concluso il suo ciclo di

vita il secchio in plastica andrà buttato in discarica mentre quello in legno sarà riciclato. Tutti e due i secchi trattengono l'acqua, ma quello in legno fa' qualcosa in più, non inquina l'ambiente (ne quando viene realizzato, ne quando viene smaltito). Questo “qualcosa in più” viene appunto premiato col *Più*.

10.5 *Gli impianti*

Anche la scelta degli impianti tecnologici assume un ruolo rilevante per l'ottenimento degli edifici a basso consumo energetico. Il fabbisogno di energia di un edificio CasaClima è molto ridotto e quindi anche la tecnologia per la produzione e la distribuzione di calore deve essere commisurata a tale bisogno. Per intenderci, più l'involucro è efficiente meno calore servirà per scaldare l'edificio. Di conseguenza un edificio CasaClima Oro potrà essere scaldato solamente con l'impianto di areazione forzata a recupero di calore, un edificio CasaClima A con l'impianto di areazione forzata e/o da un impianto di riscaldamento a pavimento mentre un edificio CasaClima B sarà scaldato da un impianto di riscaldamento a pavimento o da piccoli termosifoni. Una CasaClima non rende quindi necessaria l'installazione di un impiantistica innovativa ma semplicemente rende possibile l'utilizzo di impianti moderni che fanno risparmiare e che proteggono il clima.

L'agenzia CasaClima incentiva comunque l'utilizzo di impianti per la produzione di energia rispettosi dell'ambiente suggerendo⁵¹, attraverso il software ProCasaClima, gli impianti meno inquinanti (che diventano obbligatori se si desidera il *più*).

Posizione (in relazione alle emissioni di CO ₂)	Tecnologia	Fonte energetica	% di rinnovabilità
1	Caldaia a pellets	Legno	90%
2	Pompa di calore	Elettricità	12%
3	Caldaia a condensazione	Gas naturale	0%

⁵¹ Il menù a tendina per la scelta degli impianti mette sempre ai primi posti gli impianti meno inquinanti. Anche nella scelta del teleriscaldamento il software da la preferenza a quelli alimentati da energie pulite.

Posizione (in relazione alle emissioni di CO ₂)	Tecnologia	Fonte energetica	% di rinnovabilità
4	Caldaia a bassa temperatura	Gas naturale	0%
5	Caldaia a condensazione	Gasolio	0%
6	Caldaia a bassa temperatura	Gasolio	0%

Tabella 18 - *Classificazione delle soluzioni termotecniche per la protezione del clima* - fonte CasaClima

10.6 *L'agenzia CasaClima*

*“Gli edifici CasaClima non nascono dal nulla. Servono proprietari interessati a realizzarli, progettisti che sanno progettarli e ditte che riescono a costruirli.”*⁵². Questa frase sintetizza benissimo gli obiettivi dell'agenzia CasaClima. Come anticipato nei paragrafi precedenti il progetto CasaClima ha riscosso fin dall'esordio un immediato successo, tanto che a soli quattro anni dalla sua ideazione, l'ufficio provinciale che lo aveva elaborato non era più in grado di far fronte alle numerose richieste da parte dell'utenza. Vi era inoltre il problema delle norme statali che impedivano un aumento del personale in servizio presso l'amministrazione pubblica. A questo va aggiunto il fatto che un ufficio provinciale deve limitare il proprio compito istituzionale all'interno dei confini della provincia, mentre il progetto CasaClima aveva già assunto una dimensione che andava già oltre ai confini dell'Alto Adige. Per questi motivi nel maggio 2006 la Giunta provinciale ha creato una struttura ad hoc (l'agenzia CasaClima) con il compito di promuovere un'edilizia sostenibile, formare e aggiornare gli addetti ai lavori e certificare gli edifici realizzati nello standard CasaClima.

La promozione

La promozione viene effettuata attraverso i normali mezzi di comunicazione e le tecniche di marketing, attraverso il patrocinio di Fiere ed eventi e soprattutto attraverso la partnership con aziende produttrici di elementi per edifici CasaClima (porte, finestre, tetti, impiantistica e

⁵² Norbert Lantschner 2006

addirittura case prefabbricate). Questo permette alle aziende di avvalersi della pubblicità e del successo di CasaClima ed all'agenzia di aumentare il numero di ditte interessate a produrre elementi per gli edifici a basso consumo energetico, con il conseguente abbassamento del costo di costruzione di questi edifici. Inoltre, una volta l'anno l'agenzia CasaClima premia, tramite un apposito concorso, la miglior CasaClima. Il concorso è molto utile per la diffusione delle classi energetiche più spinte, perchè premia i committenti, le imprese e soprattutto i progettisti, che entrano in competizione per ricevere l'ambito premio. Una giuria di esperti la sceglie tra gli edifici che nel corso dell'anno hanno ricevuto la targhetta CasaClima. Le CasaClima Oro^{più} ed A^{più} hanno le migliori chance di vittoria, in quanto coniugano un'efficienza energetica ottimale con un'edilizia sostenibile per ambiente e salute. Fino al 2006 i vincitori del concorso venivano premiati con un quadro dell'opera GRÜN, dell'artista berlinese Michael Müller, composta da cento quadri, con il cui ricavato è stato finanziato un progetto umanitario in Amazzonia. Dal 2007 vengono consegnati i "Golden Cubes".



Figura 216 - L'opera GRÜN completa e uno dei suoi 100 quadri - fonte CasaClima

La certificazione

Il processo di certificazione CasaClima, può essere sinteticamente descritto come composto da due fasi: la prima fase consiste in una verifica tecnica del progetto (superfici disperdenti,

stratigrafie, ponti termici, impiantistica) e della documentazione allegata alla richiesta; la seconda fase è una verifica dell'edificio che avviene tramite dei sopralluoghi in cantiere (in genere almeno due) nei quali si controlla la qualità esecutiva della posa in opera, i materiali utilizzati, i punti critici (ponti termici, ecc.) e la conformità delle opere realizzate con quanto dichiarato nei documenti. In tutte e due le fasi è richiesta la collaborazione tra i tecnici e i richiedenti per apportare le dovute correzioni e indicazioni volute dall'agenzia CasaClima. Ad edificio ultimato viene eseguito il controllo con la camera ad infrarossi e, se l'agenzia lo ritiene opportuno, il Blower-Door Test. Gli edifici che, a seguito del calcolo CasaClima e degli opportuni controlli e verifiche di cantiere, presentino un fabbisogno energetico annuale per riscaldamento al di sotto dei 50 kWh/m²a ricevono la certificazione e la targhetta CasaClima. Difatti una casa che consuma poca energia non è sempre riconoscibile dall'esterno, ne tanto meno il proprietario può esporre il certificato CasaClima per rendere esplicito il basso consumo energetico della casa. Per questo CasaClima ha optato (anche a seguito delle numerose richieste) per una targhetta metallica da appendere vicino alla porta d'ingresso che informa sull'alta efficienza energetica della casa. La targhetta infatti promuove l'immagine della casa e ne aumenta il valore commerciale. Inoltre, la targhetta CasaClima rafforza negli inquilini e nei visitatori la consapevolezza di entrare in una casa a basso consumo energetico (senza sottovalutare il fattore dell'atto esemplare e dell'emulazione).



Figura 217 - Targhetta CasaClima A e A⁺ - fonte CasaClima

La targhetta CasaClima è sempre abbinata al certificato e viene conferita ad ogni CasaClima in base alla relativa categoria di efficienza (Oro, A, B, Oro⁺, A⁺ e B⁺).

La formazione e l'aggiornamento professionale

L'agenzia CasaClima, al fine di trasmettere le conoscenze necessarie alla realizzazione degli edifici a risparmio energetico, patrocina, presso le varie associazioni artigiane ed edili, corsi dal taglio pratico finalizzati a trasmettere le necessarie conoscenze agli addetti ai lavori (titolo di Artigiano CasaClima) ed inoltre organizza corsi di formazione per certificatori e consulenti.

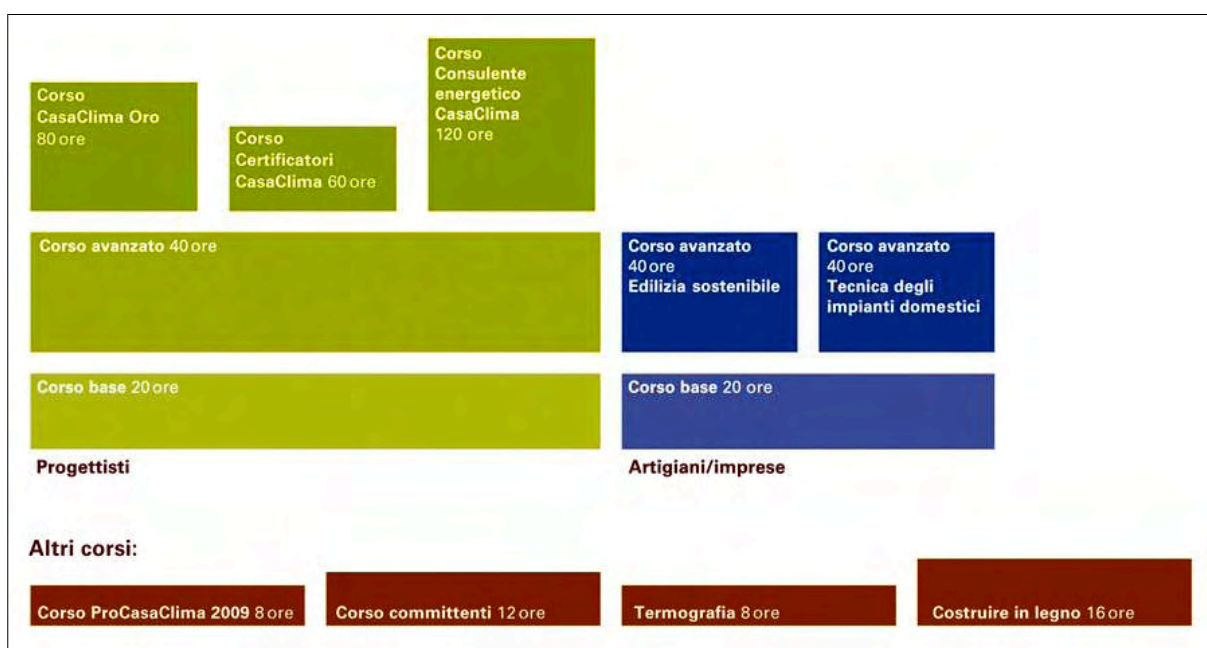


Figura 218 - *Struttura dei corsi CasaClima* - fonte CasaClima

I corsi CasaClima iniziano con un seminario introduttivo (corso base) composto da cinque moduli di quattro ore ciascuno. Insieme al protocollo CasaClima vengono illustrate le relative norme in materia urbanistica e di risparmio energetico, vengono trasmesse le conoscenze di base sulle caratteristiche fisiche dei materiali da costruzione e sulle tecnologie degli impianti. Naturalmente viene anche presentato il programma di calcolo ProCasaClima. Nel corso avanzato vengono approfonditi i temi di base e vengono sviluppate le conoscenze sulle metodologie di costruzione energeticamente efficienti. La formazione si conclude con il terzo blocco che propone la formazione come certificatore CasaClima o come consulente

CasaClima. L'ottenimento del diploma è subordinato al superamento di una prova d'esame. Dal 21 settembre 2009 è attivo anche il nuovo corso "CasaClima Oro" che si rivolge agli esperti CasaClima che intendono approfondire le loro conoscenze sulla progettazione ad altissima efficienza energetica tramite un corso pratico.

10.7 I principi della bioclimatica e le CasaClima

Quando intervistato Norbert Lantschner si è sentito domandare cos'è una CasaClima senza esitare ha risposto: *“In sintesi, è un edificio energeticamente efficace, ricoperto bene, compatto, ermetico ed orientato verso sud”*. Una frase che sintetizza molto bene l'importanza dei principi della bioclimatica nello standard CasaClima. Difatti, tanto più ci allontaniamo dalla standard energetico CasaClima Oro tanto più diventeranno influenti l'orientamento dell'edificio, il rapporto superficie volume, la disposizione interna dei locali e le condizioni climatiche del luogo. Senza contare che lo stesso standard obbliga all'uso di sistemi schermanti per ridurre l'irradiazione solare estiva sulle superficie trasparenti e all'utilizzo di un involucro che sfasi l'onda termica di almeno 10 ore e con una forte attenuazione della stessa (in pratica un involucro bioclimatico).

10.8 Le CasaClima in legno

Un piccolo approfondimento lo meritano, considerata la loro recente diffusione ed il contributo che hanno fornito al progetto CasaClima, le case in legno. Queste costruzioni non sono un'invenzione recente, in quanto da sempre il legno viene utilizzato per la realizzazione delle abitazioni. In Italia non le conosciamo perchè sono state gradualmente sostituite dall'edilizia in mattone e da quella in laterocemento, fino a scomparire quasi del tutto. In Alto Adige, nei Paesi dell'Europa continentale ed in nord America, dove la tradizione è più consolidata e la disponibilità di legname maggiore, le costruzioni in legno hanno continuato

ad essere realizzate, evolvendosi e raggiungendo un livello tecnico che non teme più paragoni con le costruzioni realizzate in cemento e laterizi.

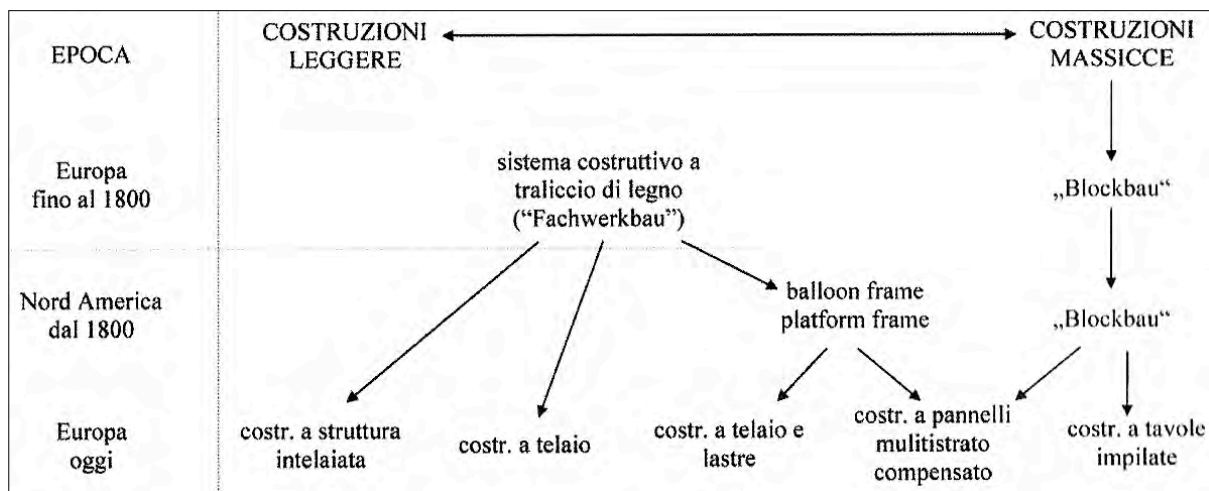


Figura 219 - Sviluppo dei sistemi costruttivi in legno - fonte CasaClima costruire in legno

I sistemi di costruzione più moderni (che per tradizione prendono il nome dal sistema di realizzazione delle murature) sono: le costruzioni a telaio portante, le costruzioni a telaio e lastre, le costruzioni a tavole impilate e le più moderne costruzioni a pannelli multistrato.

Le costruzioni a telaio portante sono realizzate con pilastri verticali e travi orizzontali. Si sono sviluppate con l'introduzione del legno lamellare e sono caratterizzate da un grande intervallo reticolare tra travi e pilastri, dall'indipendenza della tamponatura (che può essere realizzata con qualsiasi materiale) e dalla presenza di elementi di controventatura.



Figura 220 - Casa realizzata con il sistema a telaio portante - fonte huf-haus

Le costruzioni a telaio e lastre derivano direttamente dal tradizionale sistema a “ballon frame” e sono costituite da pareti prefabbricate realizzate con un telaio in legno e da un pannello di tamponamento in legno che svolge anche funzione collaborante e di irrigidimento.



Figura 221 - *Parete a telaio e lastre* - fonte CasaClima costruire in legno

Per il rivestimento si utilizzano pannelli a più strati, pannelli piatti pressati OSB, pannelli in fibra di gesso o di cemento. Questo sistema è il più usato dai prefabbricatori, che producono in fabbrica elementi di grande formato già muniti delle aperture per le porte e le finestre. In questo modo possono lavorare indipendentemente dalle condizioni atmosferiche e in modo più preciso, lasciando alla fase di cantiere il solo montaggio degli elementi prefabbricati.



Figura 222 - *Case realizzate con il sistema a telaio e lastre* - fonte wolffhaus

Il sistema di *costruzione a tavole impilate* o metodo di costruzione a Blockbau (dal tedesco costruzione a blocchi) è il più antico metodo utilizzato per la realizzazione delle case in legno massiccio. Le pareti (portanti) sono realizzate sovrapponendo tronchi di legno a sezione tonda o quadrata. Il sistema è comunemente utilizzato per realizzare le baite di montagna.



Figura 223 - Casa realizzata con il sistema a tavole impilate - fonte holzundhaus

Il sistema di *costruzione a pannelli multistrato* o anche detto a pannelli di tavole incrociate è formato da tavole sovrapposte, incrociate ed incollate assieme. Questo sistema si può considerare l'evoluzione essenziale per l'edilizia in legno moderna ed è quello che ha convinto più di un committente a rinunciare al mattone per scegliere una casa in legno.



Figura 224 - Pannello multistrato - fonte CasaClima costruire in legno

La tecnica di assemblaggio più frequente avviene per incollaggio di tre, cinque o sette strati e permette la realizzazione di elementi rotondi o curvati. La parete, che esce dalla fabbrica in grandi formati e con tutte le aperture per porte e finestre realizzate, presenta un'alta stabilità della forma ed una buona massa termica. Il montaggio dell'edificio avviene in cantiere con semplici angolari in acciaio e viti e senza la necessità di ulteriori irrigidimenti.



Figura 225 - Edificio realizzato in pannello multistrato - fonte CasaClima costruire in legno

Con l'introduzione dello standard CasaClima l'edilizia in legno ha avuto un vero e proprio boom ed ha ricominciato a diffondersi nel nostro Paese. I motivi sono da ricercare nelle qualità fisiche del legno, (bassa conduttività termica⁵³ e capacità di regolare l'umidità degli ambienti) e nel know-how raggiunto in questi anni dalle aziende altoatesine (alta qualità dei dettagli e tempi di realizzazione di soli sei mesi). Le stesse aziende hanno poi prodotto e immesso sul mercato pacchetti completi per la realizzazione di pareti in standard "passivhaus" e CasaClima e di componenti per la loro realizzazione (finestre in legno ad alta efficienza, porte a tenuta termica e materiali isolanti derivati dalla lavorazione del legno).

⁵³ Con il legno è possibile realizzare pareti per "passivhaus" di 35 cm (contro i 50 cm delle pareti in laterizio).

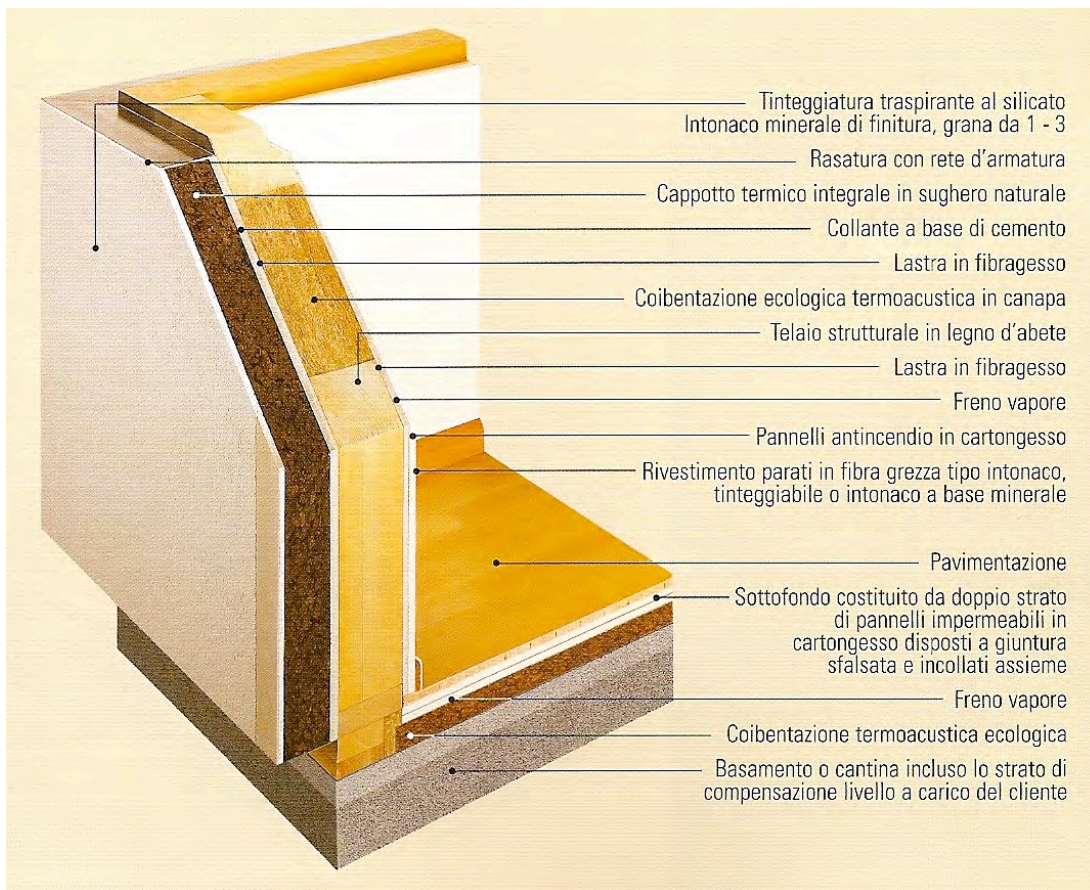


Figura 226 - Pacchetto parete a telaio e lastre - fonte: catalogo Rubner

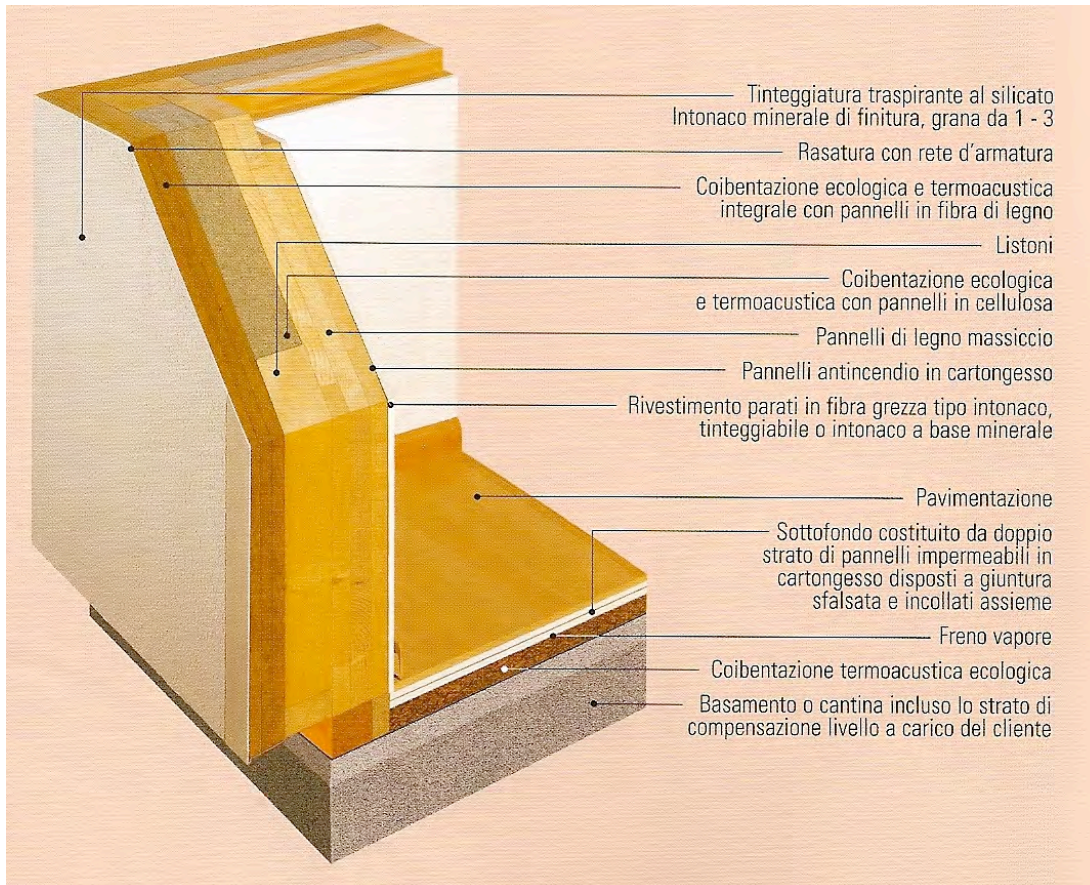


Figura 227 - Pacchetto parete in pannello multistrato - fonte: catalogo Rubner

Il principio di funzionamento di una CasaClima in legno può essere così sintetizzato⁵⁴: le pareti ed il tetto svolgono la funzione di isolamento termico, mentre il solaio svolge la funzione di massa termica. La massa necessaria a trattenere il calore viene ottenuta riempiendo l'intercapedine degli impianti con graniglia di marmo (necessaria anche all'isolamento acustico) ed utilizzando preferibilmente piastrelle di colore scuro.

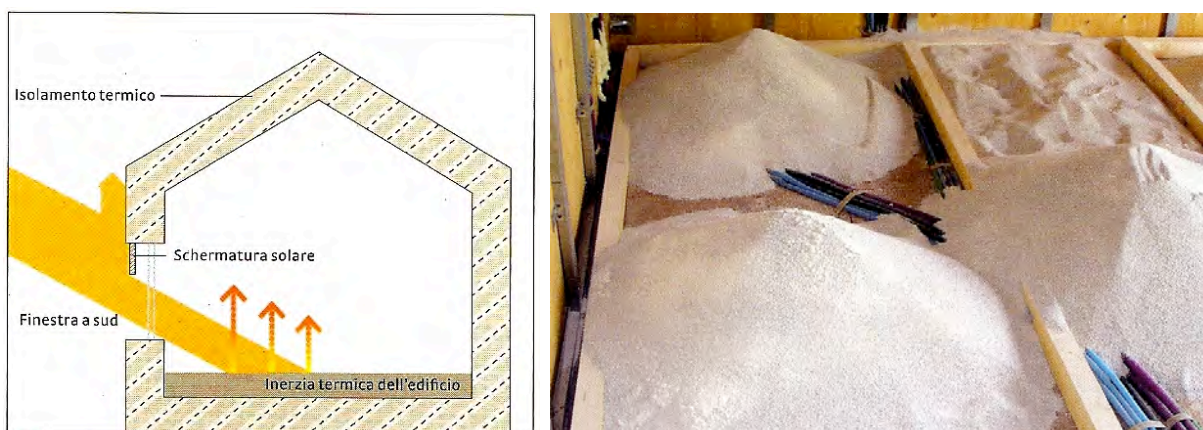


Figura 228 - La massa termica nelle CasaClima in legno - fonte CasaClima costruire in legno

Lo stesso viene fatto con l'impianto per la produzione del calore, che generalmente viene realizzato a pavimento proprio per sfruttare la capacità dell'acqua di trattenere il calore.



Figura 229 - Impianto radiante a pavimento - fonte biohaus

⁵⁴ Principio valido in linea generale, non tutte le CasaClima in legno seguono questo schema.

LO STANDARD MINERGIE

11.1 La storia

Lo standard svizzero MINERGIE (minor energia) nasce nel 1998, quando alcune imprese edili ed alcuni progettisti si unirono e fondarono l'associazione MINERGIE, con lo scopo di tutelare gli edifici a risparmio energetico da loro realizzati dai falsi edifici a risparmio energetico immessi sul mercato dalla concorrenza. Per farlo, avevano bisogno di uno standard che offrisse all'acquirente precise garanzie su quello che stava acquistando, cosa possibile solo offrendo un prodotto che avesse precisi requisiti di qualità, realizzato seguendo precise specifiche e certificato da un ente che ne garantisse l'autenticità. Nasce così il primo dei due standard promossi dall'associazione: il MINERGIE. Nel 2003 l'associazione viene a conoscenza dello standard tedesco "passivhaus" e crea un suo modello sulla falsariga dello standard tedesco: il MINERGIE-P.



Figura 230 - Il primo edificio MINERGIE-P, nel comune di Dintikon (Svizzera) - fonte MINERGIE

Con il passare del tempo gli edifici realizzati secondo lo standard MINERGIE iniziarono a conquistare il mercato facendo crescere il numero di progettisti e ditte interessate a far parte del progetto e dell'associazione. Vengono così introdotte le figure dei "Partner specializzati MINERGIE", professionisti che hanno frequentato corsi di specializzazione promossi dall'associazione e imprese che hanno costruito almeno due edifici secondo le norme MINERGIE, e dei "Moduli MINERGIE", ovvero parti costruttive, prodotti o pacchetti

costruttivi (porte, finestre, pareti, impianti ecc...) certificati dall'associazione. Alla fine del 2006 MINERGIE sottoscrive un contratto con il primo partner estero, l'organizzazione francese Prioriterre, esportando il suo standard nella regione francese di Rhône-Alpes. Nel 2008, viste le moderne tecnologie a disposizione dei progettisti, l'associazione aggiorna il requisito energetico dello standard MINERGIE, portandolo da 42 kWh/m² a 38 kWh/m² per le nuove costruzioni e da 80 kWh/m² a 60 kWh/m² per le ristrutturazioni (rimane invariato lo standard MINERGIE-P). Sempre nel 2006, l'associazione MINERGIE integra i requisiti energetici dei suoi edifici con gli aspetti ambientali promossi dall'associazione ECO-BAU contrassegnando con ECO (MINERGIE-ECO e MINERGIE-P-ECO) gli edifici realizzati in modo sano ed ecologico (assenza di inquinanti nell'aria interna, materiali riutilizzabili ecc.).

11.2 La norma SIA 380/1:2009 e l'indice energetico ponderato

Non essendo la Svizzera nell'Unione Europea, bisogna conoscere le norme e le unità di misura che ne definiscono il fabbisogno termico per il riscaldamento (norme SIA) e soprattutto il concetto di “*indice energetico ponderato*”, requisito energetico base dello standard MINERGIE. Questo standard, infatti, non valuta gli edifici in base all'efficienza energetica dell'involucro (come l'agenzia CasaClima ed il Passivhausinstitut) ma il sistema edificio impianto nel suo complesso. Inoltre, è bene conoscere il concetto di “*casa a risparmio energetico*”, così come lo intendono gli svizzeri.

La norma SIA 380/1:2009

Il *fabbisogno termico per il riscaldamento* viene calcolato secondo lo standard SIA 380/1 del 2009⁵⁵, che si basa sulla EN-ISO 13790. La SIA definisce le esigenze energetiche per mezzo di valori limite e mirati. Nel primo caso i valori si rifanno al coefficiente di trasmissione termica dei singoli elementi (esigenze puntuali), nell'altro al fabbisogno termico per il

⁵⁵Software semplici per il calcolo del fabbisogno termico SIA possono essere scaricati gratuitamente dall'indirizzo: www.ur.ch/de/bd/afe/gebaeudebereich-m705

riscaldamento dell'edificio intero (esigenze globali). I valori limite sono da interpretare come delle richieste minime che, allo stato attuale della tecnica, sono facilmente raggiungibili ed economicamente sostenibili. I valori mirati sono dei limiti che possono essere raggiunti per mezzo di una giusta combinazione di elementi costruttivi energeticamente validi. In molti casi possono essere anche superati (in senso positivo) applicando tecnologie comprovate. Per il calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento, secondo la Norma SIA 380/1 sono necessari diversi assunti come per es. la temperatura ambiente, la superficie per persona, l'apporto termico per persona, le ore di presenza, gli apporti termici degli apparecchi elettrici ed altro ancora. Quale semplificazione la Norma SIA 380/1 definisce per queste grandezze dei valori d'utilizzo standard che variano solo a seconda della categoria dell'edificio. Per gli edifici MINERGIE, il fabbisogno termico per il riscaldamento va calcolato con la norma SIA 380/1, anche se i valori massimi sono inferiori ai valori limite (Q_h limite) della norma SIA.

	Nuove costruzioni	Ristrutturazioni
standard MINERGIE	$Q_h \leq 90\% Q_h \text{ limite}$	nessuno
standard MINERGIE-P	$Q_h \leq 60\% Q_h \text{ limite}$	$Q_h \leq 80\% Q_h \text{ limite}$

Tabella 19 - Valori limiti di fabbisogno energetico (requisito primario) - fonte MINERGIE

L'indice energetico ponderato

L'indice energetico è la grandezza che rappresenta l'energia netta fornita ad un edificio in un anno in rapporto alla superficie di riferimento⁵⁶ (MJ/m^2). Nel caso più semplice corrisponde alla somma dell'energia finale⁵⁷ fornita all'edificio. Normalmente però, per il calcolo dell'indice energetico, l'energia finale viene “ponderata” a seconda del vettore energetico utilizzato (fossile, energia rinnovabile o elettrica). In questo caso si parla di indice energetico

⁵⁶ Superficie lorda riscaldata.

⁵⁷ Il termine energia finale definisce la frazione di energia primaria effettivamente disponibile al consumatore dopo la detrazione delle perdite per il trasporto e le perdite per la trasformazione. Sono forme di energia finale per es. l'olio combustibile da riscaldamento nel serbatoio o la corrente elettrica dalla presa.

ponderato. Gli indici energetici ponderati delle abitazioni MINERGIE sono calcolati facendo riferimento alla raccomandazione SIA 180 (Isolamento termico e protezione contro l'umidità degli edifici), anche se in tre punti il fattore di ponderazione è stato modificato per tenere conto delle proprietà specifiche dei singoli vettori energetici, in particolare:

- 1) Nel calcolo viene inclusa esclusivamente l'energia pregiata apportata artificialmente (tramite combustibile, elettricità, riscaldamento a distanza) e sono escluse dal calcolo le fonti energetiche a bassa concentrazione disponibili nell'immobile o nelle sue vicinanze (energia geotermica, irraggiamento solare, calore residuo);
- 2) Al consumo di corrente per il riscaldamento, l'aerazione e la climatizzazione viene attribuito ai fini della ponderazione un valore doppio, questo in considerazione della valenza superiore dell'energia elettrica;
- 3) I vantaggi economici ed ecologici della legna quale combustibile trovano una corrispondenza adeguata nel calcolo, in quanto il consumo della legna è calcolato con una ponderazione di appena il 50%.

Gli indici energetici calcolati sulla base di questi criteri di ponderazione sono contraddistinti dal segno *E (indice energetico ponderato) e definiti come segue:

*E_h = indice energetico ponderato per riscaldamento, aerazione e climatizzazione

*E_{ww} = indice energetico ponderato per la produzione di acqua calda

*E_w = indice energetico ponderato finale = *E_h + *E_{ww}

Vettore energetico	Ponderazione
Solare, calore ambiente	0
Biomasse (legna, biogas)	0,5
Calore residuo (calore a distanza da impianto di depurazione, inceneritore rifiuti ecc)	0,6
Combustibili fossili	1
Elettricità	2

Tabella 20 - *Fattori di ponderazione* - fonte MINERGIE

Per il calcolo dell'energia finale, oltre che dei fattori di ponderazione, si deve tenere conto anche delle percentuali di rendimento degli impianti utilizzati, dato che non tutti gli impianti per la produzione di calore hanno lo stesso rendimento (una caldaia a gas tradizionale pur avendo un consumo identico ad una caldaia a condensazione ha un rendimento inferiore).

Tecnologia di riferimento	Riscaldamento	Acqua calda
Caldaia a olio combustibile o gas	0,85	0,85
Caldaia a olio a condensazione	0,91	0,88
Caldaia a gas a condensazione	0,95	0,92
Caldaia a legna	0,75	0,75
Stufa a pellets	0,85	0,85
Teleriscaldamento (calore residuo di un impianto)	1,0	1,0
Pompe di calore:		
Aria esterna, monovalente	2,3	2,3
Sonda geotermica	3,1	2,7
Acque sotterranee, diretto	3,2	2,9

Tabella 21 - *Grado di rendimento di alcuni impianti* - fonte MINERGIE

Per fare un esempio, proviamo a calcolare l'indice energetico ponderato di un'abitazione monofamiliare ($Q_h = 50 \text{ kWh/m}^2$) con caldaia a olio e produzione di acqua calda tramite elettricità (in kWh/m^2).

Passo 1: dal *fabbisogno termico per il riscaldamento* (50 kWh/m^2) sottraiamo il risparmio ottenuto con l'impianto di aerazione a recupero di calore (15 kWh/m^2) = $50 - 15 = 35 \text{ kWh/m}^2$

Il valore ottenuto (35 kWh/m^2) è il *fabbisogno energetico effettivo per il riscaldamento*.

Passo 2: sapendo che l'efficienza della caldaia è del 85%, calcoliamo *l'energia finale per il riscaldamento* = $35 : 0,85 = 41,2 \text{ kWh/m}^2$.

Passo 3: moltiplichiamo ora l'energia finale per il riscaldamento ($41,2 \text{ kWh/m}^2$) per il fattore di ponderazione dei combustibili fossili = $41,2 \times 1 = 41,2 \text{ kWh/m}^2$.

Il valore ottenuto ($41,2 \text{ kWh/m}^2$) è *l'energia finale ponderata per il riscaldamento*.

Passo 4: sapendo che l'impianto di areazione a recupero di calore consuma 3 kWh/m², calcolo l'energia finale ponderata per l'impianto di areazione = 3 x 2 = 6 kWh/m².

Passo 5: sommando 41,2 kWh/m² con 6 kWh/m² ottengo l'energia finale ponderata per il riscaldamento e l'areazione (*Eh).

Avendo un fabbisogno di 14 kWh/m² per la produzione di acqua calda calcolo l'energia finale ponderata per l'acqua calda (*Eww).

Passo 6: sapendo che l'efficienza del boiler elettrico è del 100%, calcoliamo l'energia finale per l'acqua calda = 14 : 1 = 14 kWh/m².

Passo 7: moltiplichiamo ora l'energia finale per l'acqua calda (14 kWh/m²) per il fattore di ponderazione degli impianti elettrici = 14 x 2 = 28 kWh/m².

Il valore ottenuto (28 kWh/m²) è l'energia finale ponderata per l'acqua calda

Passo 8: calcolo l'indice energetico ponderato finale = *Eh + *Eww = 75,2 kWh/m².

Il valore ottenuto è però troppo alto, in quanto lo standard MINERGIE per le abitazioni prevede un indice energetico ponderato finale massimo di 38 kWh/m².

Proviamo allora a rifare i conti utilizzando stavolta una pompa di calore per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria.

Energia finale ponderata per il riscaldamento = 35 : 3,2 x 2 = 21,8 kWh/m².

Energia finale ponderata per l'acqua calda = 14 : 2,9 x 2 = 9,6 kWh/m².

Indice energetico ponderato finale = *Eh + *Eww = 21,8 + 6 + 9,6 = 37,4 kWh/m².

Ora il valore ottenuto è conforme allo standard MINERGIE per le abitazioni.

standard MINERGIE	Nuove costruzioni	Ristrutturazioni
Abitazioni	*Ew ≤ 38 kWh/m ²	*Ew ≤ 60 kWh/m ²
Edifici pubblici	*Ew ≤ 40 kWh/m ²	*Ew ≤ 55 kWh/m ²
Ospedali	*Ew ≤ 70 kWh/m ²	*Ew ≤ 85 kWh/m ²

Tabella 22 - Valori limiti dell'indice energetico ponderato finale dello standard MINERGIE - fonte MINERGIE

standard MINERGIE-P	Nuove costruzioni	Ristrutturazioni
Abitazioni	*Ew ≤ 30 kWh/m ²	*Ew ≤ 30 kWh/m ²
Edifici pubblici	*Ew ≤ 25 kWh/m ²	*Ew ≤ 25 kWh/m ²
Ospedali	*Ew ≤ 45 kWh/m ²	*Ew ≤ 45 kWh/m ²

Tabella 23 - Valori limite dell'indice energetico ponderato finale dello standard MINERGIE-P - fonte MINERGIE

Il concetto di risparmio energetico

Per il cittadino svizzero, un edificio a risparmio energetico è un edificio che fa risparmiare sulle bollette energetiche. Di conseguenza, il maggior costo iniziale è considerato un investimento a medio termine in vista di futuri guadagni (il denaro risparmiato recuperato l'extra costo iniziale). Per questo motivo l'associazione ha posto un altro requisito obbligatorio all'ottenimento della certificazione MINERGIE: "Il costo dell'edificio non deve essere maggiore del 10% rispetto ad un edificio tradizionale".

Questo vincolo, unito ai bassi consumi di questi edifici permette ai loro proprietari di ammortizzare i costi aggiuntivi in circa sette anni.

11.3 Il comfort

Un edificio MINERGIE è una casa, una scuola od un ufficio più costoso del suo equivalente tradizionale, per questo motivo oltre al risparmio energetico, i membri dell'associazione hanno voluto fin dall'inizio che i suoi edifici fossero "prodotti" di qualità, in grado di offrire un alto grado di comfort interno. Consapevoli che gli edifici tradizionali svizzeri hanno una qualità dell'aria interna "non eccellente", dovuto ai pochi ricambi d'aria e che una delle principali cause di dispersione del calore è proprio dovuto alle perdite per ventilazione, hanno deciso di prendere "due piccioni con una fava" rendendo obbligatorio nei loro edifici l'utilizzo di un impianto di ventilazione meccanica con recupero di calore. In questo modo, oltre a ridurre i costi di riscaldamento, hanno ottenuto per i loro edifici un'alta qualità

dell'aria interna, eliminando attraverso i filtri anche i pollini e i germi (ed essendo gli utenti non più obbligati ad aprire le finestre, hanno eliminato anche il problema dei rumori esterni). Tutto questo, in combinazione ad un involucro spesso e ben isolato, permette agli edifici MINERGIE di avere pareti interne calde, di non avere irradiazioni fredde e di eliminare le correnti d'aria, tutte cose che generano un buon comfort termico.

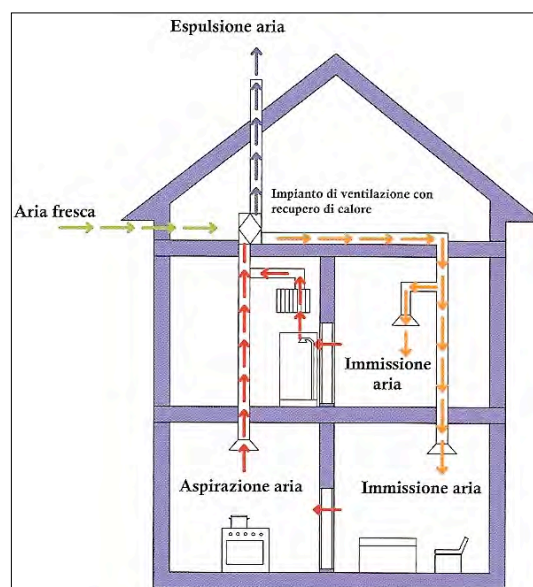


Fig. 231 - Funzionamento di una MINERGIE

11.4 Il sistema edificio impianto

Come anticipato, MINERGIE non valuta gli edifici in base all'efficienza energetica dell'involucro ma utilizza come parametro l'indice energetico ponderato finale, valutando il sistema edificio impianto nel suo complesso. Per avere comunque un confronto con gli standard precedenti analizziamo separatamente l'involucro e gli impianti degli edifici MINERGIE.

L'involucro

L'involucro di un edificio MINERGIE (indipendentemente dallo standard utilizzato) è un miglioramento del normale involucro prescritto per le abitazioni svizzere (norma SIA 380/1 del 2009), riportiamo quindi i valori medi di un edificio standard.

Involucro	Isolamento	U (W/m ² K)
Solaio cantina	8 cm	0,4
Muratura esterna	12 cm	0,3
Coperture	15 cm	0,3
Telai finestre	Legno 6 cm	2,6
Vetri	isolanti	1,3 (g=65%)

Tabella 24 - Involucro di un edificio norma SIA 380/1 - fonte MINERGIE

Per la risoluzione dei ponti termici, la norma utilizza una lista di controllo che ne prescrive la corretta esecuzione (sono previste varie soluzioni).

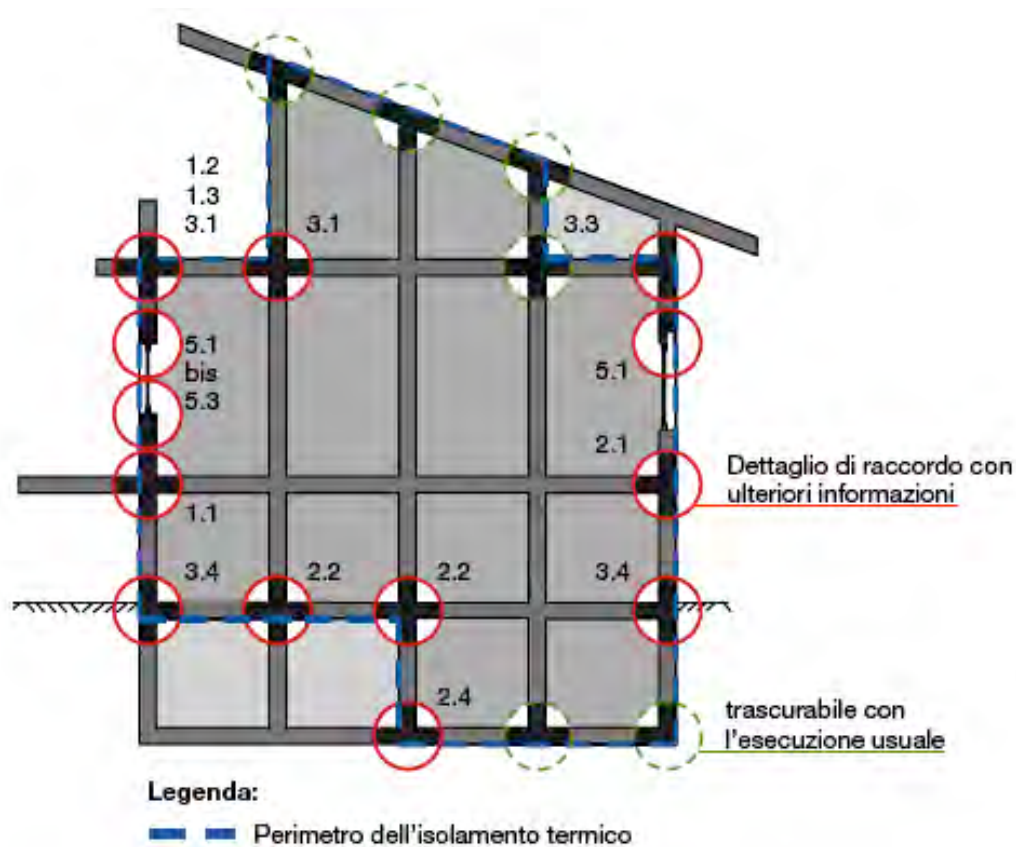
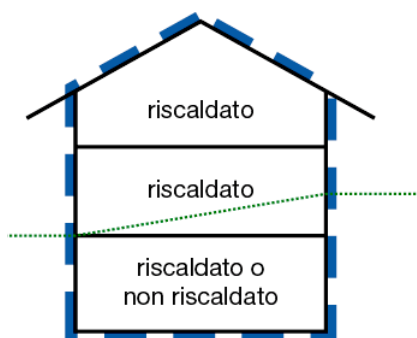


Figura 232 - Lista di controllo dei ponti termici - fonte MINERGIE

Per i suoi edifici Minergie consiglia di includere tutto l'edificio nell'involucro termico⁵⁸, in modo da eliminare completamente il problema dei ponti termici (che vengono considerati risolti in modo corretto).

Procedura corretta per l'eliminazione dei ponti termici



La verifica dei ponti termici è soddisfatta nel caso in cui l'intero piano interrato si trova all'interno dell'involucro termico, l'isolamento termico della facciata e del tetto non è interrotto da raccordi e la finestra viene posata adiacente all'isolamento termico (cfr. dettaglio).

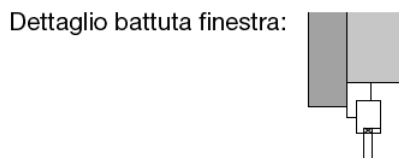


Figura 233 - Eliminazione corretta dei ponti termici - fonte MINERGIE

⁵⁸ Il perimetro dell'involucro termico è sempre sul lato esterno dell'isolamento.

Se questo non è possibile, i ponti termici devono essere risolti in uno dei modi indicati dalla lista di controllo ed accettati dall'associazione MINERGIE (non tutte le soluzioni previste sono accettate). Analizzando gli edifici fino ad ora realizzati si può comunque osservare che gli edifici MINERGIE superano di rado i valori U di 0,2 W/m²K per le pareti, il tetto ed il pavimento, di 1,0 W/m²K per le finestre e di 1,2 W/m²K per le porte (gli edifici MINERGIE-P utilizzano invece i valori U tipici delle “passivhaus” tedesche).

Gli impianti

Tutti e due gli standard MINERGIE obbligano all'installazione di un impianto di ventilazione meccanica con recupero di calore (almeno l'80%), elemento strategico per l'ottenimento del risparmio energetico e del comfort interno. L'impianto infatti risponde contemporaneamente a quattro importanti esigenze: apporta aria fresca, espelle le sostanze nocive, espelle l'umidità e recupera il calore dell'aria interna. Per un suo corretto funzionamento, l'impianto deve apportare almeno 15 m³/h a persona o 30 m³/h per ogni camera da letto, avere le bocchette di mandata in basso od a pavimento e le bocchette di aspirazione in alto od a soffitto ed avere una distribuzione dell'aria a cascata (dai locali nobili ai locali di servizio).

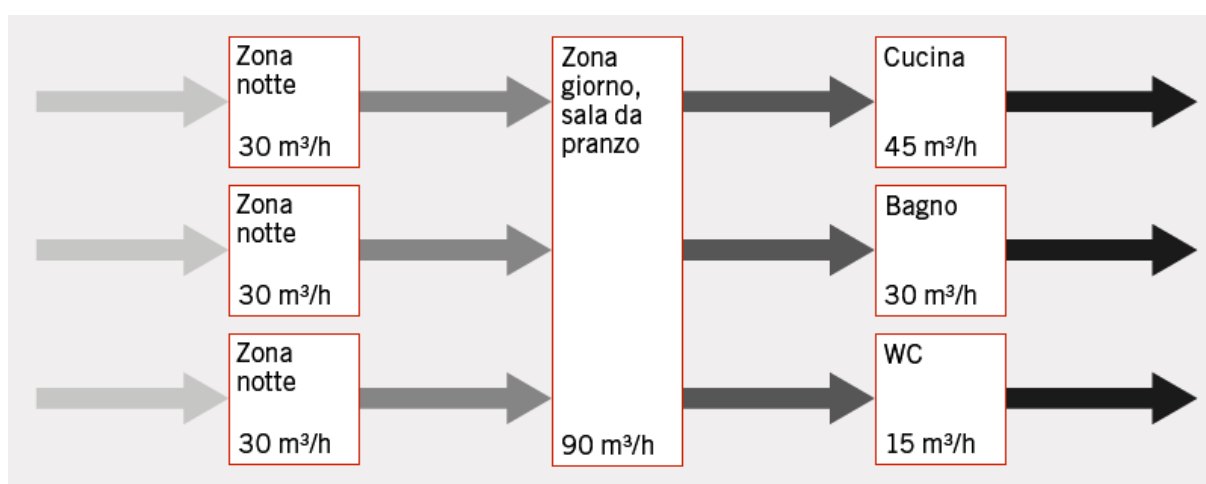


Figura 234 - Distribuzione dell'aria a cascata - fonte MINERGIE

Inoltre è raccomandato il preriscaldamento dell'aria esterna con uno scambiatore geotermico.

L'abitazione MINERGIE non può comunque prescindere dall'uso del riscaldamento, anche se il basso fabbisogno termico permette l'utilizzo di sistemi di produzione e distribuzione del calore alternativi. La stessa associazione (pur lasciando libera scelta) propone alcune soluzioni tipo, che si sono dimostrate molto buone negli edifici già realizzati.

Produzione ed erogazione del calore

Soluzione tipo	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
Sistema di produzione termica	Pompa di calore geotermica	Caldaia a legna + collettori solari, almeno 2% di A_E	Caldaia a legna automatica	Calore residuo	Pompa di calore aria-acqua
Temperatura di andata (riscaldamento locali)	massimo 35 °C	pescrizioni cantonali	pescrizioni cantonali	pescrizioni cantonali	massimo 35 °C

Figura 235 - Sistemi di produzione termica secondo Soluzioni tipo MINERGIE - fonte MINERGIE

11.5 Il problema del surriscaldamento estivo

In Svizzera il problema del surriscaldamento estivo non è molto sentito, ed il problema si considera risolto se nell'edificio è previsto un impianto di condizionamento. In alternativa, è necessario utilizzare una delle due soluzioni impiantistiche previste: 1) l'apertura automatica delle finestre; 2) gli impianti autoregolanti. Se l'edificio non è posizionato in luoghi con fonti di rumore esterni e aria inquinata (es. le città) è possibile risolvere il problema installando un sistema di apertura automatica parziale delle finestre, in modo da raffreddare l'edificio con l'aerazione naturale durante le ore notturne.

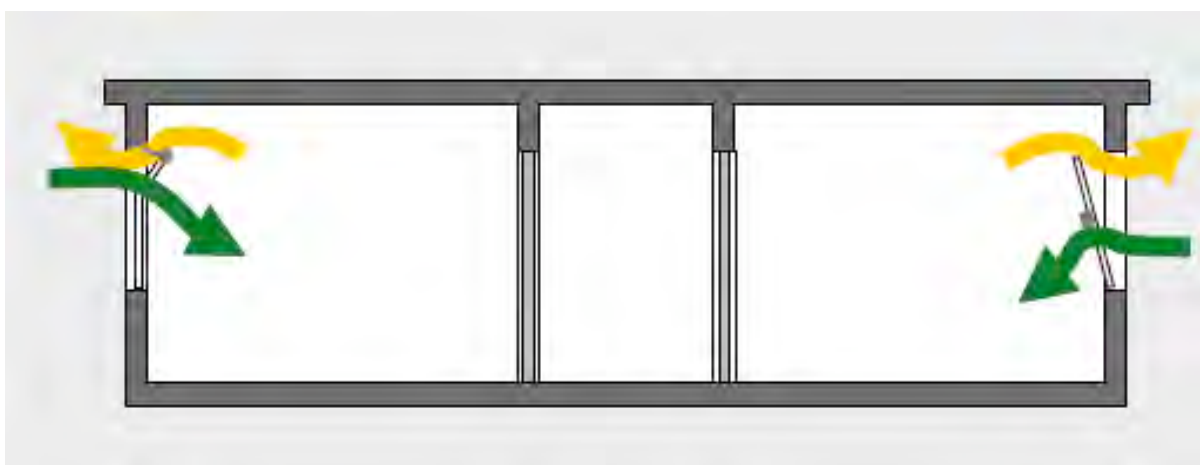


Figura 236 - Aerazione naturale "automatica" attraverso le finestre - fonte MINERGIE

Un'altra soluzione è quella degli impianti autoregolanti. Si tratta di impianti in cui l'immissione di calore si arresta automaticamente quando la temperatura dell'aria supera quella degli impianti. Il più usato è il riscaldamento autoregolante a pavimento, la cui caratteristica fondamentale è rappresentata dalle bassissime temperature di esercizio: massimo 24°C - 30°C in condizioni di estremo freddo e 22°C - 26°C nelle stagioni intermedie.

11.6 Gli standard MINERGIE e MINERGIE-P

Apprese le caratteristiche generali vediamo adesso gli standard MINERGIE nel dettaglio.

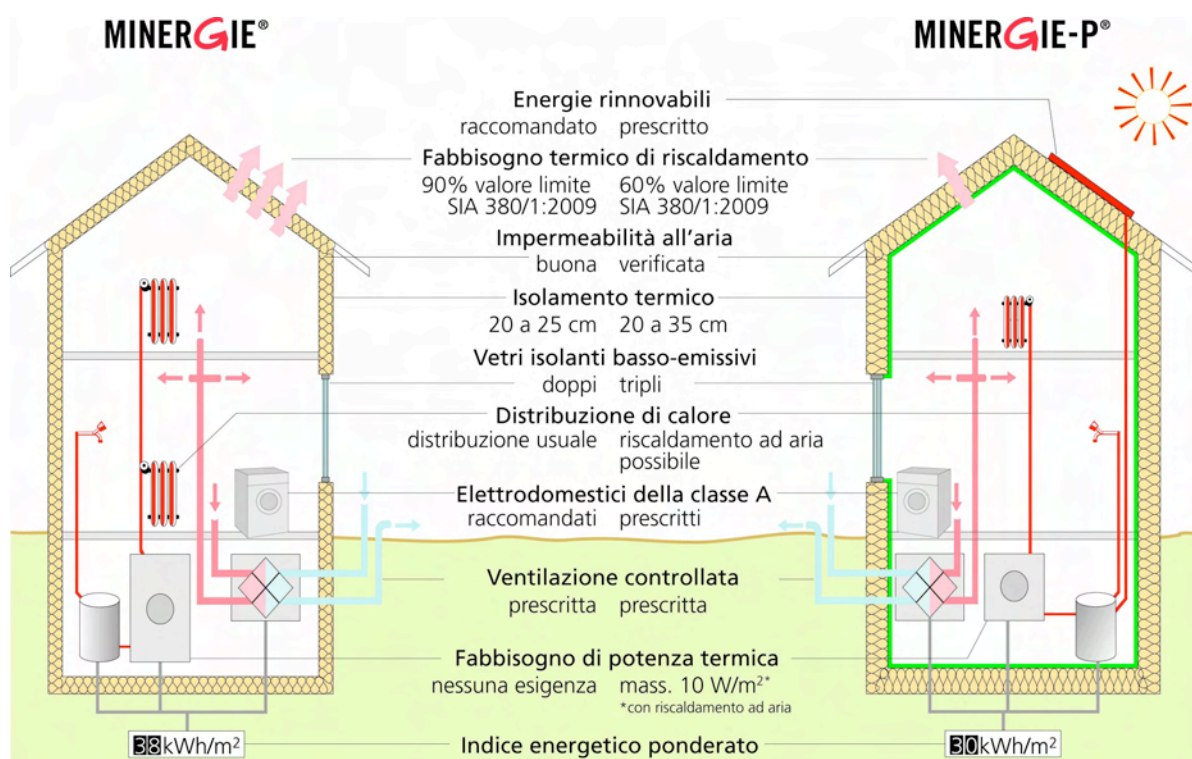


Figura 237 - Confronto tra gli standard MINERGIE e MINERGIE-P - fonte MINERGIE

Un'abitazione per avere la certificazione MINERGIE deve avere i seguenti requisiti:

- Un impianto di ventilazione meccanica con recupero di calore;
- Un fabbisogno termico per il riscaldamento (Q_h) \leq 90% del valore limite ($Q_{h \text{ lim.}}$) previsto dalla norma SIA 380/1:2009;
- Un indice energetico ponderato finale (E_w) \leq 38 kWh/m²;
- Un extra costo massimo del 10% rispetto ad un edificio tradizionale;
- Una soluzione per l'eliminazione del surriscaldamento estivo.

Un'abitazione per avere la certificazione MINERGIE-P deve avere i seguenti requisiti:

- Un impianto di ventilazione meccanica con recupero di calore;
- Un fabbisogno specifico di potenza termica per il riscaldamento dell'aria $\leq 10 \text{ W/m}^2$;
- Un fabbisogno termico per il riscaldamento (Q_h) $\leq 60\%$ del valore limite ($Q_{h \text{ lim.}}$) previsto dalla norma SIA 380/1:2009;
- Un indice energetico ponderato finale (E_w) $\leq 30 \text{ kWh/m}^2$;
- Un extra costo massimo del 15% rispetto ad un edificio tradizionale;
- Una soluzione per l'eliminazione del surriscaldamento estivo;
- Una permeabilità dell'aria $\leq 0,6/\text{h}$ (n50);
- Elettrodomestici di classe A o A+.

I controlli e le certificazioni

Il processo di certificazione è identico per tutti e due gli standard e funziona in questo modo. I progettisti (architetti o ingegneri) inoltrano la domanda⁵⁹ all'ufficio di certificazione cantonale MINERGIE. L'ufficio di certificazione controlla la documentazione e se sono soddisfatti tutti i requisiti, rilascia la promessa di certificazione (certificato provvisorio). A lavori ultimati i richiedenti comunicano all'ufficio di certificazione MINERGIE la conclusione dei lavori e l'avvenuta realizzazione secondo i piani (la responsabilità di quanto dichiarato è dei tecnici).



Fig. 238 - I proprietari di una casa con il certificato

L'ufficio di certificazione MINERGIE consegna il certificato definitivo con numero di etichetta. I controlli vengono invece effettuati a campione, sia negli edifici finiti che nei cantieri, durante la fase di costruzione.

⁵⁹ La domanda contiene il calcolo ai sensi della norma SIA 380/01 «Energia termica nelle costruzioni», la verifica MINERGIE e la documentazione utilizzata per la licenza edilizia.

11.7 Lo standard ECO

Lo standard ECO rappresenta un'integrazione dello standard MINERGIE e MINERGIE-P. Le costruzioni certificate ECO infatti integrano le qualità di comfort ed efficienza energetica proprie dello standard MINERGIE con i metodi di costruzione ecologici e sani della ECO BAU. In particolare viene data importanza alla qualità dell'aria (per gli aspetti legati alla salute) e ai materiali (per gli aspetti legati alla costruzione ecologica).

MINERGIE-ECO®			
	MINERGIE®	ECO	
Migliore qualità di vita	Benessere ■ Benessere termico elevato grazie ad un involucro ermetico e ben isolato ■ Benessere elevato grazie ad una efficace protezione contro il surriscaldamento estivo ■ Ricambio d'aria sistematico, preferibilmente ad aerazione controllata, sia per nuove costruzioni che per risanamenti	Salute ■ Illuminazione naturale ottimizzata ■ Buona protezione acustica contro i rumori ■ Riduzione degli agenti inquinanti derivanti dai materiali da costruzione nei locali interni ■ Minima radiazione ionizzante (Radon)	Luce
			Rumore
			Aria interna
Rispetto per l'ambiente	Efficienza energetica Per ogni tipo di utilizzazione ■ il consumo energetico totale è almeno 25% inferiore ■ il consumo di energia fossile è almeno 50% inferiore alla media degli standard tecnici attuali	Ecologia nella costruzione ■ Materie prime locali disponibili e materiale da costruzione riciclato ■ Materiali da costruzione poco nocivi per l'ambiente nella fase di fabbricazione e lavorazione ■ Costruzioni facilmente demolibili con materiali da costruzione che possono essere riutilizzati o eliminati senza nuocere all'ambiente	Materie prime
			Fabbricazione
			Demolizione

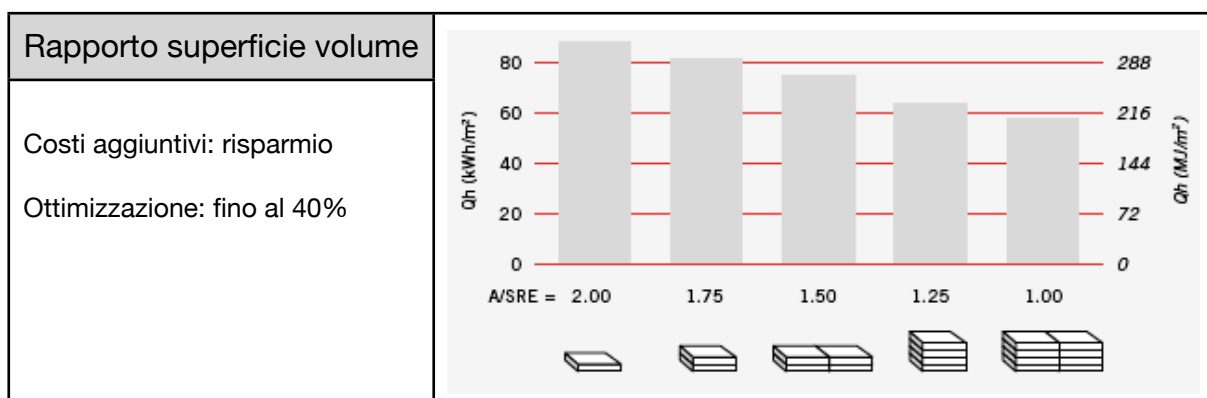
Figura 239 - Lo standard MINERGIE-ECO in breve - fonte MINERGIE

In pratica bisogna realizzare l'edificio (con i requisiti per la certificazione MINERGIE o MINERGIE-P) senza utilizzare: preservanti del legno nei locali interni; prodotti contenenti solventi; formaldeide su grandi superfici di legno; materiali da costruzione contenenti metalli pesanti; calcestruzzo di riciclo; legno extra-europeo senza certificato di durezza; vetrate insonorizzanti riempite con gas SF6 e schiume di montaggio e riempimento. L'attuazione dei criteri MINERGIE-ECO avviene in due momenti distinti, dapprima nelle fasi di studio

preliminare e progettazione e poi nel capitolato e nella realizzazione. Si tratta delle fasi del modello di prestazioni previste dalla norma SIA 112, in tal modo MINERGIE-ECO utilizza i sistemi previsti dall'ordinamento Svizzero. Il processo di certificazione è simile al precedente e funziona in questo modo. I progettisti (architetti o ingegneri) inoltrano la domanda all'ufficio di certificazione cantonale MINERGIE, che a sua volta inoltra all'ufficio centrale MINERGIE-ECO il progetto ed il capitolato con l'elenco dei materiali. Gli uffici di certificazione controllano la documentazione e se sono soddisfatti tutti i requisiti, l'ufficio di certificazione cantonale rilascia la promessa di certificazione (certificato provvisorio). A lavori ultimati i richiedenti comunicano all'ufficio di certificazione MINERGIE la conclusione dei lavori e l'avvenuta realizzazione secondo i piani. L'edificio viene quindi controllato dai tecnici MINERGIE e se tutto è come dichiarato l'ufficio di certificazione MINERGIE consegna il certificato definitivo (MINERGIE-ECO o MINERGIE-P-ECO).

11.8 I principi della bioclimatica ed i MINERGIE

Nello standard MINERGIE i principi della bioclimatica hanno molta importanza, soprattutto dal punto di vista economico. Difatti, il concetto Svizzero di risparmio ed il vincolo di realizzare gli edifici con un extra costo massimo del 10%, ha portato l'associazione MINERGIE a quantificare economicamente la convenienza di tutte le possibili soluzioni bioclimatiche. Essendo l'argomento interessante riportiamo le loro quantificazioni:



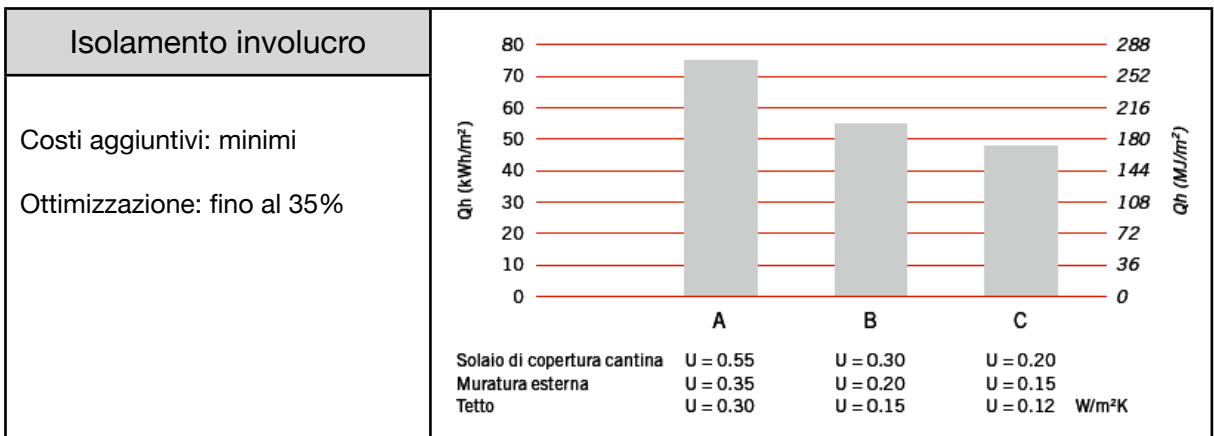
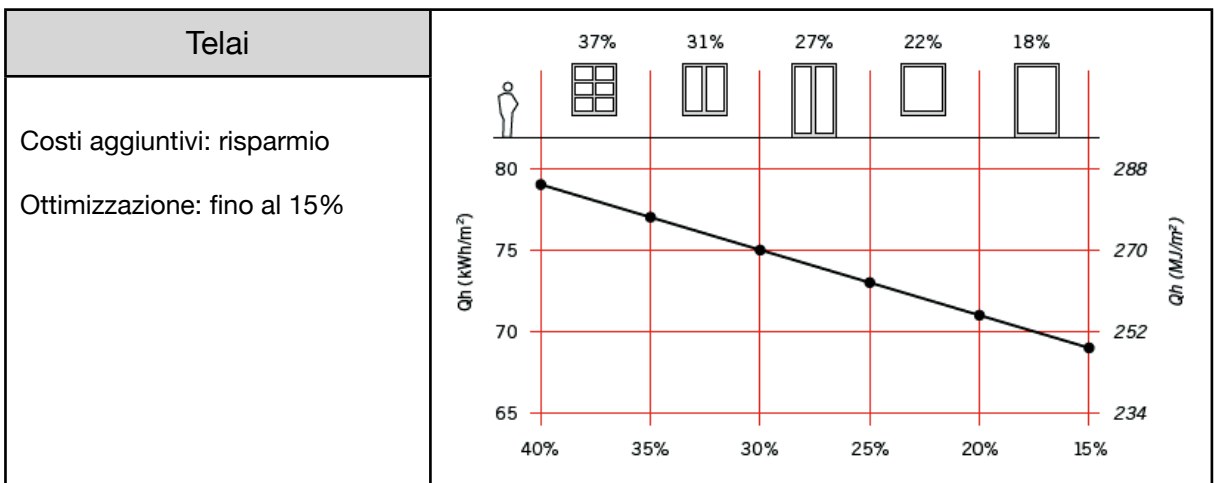
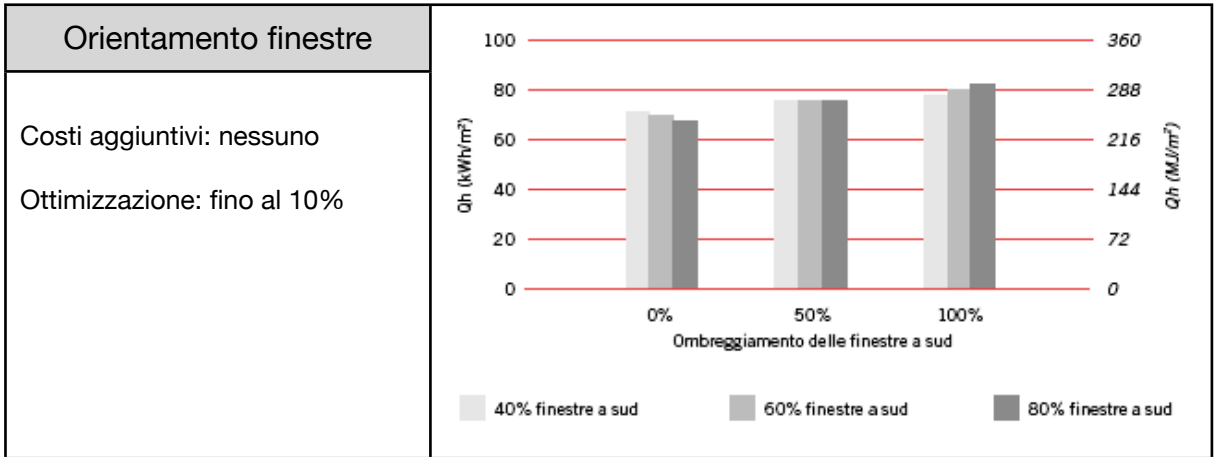
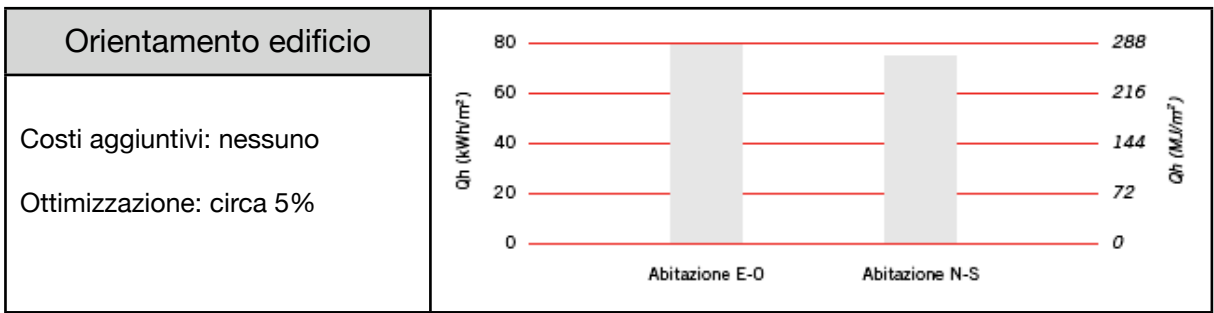


Tabella 25 - Quantificazione economica delle soluzioni bioclimatiche - fonte MINERGIE

ESEMPI DI EDIFICI CERTIFICATI

12.1 Localizzazione

Nel capitolo vengono presi in esame alcuni edifici certificati realizzati tra il 2004 ed il 2008. Per ogni edificio è stata fatta una scheda che fornisce una breve descrizione dell'orientamento, della forma e della disposizione interna dell'edificio, analizza i dati climatici del luogo, le tecnologie costruttive e gli impianti utilizzati.

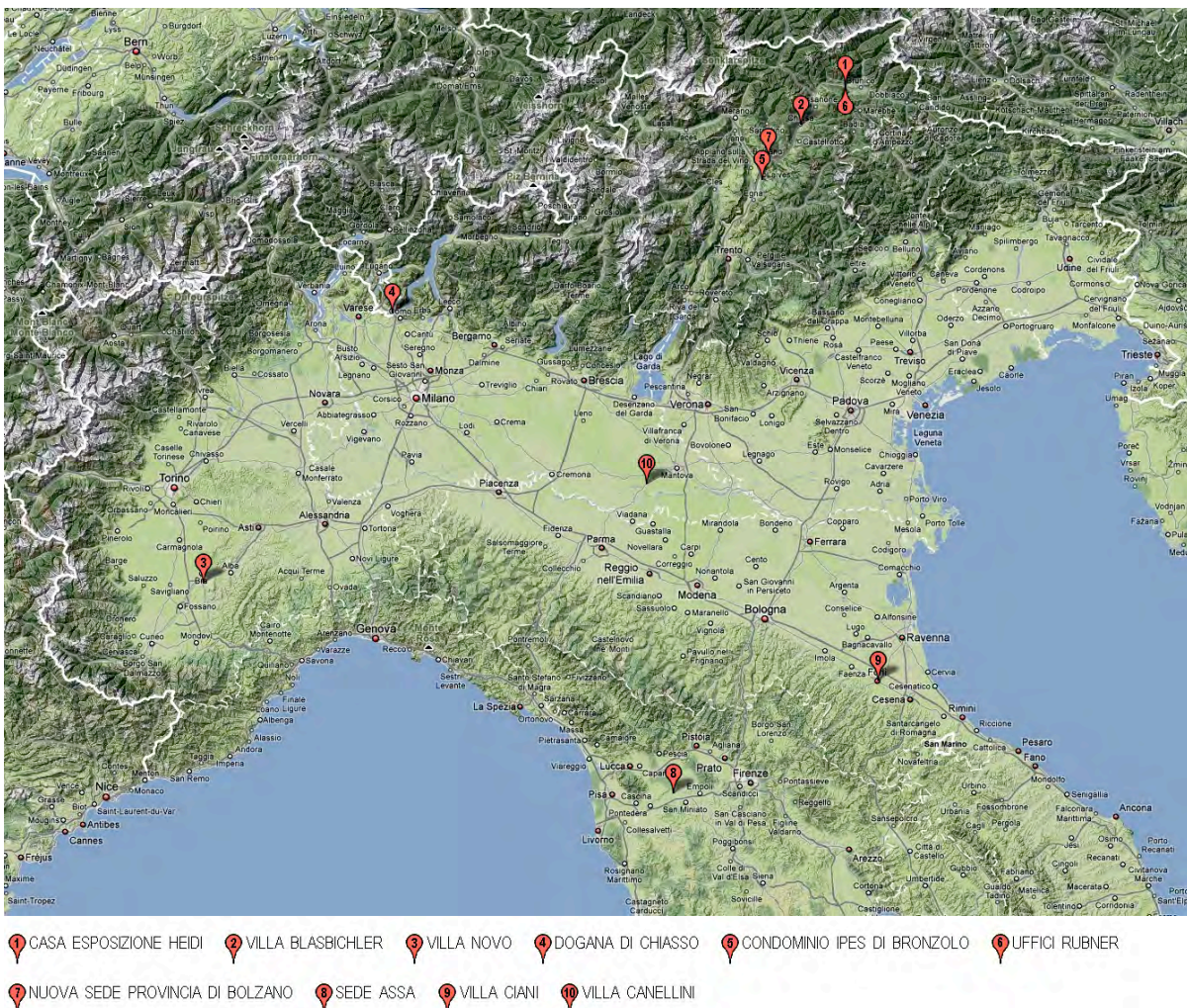


Fig. 240 – Localizzazione edifici

Questa breve disamina offre diverse chiavi di lettura, in cui è possibile vedere le influenze che le culture locali hanno su questi edifici, il modo in cui i vari standard interagiscono tra di loro e la rapida evoluzione che questi edifici hanno avuto in Italia, dai primi timidi adattamenti al clima mediterraneo alle più recenti e sicure realizzazioni.

12.1.1 Le influenze locali

Il primo “passivhaus” realizzato in Italia è l'edificio Klas, costruito nel 2000 a Malles (BZ) da un'impresa di costruzioni per la propria sede, utilizzando i canoni delle passivhaus tedesche.



Fig. 241 – L'edificio Klas (standard passivhaus)- archivio personale

Da allora, nella provincia di Bolzano, il numero di questi edifici è aumentato in modo esponenziale, favorito dai continui contatti con i vicini paesi d'Oltralpe e dalle iniziative portate avanti dall'amministrazione pubblica locale in merito al tema del risparmio energetico, quali ad esempio l'introduzione dello standard Casa Clima. La differenza sostanziale con le “passivhaus” mitteleuropee è la maggior attenzione posta dai professionisti altoatesini all'aspetto ecologico della progettazione. Questa attenzione alle tematiche ambientali, spesso voluta dalla committenza, ma sicuramente stimolata a livello amministrativo dalla Provincia Autonoma di Bolzano, ha incentivato l'utilizzo di materiali ecocompatibili. Questa scelta "ecologica" ha portato ad una maggior selezione di materiali e tecniche di costruzione ma anche ad un aumento dei costi. Infatti, se i materiali isolanti sintetici raggiungono normalmente valori di conducibilità termica molto bassi, con λ di 0,025 W/mK, quelli ecologici non scendono mai al di sotto di 0,04 W/mK e considerato che l'isolamento

dell'involucro in un edificio a risparmio energetico è uno degli elementi essenziali, si può ben capire come questa scelta comporti spessori maggiori di isolamento (indiscutibili sono però i vantaggi di questi edifici, soprattutto per quanto riguarda la gestione ecologica degli stessi). Di conseguenza gli edifici CasaClima e Passivhaus realizzati in Trentino Alto Adige sono più bioclimatici dei loro “colleghi” costruiti nelle altre regioni d'Italia.



Fig. 242 – CasaClima a Chienes (BZ) ed a Tromello (PV)- archivio personale



Fig. 243 – Passivhaus a Chiusa (BZ) ed a Cherasco (CN)- archivio personale

Quando è stato possibile gli edifici sono stati orientati a sud, o comunque la disposizione interna dei locali è stata organizzata in modo tale che i principali ambienti di soggiorno fossero orientati in questa direzione. La forma degli edifici è sempre abbastanza compatta, senza troppe rientranze o sporgenze e l'isolamento termico è realizzato comunemente con sughero nero, calce espansa in blocchi, fibra di lino, cellulosa in fiocchi e canapa (solo per dividere l'edificio dal terreno si usa come isolante il vetro alveolare). Per la finitura esterna

vengono usati intonaci al silicato, mentre per quello interno intonaci di argilla, intonaci di calce oppure pannelli in cartongesso (in ogni caso materiali traspiranti per evitare formazioni di condensa). Per le coperture si utilizzano volentieri tetti verdi mentre al riscaldamento dell'edificio provvede spesso una caldaia a pellet.



Fig. 244 – Il tetto verde dell'ex Palazzo delle poste (BZ) - fonte delle immagini Michael Tribus

12.1.2 Le interazioni degli standard energetici

Negli approfondimenti sugli standard energetici abbiamo appreso che:

- una Passivhaus è un edificio che ha un involucro opaco con $U \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, finestre con trasmittanza $U_w \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ed al cui riscaldamento e raffreddamento provvede un impianto di ventilazione meccanica con recuperatore di calore (normalmente provvisto di uno scambiatore di calore interrato) ed una piccola pompa di calore per la produzione di acqua calda (eventualmente integrato da collettori solari);
- una CasaClima A è un edificio dotato di un involucro opaco con $U \leq 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, finestre con una trasmittanza U_w inferiore ai $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ed al cui riscaldamento provvede un impianto a pavimento preferibilmente alimentato da una caldaia a pellets od a cippato;

- una MINERGIE è un edificio dotato di un involucro opaco con $U \leq 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, finestre con una trasmittanza U_w inferiore ai $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ed al cui riscaldamento provvede un impianto di ventilazione meccanica con recuperatore di calore assieme ad un impianto “autoregolante” a pavimento spesso alimentato da una pompa di calore geotermica.

In Italia, dove l’Attestato CasaClima è anche certificato energetico⁶⁰ molti edifici hanno una doppia certificazione, ad esempio Passivhaus e appunto CasaClima. Questo ha fatto sì che i progettisti italiani abbiano imparato a prendere il meglio da ognuno dei tre standard energetici, per adattarli alle normative, alle esigenze dell’utenza ed al clima locale. Un chiaro esempio di questa interazione è la sede della Rubner a Chienes (BZ), un edificio con un involucro tipico delle Passivhaus, con sistemi di schermatura estivi CasaClima, un impianto di ventilazione meccanica con recuperatore di calore ed un impianto “autoregolante” a pavimento alimentato da una da una caldaia a cippato. Questo edificio, pur avendo “solo” la certificazione CasaClima Oro^{più}, potrebbe certamente ottenere anche le certificazioni Passivhaus e MINERGIE-P-ECO.



Fig. 245 – *Uffici Rubner a Chienes (BZ)* - archivio personale

⁶⁰ nelle regioni Trentino Alto Adige e Veneto

12.1.3 L'evoluzione degli edifici

Tutti gli standard energetici sono stati pensati per il clima alpino o del centro Europa, luoghi in cui il problema principale è quello del riscaldamento. Quando i professionisti italiani hanno dovuto progettare questi edifici nei nostri climi, si sono dovuti inventare delle soluzioni per risolvere il problema del surriscaldamento estivo⁶¹. Nelle pagine successive è quindi possibile vedere l'evoluzione delle strategie di raffrescamento, dallo sperimentale “solaio freddo” adottato nella casa di Cherasco alla ormai matura “ventilazione naturale” nella villa di Forlì.



Fig. 246 – La Passivhaus di Cherasco (a sinistra) e di Forlì (a destra) - archivio personale

Oppure ammirare alcune realizzazioni in standard ormai “maturi”, come la Dogana commerciale di Chiasso Brogeda (Svizzera) o l'ex palazzo delle poste a Bolzano, in cui le canalizzazioni per l'areazione meccanica sono diventate elementi di arredo.

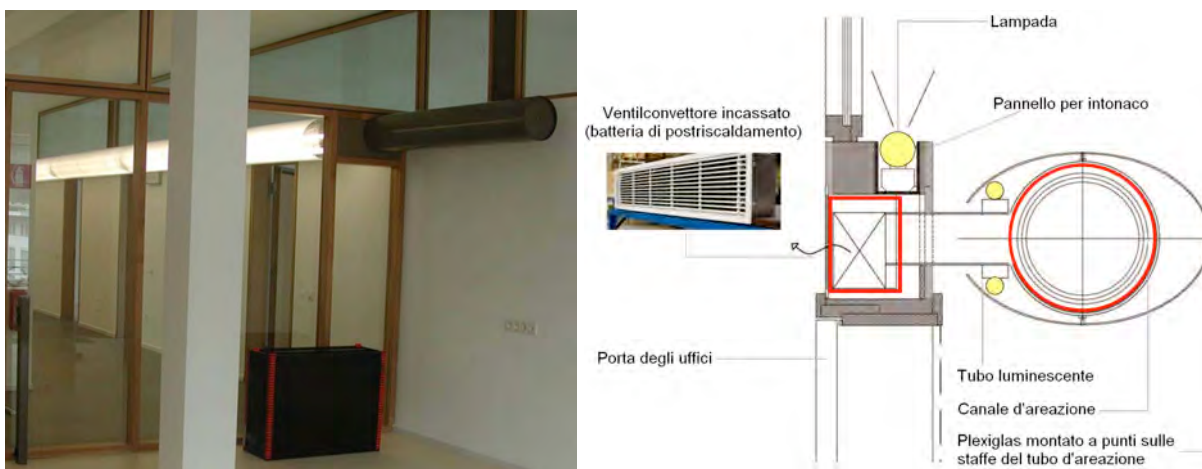


Fig. 247 – Canali d'areazione dell'ex palazzo delle poste a Bolzano - fonte delle immagini Michael Tribus

⁶¹ Il progetto Passive-On si è concluso nel settembre 2006

12.2 Casa esposizione Heidi

Proprietà: Gruppo Rubner
Localizzazione: Chienes (BZ) - Trentino Alto Adige
Gradi giorno: 3741
Uso primario: Abitazione
Progetto: Matteo Thun
Anno di completamento: 2004

Standard: CasaClima A^{più}

Heidi è una casa prefabbricata in legno costituita da un sistema modulare a bassa dispersione termica, frutto di un progetto in cui sono stati adottati criteri ecologici e bioclimatici di estrema attualità. L'intera struttura presenta un sistema costruttivo ad intelaiatura e travatura lamellare (pacchetto parete a telaio e lastre della Rubner) in legno di pino nordico massiccio con valori di trasmittanza U che variano dai 0,17 W/m²K delle pareti ai 0,20 W/m²K della copertura. Gli elementi (tetto, pareti, finestre) hanno una tenuta all'aria inferiore a 1/h (n50), permettendo all'edificio di raggiungere parametri di efficienza energetica notevolmente



Fig. 248 – Vista da sud ovest



Fig. 249 – Vista da sud



Fig. 250 – Vista da nord ovest



Fig. 251 – Pianta piano terra- fonte delle immagini gruppo Rubner

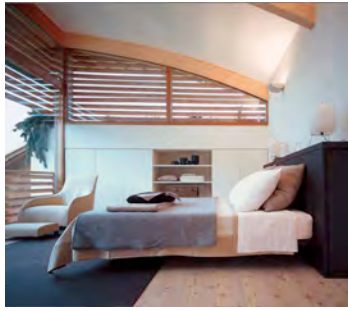


Fig. 252 – Camera da letto



Fig. 253 – Vista interna



Fig. 254 – Vista bagno

superiori alle normali abitazioni, con un fabbisogno di energia utile per il riscaldamento che si aggira intorno ai 15 kWh/m²a. L'abitazione, a due piani (collegati tra loro da una scala in faggio massiccio spazzolato e trattato a cera), presenta una copertura ad arco chiusa verso nord che si alza a sud aprendosi verso un'enorme vetrata per raccogliere l'energia e la luce del sole. La struttura, le pareti esterne, quelle divisorie e i soffitti sono tutti in legno. La parete rivolta verso nord è rivestita di tavole in larice non trattato mentre le altre superfici esterne sono ricoperte da uno strato d'intonaco a base minerale. Alcune pareti esterne sono rivestite da una struttura lamellare in larice non trattato che funziona quale protezione supplementare dagli agenti atmosferici. In larice sono anche i frangisole a sezione ellittica e le gronde. L'isolamento delle pareti è realizzato in pannelli di sughero, in elementi di carta

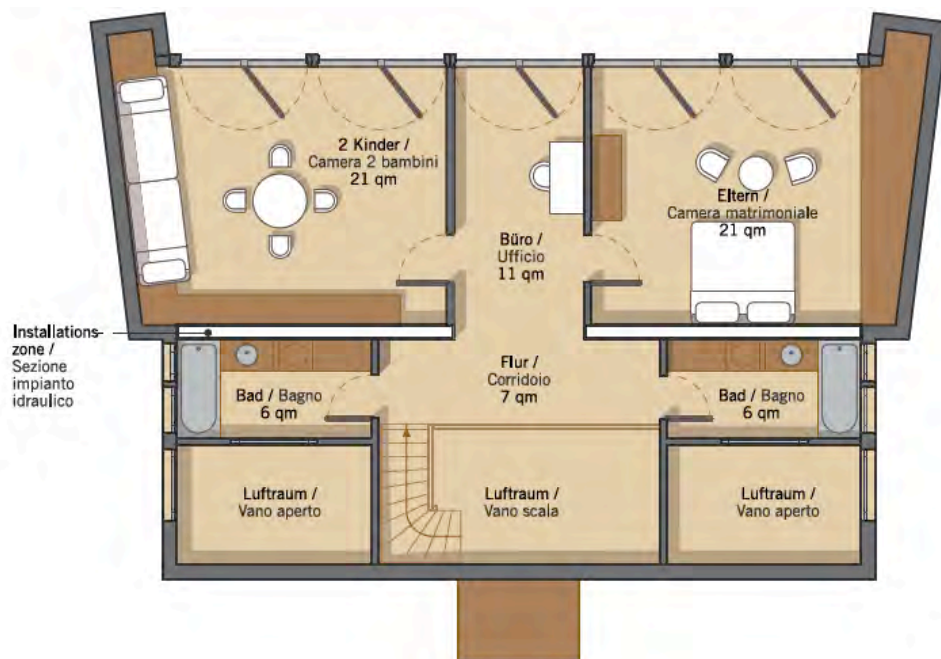


Fig. 255 – Pianta piano primo



Fig. 256 – Vista da est con in evidenza la struttura frangisole in larice

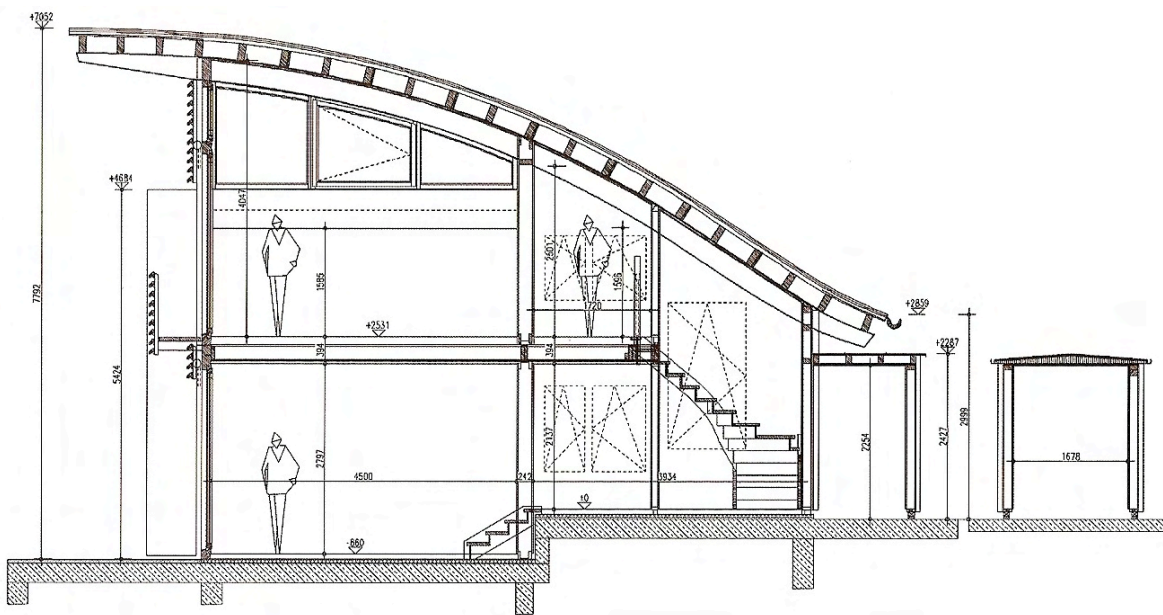


Fig. 257 – Sezione trasversale

riciclata e in fibra di cellulosa; la barriera al vapore è costituita da carta cerata. La facciata sud è definita da un'ampia finestratura, anch'essa parzialmente schermata da una struttura lamellare in larice non trattato che protegge dagli agenti atmosferici e dal sole. Al piano superiore questa stessa struttura funziona come parapetto. Solo le fondamenta e il rivestimento del tetto non sono in legno ma rispettivamente in calcestruzzo e in lamiera zincata a caldo. Il deflusso dell'acqua piovana avviene attraverso una gronda in lamiera zincata (su entrambi i terminali della gronda è predisposto un pozzetto di deflusso, incassato nel terreno). Tutti i punti di raccolta e i terminali di testata sono rivestiti di lamiera zincata, mentre tutte le aperture d'aerazione sottotegola sono provviste di una grata protettiva. Le tettoie sporgenti presentano, nella parte terminale, delle travi portanti che le sostengono, un profilo rastremato e superfici a vista rivestite di tavole profilate in abete. Internamente l'abitazione è realizzata con pavimenti in legno impregnati con oli e cere naturali, mentre il bagno è parzialmente rivestito in ceramica. Le stanze nobili (soggiorno e camere da letto) si affacciano a sud mentre le stanze di servizio sono a nord, nell'osservanza dei principi della bioclimatica. Le pareti divisorie presentano un semplice sopraluce che permette il diffondersi della luce nelle varie ore del giorno ed il passaggio dell'aria immessa dal sistema di areazione a recupero di calore (da posizionarsi sotto l'edificio).

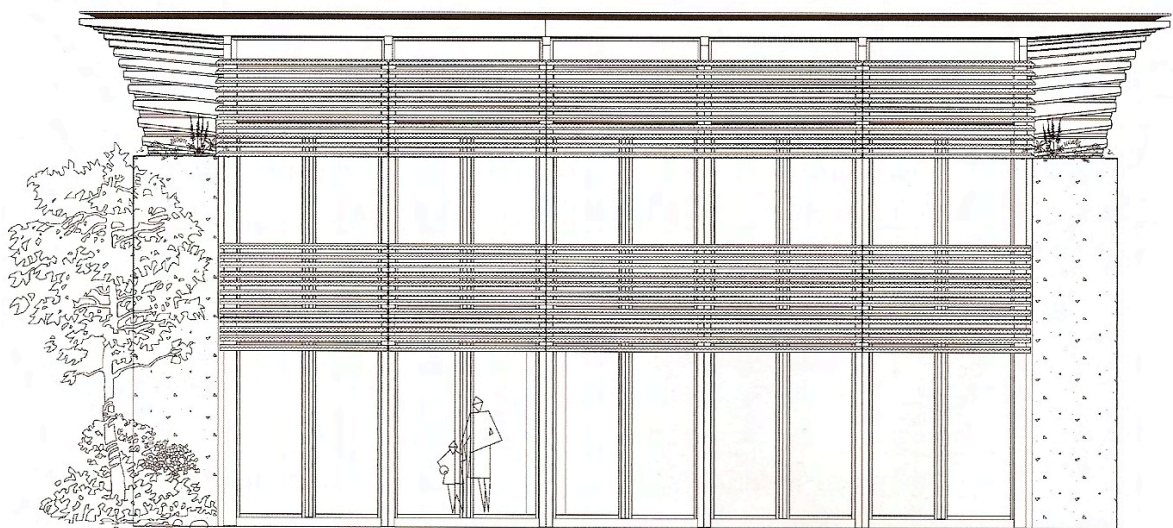


Fig. 258 – *Prospetto sud*

12.3 Villa Blasbichler

Proprietà: Josef Blasbichler
Localizzazione: Chiusa (BZ) - Trentino Alto Adige
Gradi giorno: 3449
Uso primario: Abitazione
Progetto: Renato Corradini
Anno di completamento: 2004

Standard: Passivhaus & CasaClima ORO^{più}
Fabbisogno di energia utile per il riscaldamento: 6 kWh/m²a (ProCasaClima)

L'edificio (bifamiliare) è stato realizzato a Chiusa, un comune a 523 metri sul livello del mare. L'ottimale forma del terreno ha consentito di orientare l'edificio lungo l'asse est ovest, permettendo di organizzare gli appartamenti secondo i principi della bioclimatica (i locali nobili verso sud). La pendenza del terreno è stata sfruttata per realizzare un piano interrato che va oltre la proiezione della superficie del piano terra, in cui sono stati ricavati un mini appartamento, una cantina e un locale tecnico. L'edificio comprende due appartamenti: uno più



Fig. 259 – Vista da est



Fig. 260 – Vista da sud ovest



Fig. 261 – Facciata principale- fonte delle immagini famiglia Blasbichler

piccolo posto, come già detto, nella parte orientata a sud del piano interrato (a basso consumo energetico), ed un altro, in standard “passivhaus”, che occupa entrambi i piani superiori. L'appartamento passivo si sviluppa su due piani ed è organizzato attorno ad un vano scala che collega il piano terra, dove è posta la zona giorno, al primo piano, dove invece si trova la zona notte. Per soddisfare le richieste del committente nel prospetto sud è stata realizzata una serra, accessibile sia dal cortile che dal soggiorno (entrambe le vetrate sono a doppio vetro, isolando in tal modo la zona giorno dall'esterno con una quadruplice vetrata). Sono, inoltre, stati realizzati due balconi, a est e ad ovest, con struttura autoportante in acciaio per evitare la formazione di ponti termici (due pilastri della struttura sono stati integrati nel piano dell'isolamento dell'edificio e ricoperti da un pannello di XPS intonacato). La struttura portante dell'edificio è in cemento armato con pareti di tamponamento in laterizio tradizionale da 25 cm, con $\lambda = 0,39 \text{ W/mK}$, e un isolamento esterno in calce espansa da 28 cm di spessore, con $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$, protetto da un intonaco esterno al silicato. La trasmittanza media totale della parete esterna raggiunge così un



Fig. 262 – Panorama osservato dalla serra solare

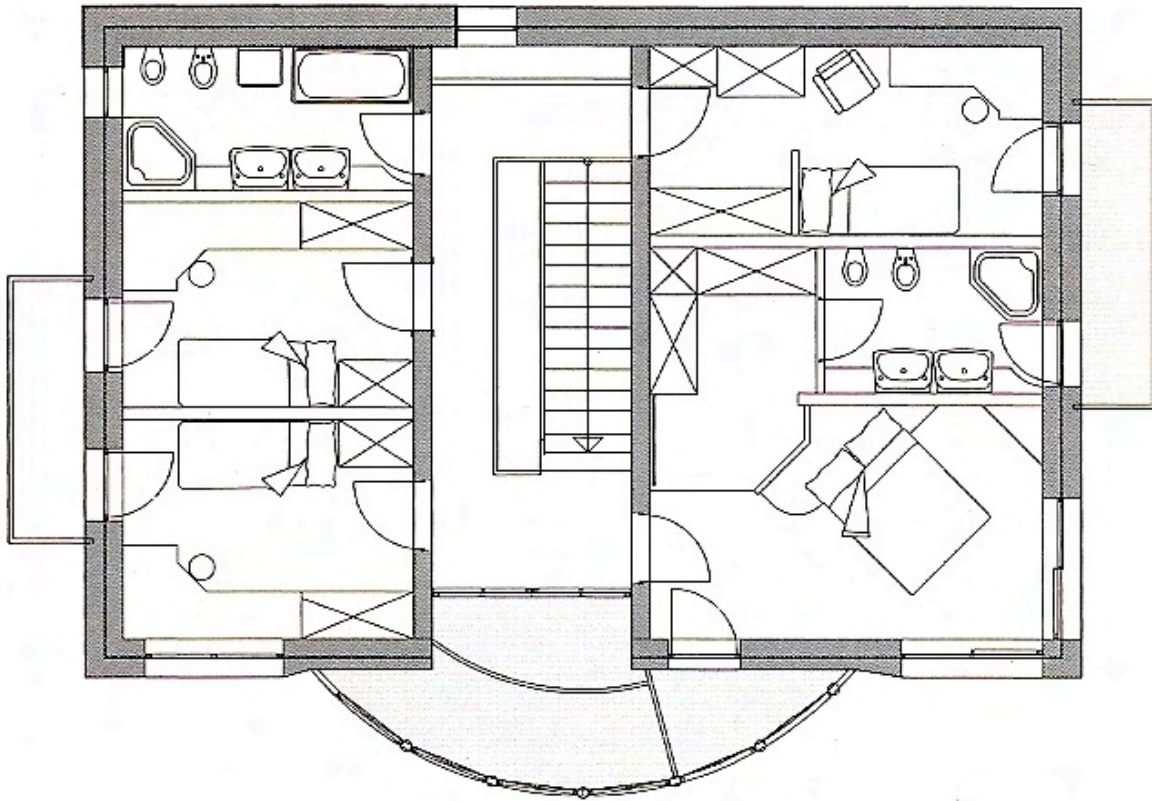


Fig. 263 – *Pianta piano primo*

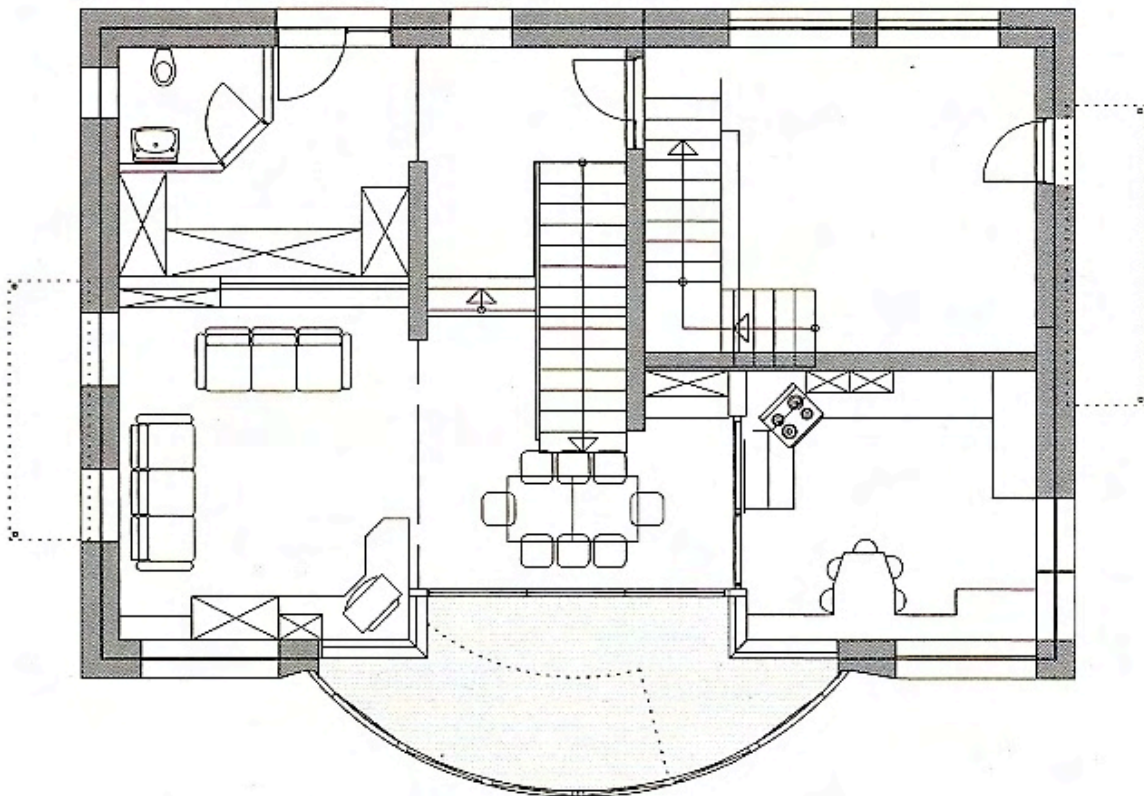


Fig. 264 – *Pianta piano terra*

valore U di $0,104 \text{ W/m}^2\text{K}$. Il solaio verso il piano interrato è stato realizzato con una struttura in laterizio armato prefabbricato da 22 cm ($\lambda = 2,1 \text{ W/mK}$), un isolamento in fiocchi di cellulosa dello spessore di 35 cm ($\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$), trattenuto da pannelli in cartongesso da $1,3 \text{ cm}$, un massetto da 5 cm ($\lambda = 0,4 \text{ W/mK}$), una lastra anticalpestio in fibra di legno da 4 mm ($\lambda = 0,06 \text{ W/mK}$) e infine un pavimento in legno di $1,5 \text{ cm}$ di spessore ($\lambda = 0,15 \text{ W/mK}$) ottenendo un valore di trasmittanza U di $0,127 \text{ W/m}^2\text{K}$. Il tetto invece ha una struttura in laterizio armato prefabbricato da 20 cm ($\lambda = 2,1 \text{ W/mK}$), un isolamento in canapa dello spessore di 30 cm ($\lambda = 0,042 \text{ W/mK}$), un'intercapedine da 8 cm , creata con una struttura in legno per la ventilazione del tetto, e un manto di copertura in lamiera ($U = 0,116 \text{ W/m}^2\text{K}$). Le finestre utilizzate sono a triplo vetro con interposto gas Krypton ($U_w = 0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $g = 53\%$). L'impianto di riscaldamento è quello tipico delle "passivhaus" (scambiatore di calore interrato per il preriscaldamento dell'aria, impianto di ventilazione con recupero di calore e pompa di calore) integrato da una sonda geotermica e da un grande impianto solare per la produzione di acqua calda sanitaria. La tenuta all'aria, misurata con il Blower Door test, è di $0,6/\text{h}$ mentre il fabbisogno energetico dell'edificio è di $8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (calcolo PHPP).



Fig. 265 – Particolare dei collettori solari per la produzione dell'acqua calda

12.4 Villa Novo

Proprietà: Famiglia Novo
Localizzazione: Cherasco (CN) - Piemonte
Gradi giorno: 2612
Uso primario: Abitazione
Progetto: Maria Grazia Novo
Anno di completamento: 2005

Standard: Passivhaus
Fabbisogno di energia utile per il riscaldamento: 14,6 kWh/m²a (PHPP)

La casa nasce dalla ricostruzione integrale di un edificio preesistente (un fabbricato rurale del 1800) di cui è stato ripreso l'orientamento, la linea, la morfologia edilizia e i caratteri tipici. Con una superficie totale di 240 m² (140 m² al piano terra e 100 m² al piano primo) e un volume di circa 650 m³, l'edificio si presenta molto compatto (con un basso rapporto superficie/volume), con una parte bassa in mattoni a vista (recuperati dalla demolizione dell'edificio preesistente e in parte realizzati riproducendo la forma e i colori di quelli originari) e una più alta intonacata. Inoltre comprende un



Fig. 266 – Vista del fabbricato rurale (fronte nord)



Fig. 267 – Vista del fabbricato rurale (fronte strada)



Fig. 268 – Vista notturna dell'edificio (nord ovest)- fonte delle immagini arch. Maria Grazia Novo



Fig. 269 – *Persiane chiuse*



Fig. 270 – *Veneziana chiusa*

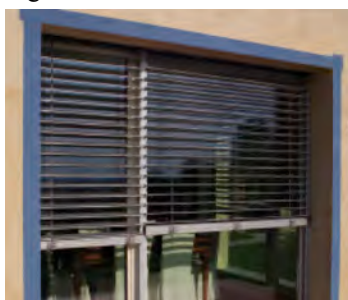


Fig. 271 – *Veneziana aperta (dettaglio dei sistemi oscuranti)*

interrato (non incluso nel progetto passivo) collegato con una scala esterna. Gli ambienti principali e le maggiori superfici finestrate si affacciano verso ovest, per una migliore distribuzione degli ambienti interni e una vista a 180° sulla cornice alpina, il lato est si affaccia invece sulla via pubblica. Il lato nord presenta una sola finestra larga 1 m al piano terra e un oblò del diametro di 60 cm che illumina la scala interna. Sul lato sud si è cercato di dare più luce con finestre da 1,50 m al piano primo, e da 3 m al piano terra. La strategia adottata per la realizzazione di questa “passivhaus” è quella di un elevato isolamento di tetto e pareti e un moderato isolamento del solaio verso terra. L’extra isolamento di tetto e pareti consente di proteggere l’abitazione dalle dispersioni di calore invernale e dagli eccessivi guadagni termici estivi mentre il moderato isolamento del solaio verso terra causa invece una perdita di efficienza energetica dell’abitazione nel periodo



Fig. 272 – *Prospetto sud ovest*

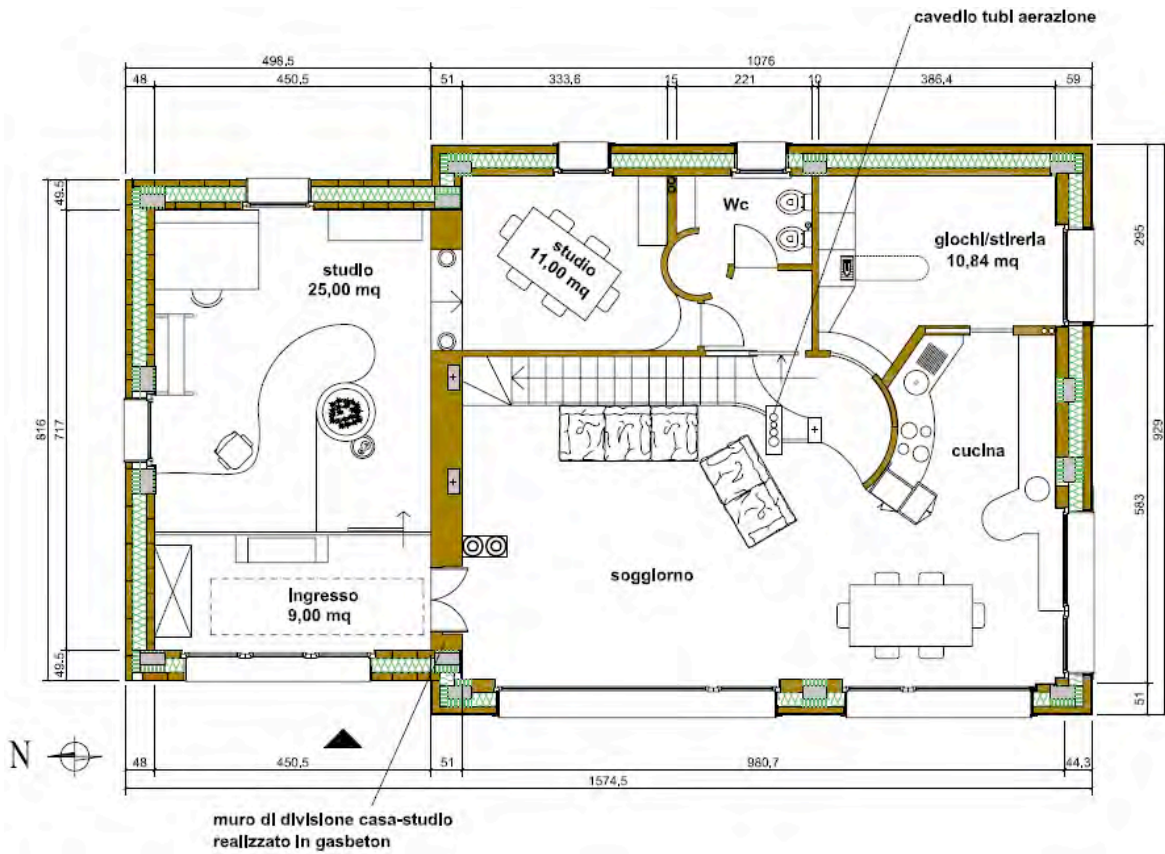


Fig. 273 – Pianta piano terra

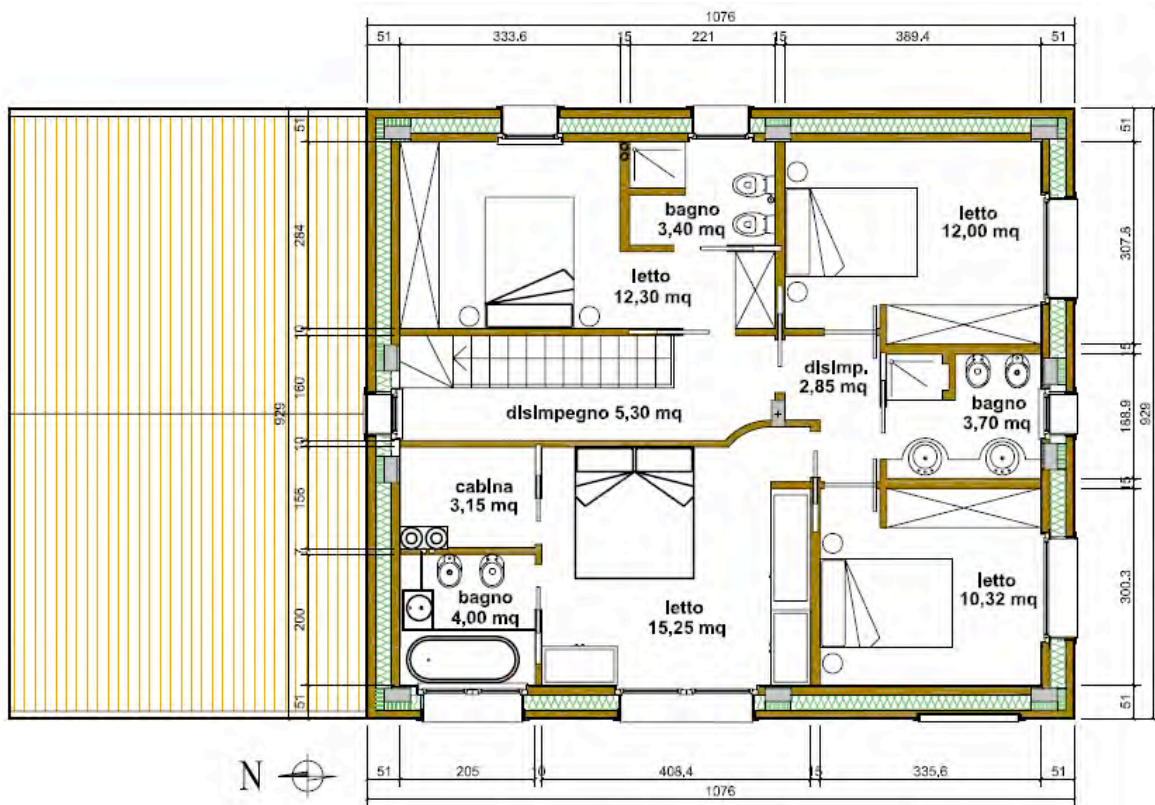


Fig. 274 – Pianta piano primo



Fig. 275 – *Isolamento parete*



Fig. 276 – *Isolamento tetto*

invernale ma consente lo smaltimento del calore durante il periodo estivo. Partendo da questo presupposto, la casa prevedeva la possibilità di un eventuale extra isolamento a placcaggio del soffitto del box, nel caso in cui il dimensionamento di progetto fosse risultato troppo penalizzante in inverno. Per esigenze di conservazione dei caratteri tipologici tradizionali della zona (mattoni faccia a vista), si è deciso di privilegiare un isolamento in intercapedine da 24 cm in lana di roccia. Il muro esterno è collegato alla struttura interna portante, realizzata in pilastri in cemento armato, attraverso graffe di acciaio. Questa scelta progettuale consente di realizzare uno strato isolante continuo (concetto del cappotto esterno) che permette di eliminare i ponti termici. Per quanto riguarda il comportamento estivo, le pareti presentano un coefficiente di attenuazione di 0,22 e uno

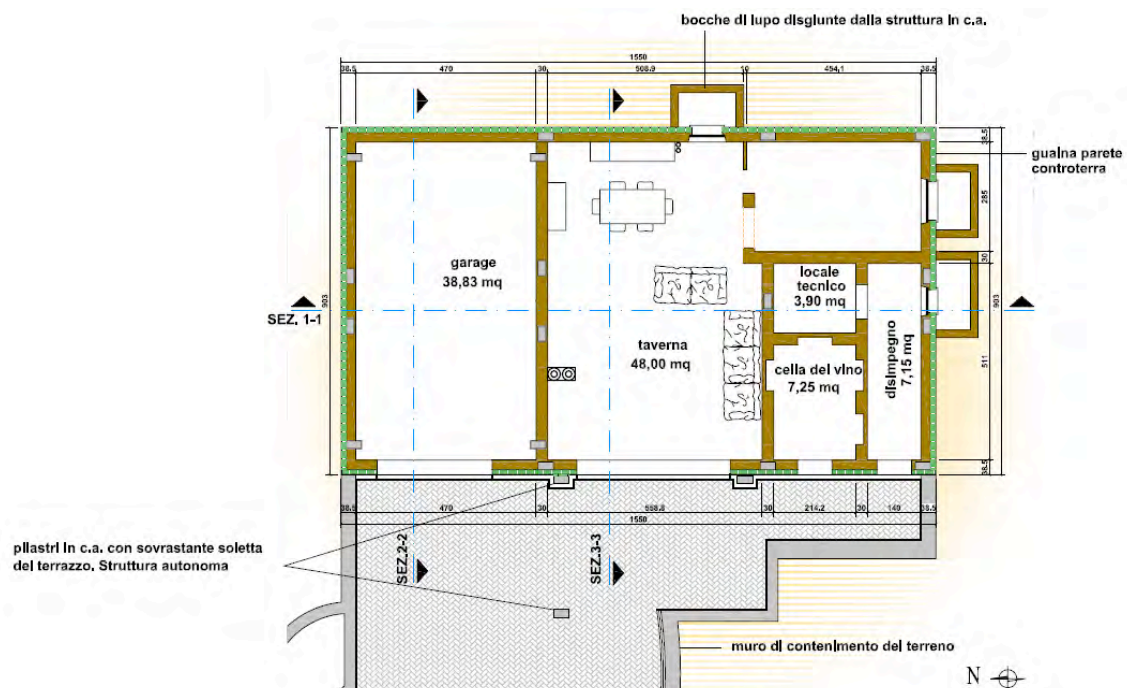


Fig. 277 – *Pianta piano interrato*

sfasamento di 12h 35'. Il problema del ponte termico (creato dalla terrazza) è stato risolto realizzando due strutture indipendenti, una struttura portante per l'edificio e una struttura portante indipendente, in CLS armato, per la terrazza. Le due strutture sono mantenute separate da un pannello in lana di roccia che svolge sia la funzione di isolare termicamente e acusticamente il piano seminterrato, sia quella di permettere movimenti indipendenti alle due strutture (giunto di dilatazione). L'involucro di copertura ha una trasmittanza di $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$, ottenuto con un doppio pannello di lana di roccia da 15 cm, posato su una barriera al vapore e su un assito in legno. Il manto di copertura è composto da coppi con una camera di ventilazione sottostante. L'involucro trasparente è composto da tripli vetri con doppia camera e gas argon ($U_w = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $g = 52\%$). Essendo la posa ideale di questi componenti direttamente sull'isolamento, i telai delle

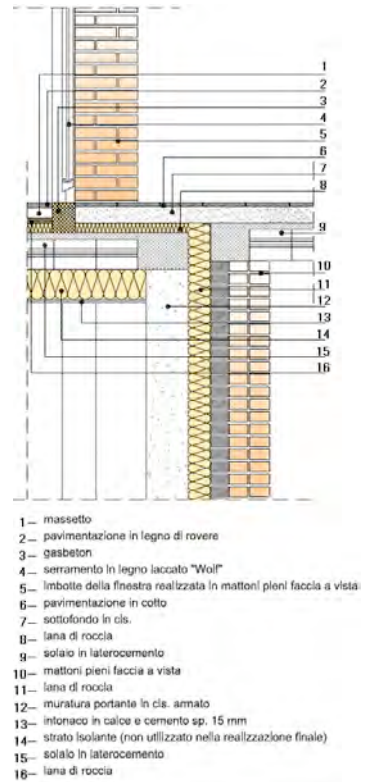


Fig. 278 – Risoluzione del ponte termico tra terrazzo ed edificio



Fig. 279 – Vista della terrazza

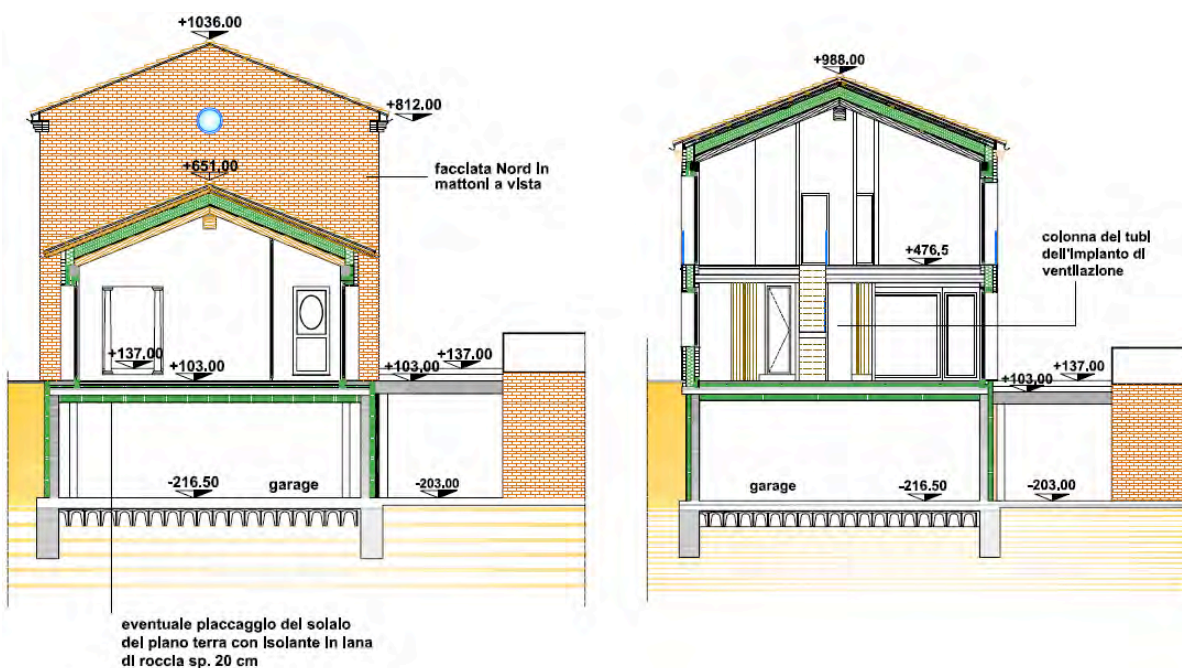


Fig. 280 – Sezioni



Fig. 281 – Imp. di ventilazione



Fig. 282 – L'impianto di ventilazione, distribuzione orizzontale e verticale (sopra)

portefinestre sono stati appoggiati direttamente su blocchi in cemento cellulare. Per l'ombreggiamento sono state usate veneziane orientabili esterne (in grado di fare passare l'irraggiamento solare durante il periodo invernale e rifletterlo durante il periodo estivo) e persiane in legno. Nell'edificio la ventilazione meccanica controllata è gestita da un aggregato compatto, ossia un'apparecchiatura che contiene una pompa di calore, un recuperatore di calore, un serbatoio per l'acqua e i ventilatori necessari alla circolazione dell'aria. Alla produzione di acqua calda sanitaria provvede la pompa di calore dell'aggregato compatto, anche se l'edificio è stato predisposto per l'installazione di un impianto solare termico. Nell'eventualità di un surriscaldamento estivo, è stata predisposta la realizzazione di un pergolato sui lati sud e ovest, mai realizzato, dato che fino ad oggi la temperatura interna è sempre stata inferiore ai 27°C.

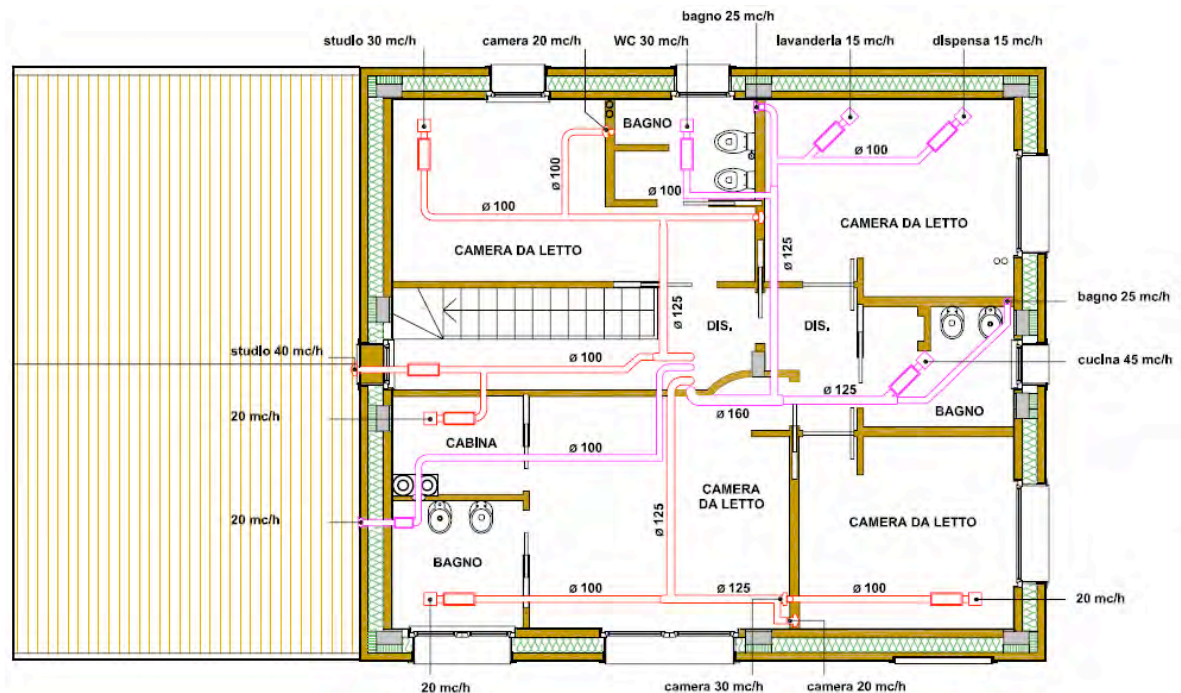


Fig. 283 – Schema dell'impianto di distribuzione dell'aria

12.5 Dogana commerciale di Chiasso Brogeda

Proprietà: Amministrazione federale delle dogane

Localizzazione: Chiasso - Svizzera

Gradi giorno: 2718

Uso primario: Palazzina uffici

Progetto: Massimo Marazzi - Elio Ostinelli

Anno di completamento: 2005

Standard: MINERGIE

Fabbisogno di energia utile per il riscaldamento: 23,9 kWh/m²a (SIA 380/1)

A dispetto dell'essenzialità con cui si mostra all'automobilista in transito alla frontiera stradale tra Italia e Svizzera, l'edificio amministrativo della dogana di Chiasso racchiude una molteplicità di valenze, che spaziano dalle scelte insediative alle scelte energetiche. Interpretando in modo risolutivo le esigenze della committenza, i progettisti suggeriscono la demolizione del vecchio edificio e propongono una razionalizzazione degli spazi, sia nella loro fruibilità esterna, legata alla movimentazione degli autocarri, sia nel rapporto con la città di Chiasso, del cui tessuto il nuovo edificio diviene parte integrante. Se, da un lato, l'area di intervento presentava problematiche di tipo urbanistico che hanno inciso prima di tutto sulla scelta di realizzare un nuovo edificio, non meno

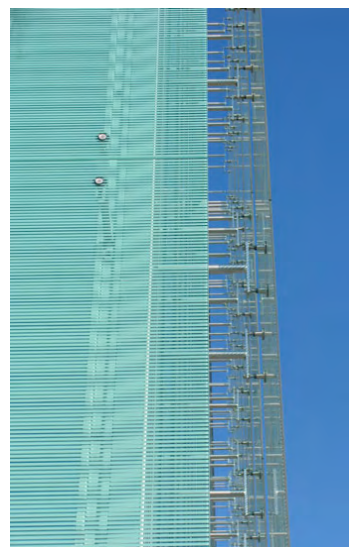


Fig. 284 – Vista d'angolo



Fig. 285 – Visuale dall'interno



Fig. 286 – Facciata principale (vista da nord) - fonte delle immagini Associazione MINERGIE



Fig. 287 – *Particolare angolo*

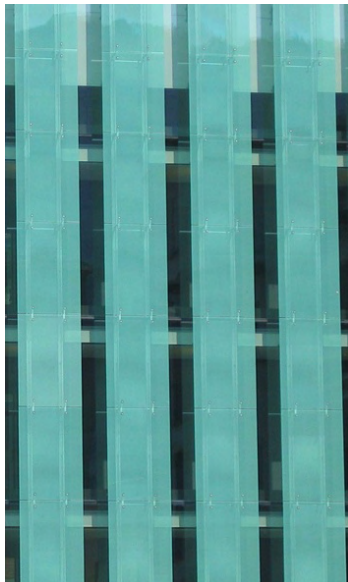


Fig. 288 – *Particolare fronte*



Fig. 289 – *Particolare lastre*

importante è stata la presenza di problematiche esterne legate alle sollecitazioni ambientali del contesto. A causa del traffico veicolare pesante questa porzione della città è divenuta un'area fortemente penalizzata in termini di qualità dell'aria e per la presenza di un elevato rumore esterno. Una nuova costruzione in questo contesto richiedeva quindi un approccio deciso per garantire, da un lato, che gli occupanti potessero fruire di condizioni di benessere all'interno dello stabile, dall'altro, che tali condizioni fossero raggiunte con ridotti consumi di energia. I committenti hanno quindi deciso che il nuovo edificio dovesse essere realizzato nello standard MINERGIE, metodo di costruzione e certificazione per edifici di qualità, sia riguardo al comfort che ai bassi consumi energetici, ampiamente riconosciuto e di largo successo in Svizzera. L'edificio, un parallelepipedo di forma allungata, si insedia sul limite sud del piazzale delle Dogane e la distribuzione interna risponde a una precisa zonizzazione funzionale che acquisisce anche un chiaro significato dal punto di vista energetico. Le risalite sono posizionate sulle testate dell'edificio e la distribuzione avviene attraverso un corridoio che percorre l'intera facciata sud, spazio considerabile a tutti gli effetti, come elemento di mediazione climatica tra esterno e interno, che protegge dall'irraggiamento solare estivo. Tutti gli ambienti lavorativi presentano quindi un unico affaccio verso nord giovandosi di una illuminazione tipo diffuso. Nel serrato

Sezione trasversale involucro

1. stratificazione copertura:

- membrana impermeabile in bitume-polimero con finitura ardesiata, sp. 3+3,5 mm
- Isolamento termico di vetro cellulare incollato a caldo, sp. 200 mm
- soletta di calcestruzzo armato, sp. 300 mm

2. lastra di vetro Float verde temperato ESG con Head Shock Test, bordo perimetrale molato filo lucido, serigrafato in bianco su faccia 2, sp. 8 mm

3. tubo di acciaio inox, Ø 30 mm, con elementi di aggancio dello stesso materiale

4. tubo di ferro 100x80x3 mm

5. vetrocamera isolante, sp. 53-54 mm, composto da:

- lastra esterna temperata ESG con Head Shock Test, sp. 6 mm
- intercapedine con gas Argon, sp. 16 mm
- lastra intermedia di Float temperata ESG, sp. 6 mm
- intercapedine con gas Argon, sp. 16 mm
- lastra interna stratificata: Float 4 mm+PVB 0,76 mm+Float basso emissiva 4 mm

6. tenda a rullo a caduta verticale

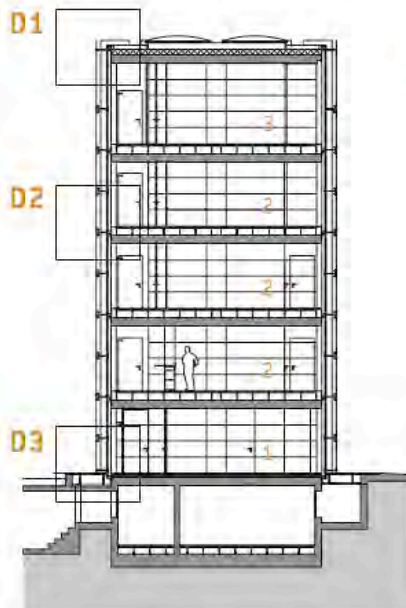
7. lamiera di ferro 980x610x10 mm, a piano terra 980x180x10 mm

8. stratificazione solaio interno:

- moquette antracite 500x500x8 mm
- pannelli di fibrogesso con sottostuttura, altezza totale 352 mm
- soletta di calcestruzzo armato, sp. 300 mm

9. stratificazione solaio piano terra:

- pavimento di resina sintetica colore nero, sp. 4 mm
- sottofondo cementizio CP 450, sp. 26 mm
- sottofondo cementizio CP 300, sp. 26 mm
- isolamento termico di vetro cellulare incollato a caldo, sp. 120 mm
- soletta di calcestruzzo armato, sp. 300 mm



Sezione trasversale BB.

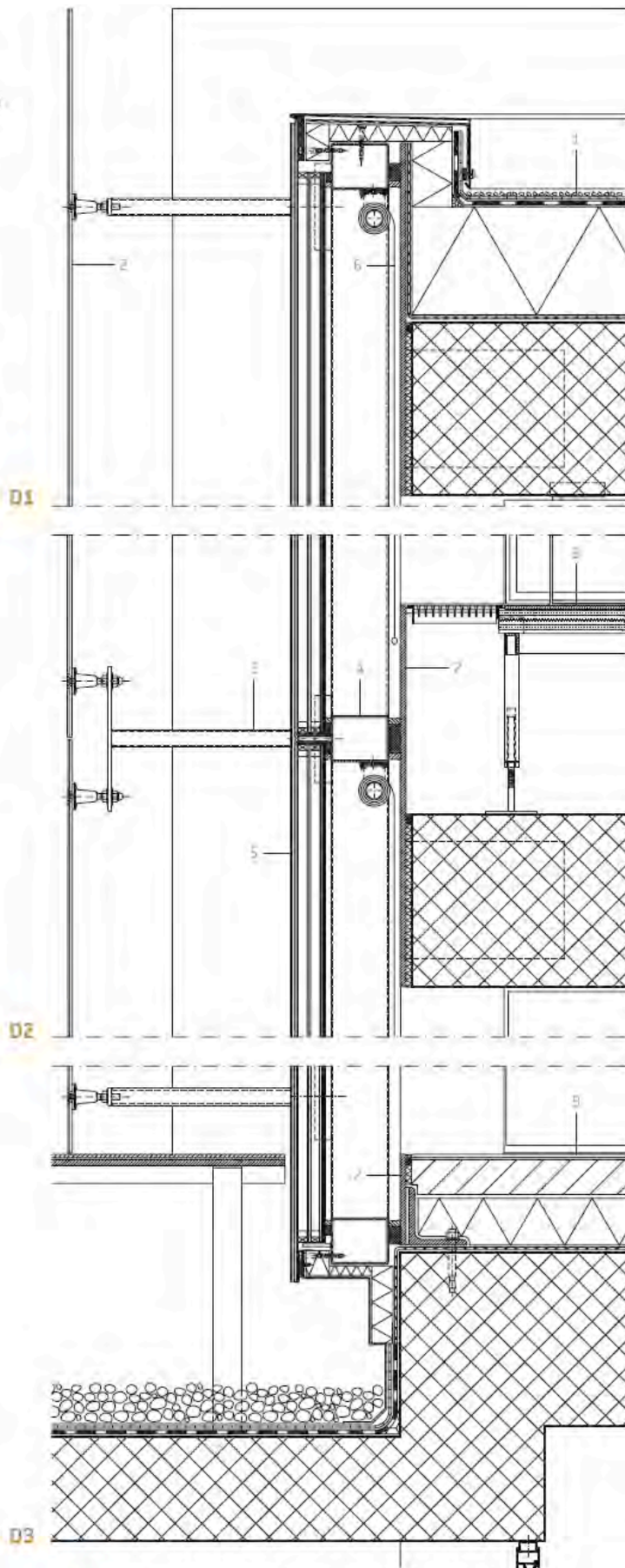


Fig. 290 – Sezione trasversale con particolari costruttivi - fonte dei disegni - Arketipo 05/06

iter che ha condotto alla realizzazione dell'edificio le proposte elaborate dai progettisti sono riconducibili a una continua rielaborazione dell'involucro. In tutte le varianti la presenza del vetro è stata una costante. La sinergia tra i progettisti e i consulenti energetici ha permesso di trovare soluzioni equilibrate sia sul piano tecnico e formale, sia sul piano energetico. In particolare, si è rivelato fondamentale il passaggio dalle prime soluzioni con un unico involucro completamente vetrato, a quella finale in cui la smaterializzazione dell'involucro è affidata a lame verticali esterne che si alternano, a protezione della facciata interna. In pratica l'involucro è stato realizzato a strisce verticali di pieni (elementi opachi in cemento armato da 18 cm con 12 cm di isolamento termico) e vuoti (elementi trasparenti realizzati con tripli vetri) ricoperti da lastre di vetro serigrafate esterne. L'impiantistica utilizzata è quella classica degli edifici MINERGIE, ovvero un impianto di ventilazione meccanica con recupero di calore e un impianto "autoregolante" a pavimento alimentato da due pompe di calore, che provvede sia al riscaldamento che al raffrescamento dell'edificio. L'indice energetico ponderato finale (E_w) dell'edificio è di $38,6 \text{ kWh/m}^2$.

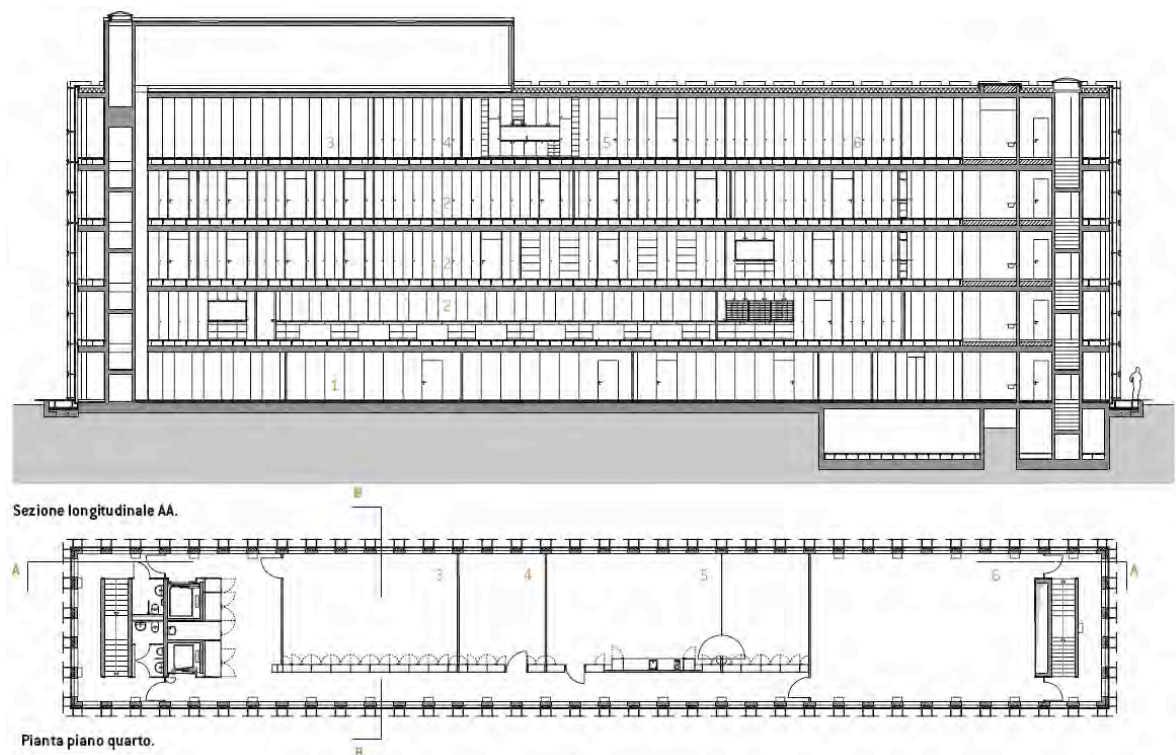


Fig. 291 – *Pianta e sezione longitudinale*

12.6 Condominio IPES di Bronzolo

Proprietà: Istituto per l'Edilizia Sociale
Localizzazione: Bronzolo (BZ) - Trentino Alto Adige
Gradi giorno: 2925
Uso primario: Abitazione
Progetto: Michael Tribus
Anno di completamento: 2006

Standard: Passivhaus - CasaClima ORO^{più}
Fabbisogno di energia utile per il riscaldamento: 9 kWh/m²a (ProCasaClima)

L'edificio IPES (Istituto per l'Edilizia Sociale) di Bronzolo è un complesso di otto alloggi per l'edilizia economica popolare realizzato secondo lo standard "passivhaus". Costruito su tre piani, con pianta rettangolare tagliata a 45° verso sud per rispettare la conformazione del lotto, si presenta con una forma il più possibile compatta, in cui, nel rispetto dei principi della bioclimatica, il taglio è stato sapientemente sfruttato per posizionare a sud le zone giorno di tutti gli alloggi. L'organizzazione dell'edificio comprende otto appartamenti di diverso taglio disposti attorno ad un vano scala centrale con ascensore: uno da 110 m², uno da 105 m², uno da 75 m², tre da



Fig. 292 – Vista d'angolo

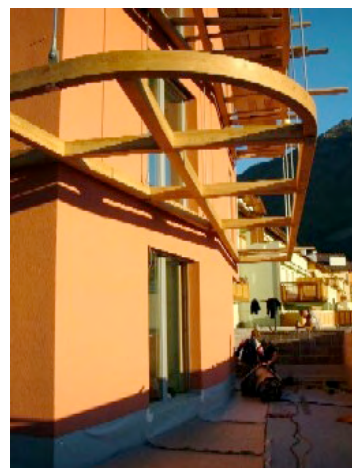


Fig. 293 – Montaggio balconi



Fig. 294 – Facciata principale (sud) - fonte delle immagini Michael Tribus Architecture



Fig. 295 – Caldaia a pellets

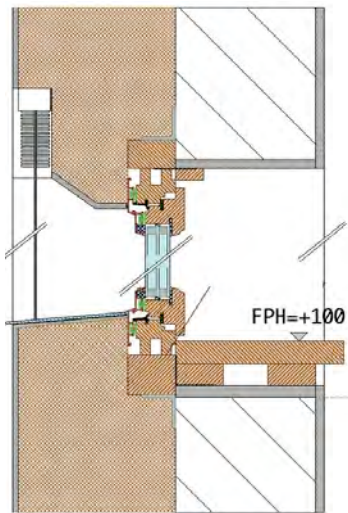
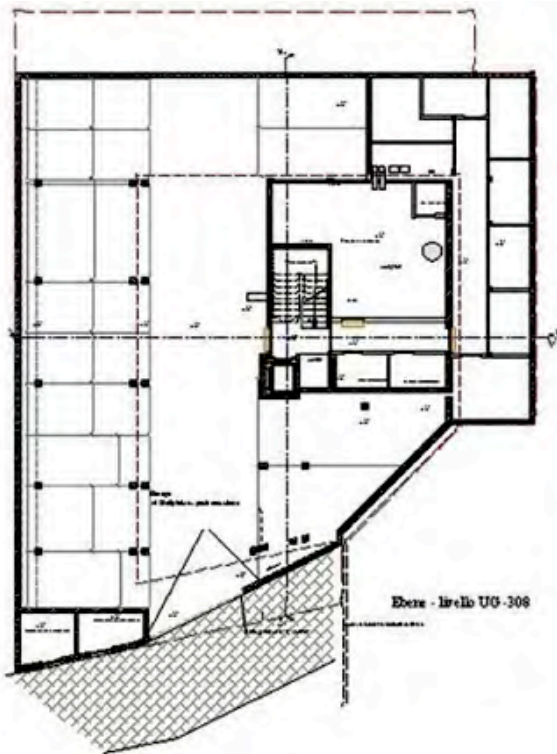


Fig. 296 – Sezione serramento

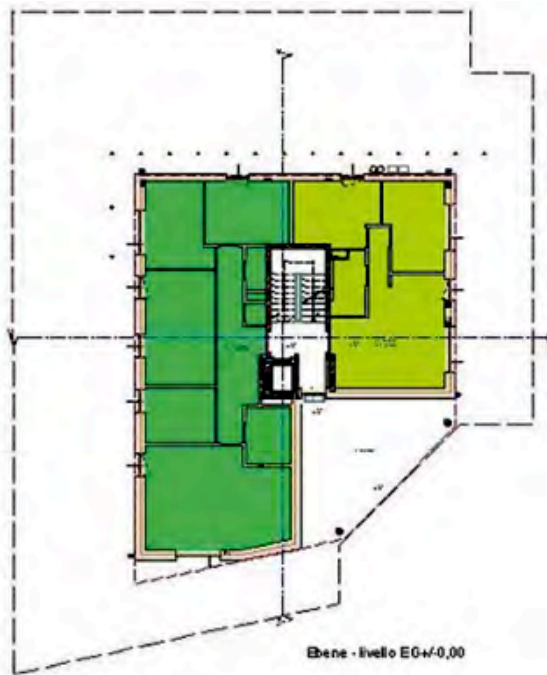
59 m² e due da 50 m². L'edificio è costituito da un piano interrato in cui sono stati ricavati i posti auto, le cantine e i locali tecnici di servizio, da tre piani fuori terra in cui sono stati sistemati gli alloggi e da un tetto verde. Gli alloggi al piano terra hanno accesso diretto al giardino, mentre gli alloggi ai piani superiori sono dotati di balconi. Per evitare la formazione di ponti termici i balconi sono stati appesi all'edificio tramite una struttura in acciaio, che li sostiene (per ragioni urbanistiche non è stato possibile appoggiarli a terra). La struttura portante dell'edificio è in cemento armato con tamponamenti in laterizio. Le pareti esterne sono realizzate in laterizio pesante (25 cm) e isolate da lastre di calce espansa da 28 cm, i solai sono in cemento armato e quello verso il piano interrato è isolato con 28 cm di calce espansa, mentre il tetto è stato realizzato con una struttura prefabbricata autoportante



Fig. 297 – Vista da nord



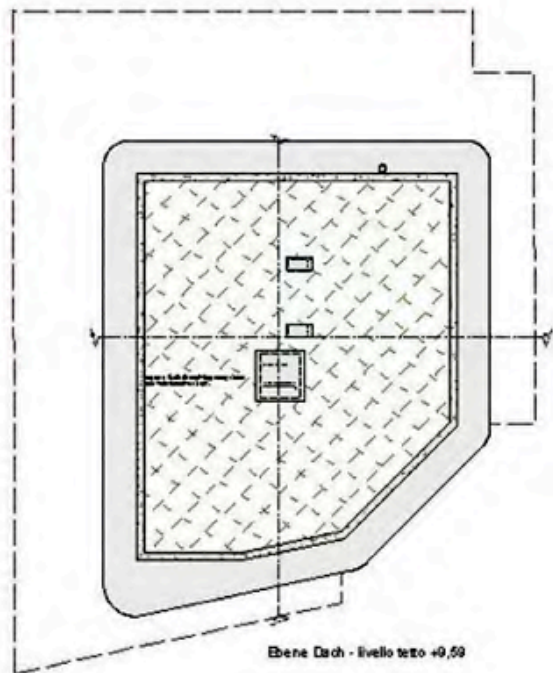
Piano interrato



Piano terra



Piani 2° e 3°



Tetto verde

Fig. 298 – Pianta

che comprende travi lamellari alte 36,4 cm in cui sono attaccati sopra e sotto pannelli OSB (pannelli in materiale di legno realizzati con resine sintetiche e con impiallacciature sottili) che contengono l'isolamento (realizzato in fiocchi di cellulosa). Il tetto, dotato di strati di filtraggio e strati drenanti e delle opportune guaine impermeabilizzanti, è coperto da un manto erboso estensivo che non richiede particolari cure e irrigazione. I serramenti sono in legno a triplo vetro con interposto gas argon ($U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$), montati sul piano dell'isolamento esterno grazie ad un controtelaio della ditta Freisinger (il primo a permettere il montaggio dei serramenti dopo il montaggio del cappotto termico). L'impianto è quello tipico delle "passivhaus" (scambiatore di calore interrato per il preriscaldamento dell'aria, impianto di ventilazione con recupero di calore e pompa di calore) integrato da un impianto a pellets per i periodi più freddi. Il fabbisogno energetico dell'edificio, calcolato con il PHPP, è di $11 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Trattandosi di un edificio pubblico è stato possibile valutare gli extra costi per il raggiungimento dello standard "passivhaus" rispetto ad altri edifici IPES, ovvero: più 8,8% per l'aliquota "passivhaus" e più 2,4% per l'aliquota della costruzione con materiali ecologici (l'edificio è stato certificato CasaClima Oro^{più}).



Fig. 299 – *Modello di studio*

12.7 Uffici Rubner

Proprietà: Gruppo Rubner
Localizzazione: Chienes (BZ) - Trentino Alto Adige
Gradi giorno: 3741
Uso primario: Palazzina uffici
Progetto: Gerd Bergmeister, Georg Rubner e Dominik Rieder
Anno di completamento: 2006

Standard: CasaClima ORO^{più}
Fabbisogno di energia utile per il riscaldamento: 7 kWh/m²a (ProCasaClima)

La nuova sede della Rubner, azienda altoatesina produttrice di case prefabbricate, è la prima palazzina uffici in Italia ad essere realizzata completamente in legno. Questi uffici diventano così una sorta di biglietto da visita aziendale, un esempio di come una costruzione in legno possa essere il connubio tra architettura ed efficienza energetica. L'edificio, di 2200 m², ha una pianta trapezoidale allungata, disposta sull'asse nord sud e si sviluppa su tre livelli leggermente sfalsati (eventualmente ampliabili a quattro), resi visibili dall'andamento obliquo di prospetti e finestre nella parte centrale della facciata. La struttura portante è costituita da travi in legno lamellare e solai in legno massiccio di 18 cm di spessore. La facciata ventilata, di legno di larice spazzolato molto resistente agli agenti atmosferici, è composta da



Fig. 300 – Vista d'angolo

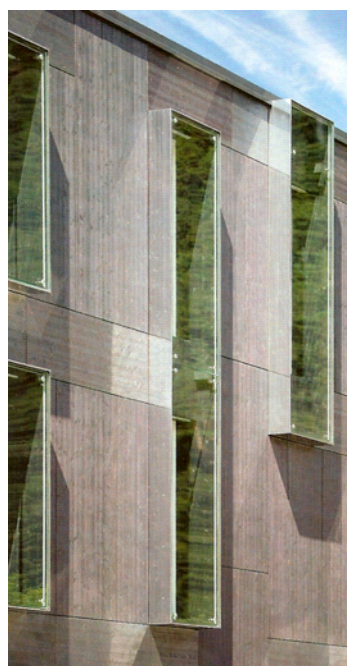


Fig. 301 – Finestre in aggetto



Fig. 302 – Facciata principale- fonte delle immagini gruppo Rubner



Fig. 303 – *Vista atrio*

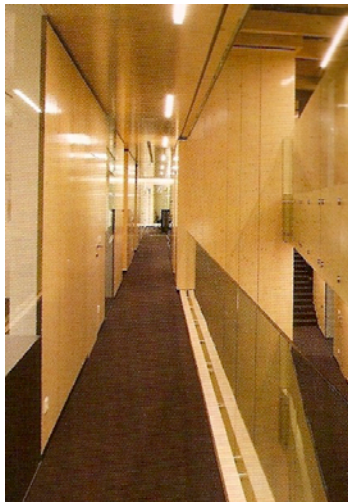


Fig. 304 – *Vista uffici P.1°*

pannelli multistrato prefabbricati e da lastre di vetro sovrapposte alle finestre. All'interno le pareti sono rivestite di pannelli multistrato di abete, che offrono una finitura particolarmente calda agli uffici. Le pareti sono realizzate a secco, sottoponendo la materia prima (legno, gesso ecc.) a un processo di compressione elevato, che rende il pannello finito molto stabile e resistente. Le finestre di legno d'abete lamellare, sono elementi scatolari aggettanti sulla facciata. Le pareti di legno a traliccio, spesse circa 40 cm e isolate con pannelli di fibra di legno, hanno un coefficiente di dilatazione termica $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$, il solaio verso la cantina ha un valore U di $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ ed il tetto è isolato con 24 cm di fibra di legno, che equivale a un valore U di $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$. I serramenti in legno d'abete lamellare, con un telaio spesso 90 mm montano vetrate triple con un valore U_g di $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Fig. 305 – *Vista reception*



Fig. 306 – Prospetti



Fig. 307 – Pianta piano terra

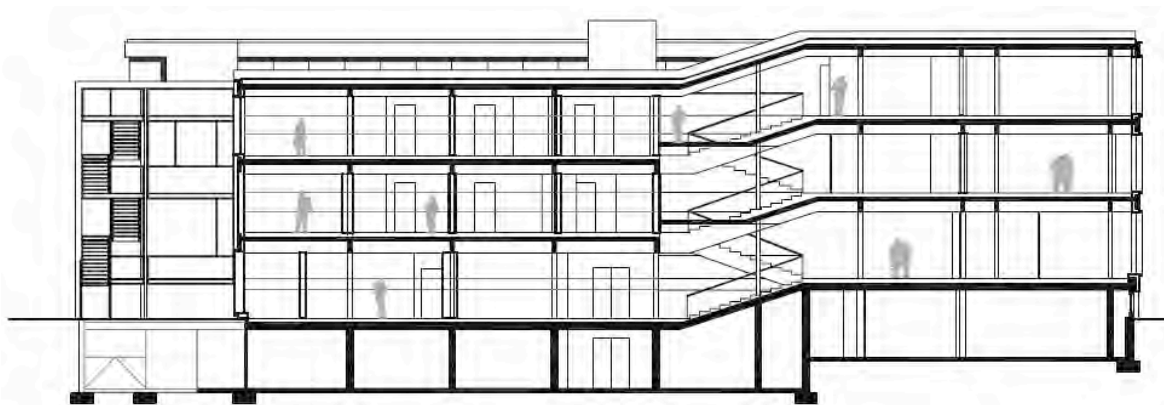


Fig. 308 – Sezione longitudinale

Oltre al legno e alla fibra di legno, sono stati utilizzati il gesso, la canapa e, in minor quantità, acciaio e calcestruzzo. Gli uffici sono dotati di un impianto di ventilazione con recupero di calore che consente di risparmiare 18 kWh/m²a (l'impianto è stato dimensionato per garantire una temperatura invernale di 20°C ed una temperatura estiva di 25°C). La piccola parte di fabbisogno termico residuo viene fornito da un impianto di riscaldamento a pavimento alimentato da una caldaia a cippato alimentata dal legno di scarto dell'azienda. L'impianto provvede inoltre al raffreddamento estivo (il freddo viene prodotto da un impianto frigorifero). Un aspetto particolarmente vantaggioso di questo sistema è il benessere sul posto di lavoro. La cessione del calore o del freddo viene effettuata attraverso l'irraggiamento, cosa che risulta molto piacevole al corpo umano. Per tale ragione, anche con temperature esterne molto alte si raggiungono temperature interne alquanto gradevoli. Questo sistema consente lo scambio di calore tra superfici climatizzate e persone senza la necessità di creare correnti d'aria. Un altro vantaggio è costituito dal mantenimento di un'umidità relativa pari al 45% - 55%. Altri aspetti favorevoli della climatizzazione a pavimento sono l'inerzia termica del sistema (accumulo di calore o freddo) ed il benessere termico-ambientale.



Fig. 309 – *Vista generale*

12.8 Nuova sede della Provincia Autonoma di Bolzano

Proprietà: Provincia autonoma di Bolzano
Localizzazione: Bolzano (BZ) - Trentino Alto Adige
Gradi giorno: 2791
Uso primario: Palazzina uffici
Progetto: Michael Tribus
Anno di completamento: 2007

Standard: Passivhaus - CasaClima ORO
Fabbisogno di energia utile per il riscaldamento: 7 kWh/m²a (ProCasaClima)

La Giunta provinciale decise di affidare all'arch. Michael Tribus il progetto per la realizzazione della nuova sede della Provincia, da realizzare sull'area in cui si trovava il vecchio palazzo delle poste, edificato nel 1954. L'architetto decise però di non demolire l'edificio, ma di riqualificarlo e ampliarlo. L'edificio infatti aveva alcune caratteristiche idonee per raggiungere lo standard "passivhaus": un volume molto compatto e una superficie finestrata molto ridotta (16% della facciata). Rimanevano però da risolvere almeno tre problemi:



Fig. 310 – Lavori di demolizione



Fig. 311 – Lavori di ampliamento



Fig. 312 – L'ex palazzo delle poste nel 2004 - fonte delle immagini Michael Tribus Architecture



Fig. 313 – *Realizzazione sguinci*



Fig. 314 – *Realizzazione cappotto*

come raggiungere la volumetria necessaria? Come isolare l'edificio? Dove far passare gli impianti per l'areazione controllata con recupero di calore? Per risolvere il primo dei problemi optò per una semplice sopraelevazione, demolendo innanzitutto il sopralzo realizzato nel 1974 (operazione necessaria per poter innalzare l'edificio dai tre piani originari ai cinque necessari). Per risolvere il secondo problema decise di utilizzare un isolamento a cappotto, realizzato creando un gioco di vuoti e di pieni attraverso strombature alle finestre, che donano movimento e rompono la monotonia della facciata. In questo modo i 35 cm di isolamento, che variano a circa 23 negli sguinci, oltre ad isolare l'edificio provvedono al decoro della stessa e alla regolazione dell'irradiazione solare.



Fig. 315 – *L'ex palazzo delle poste oggi*

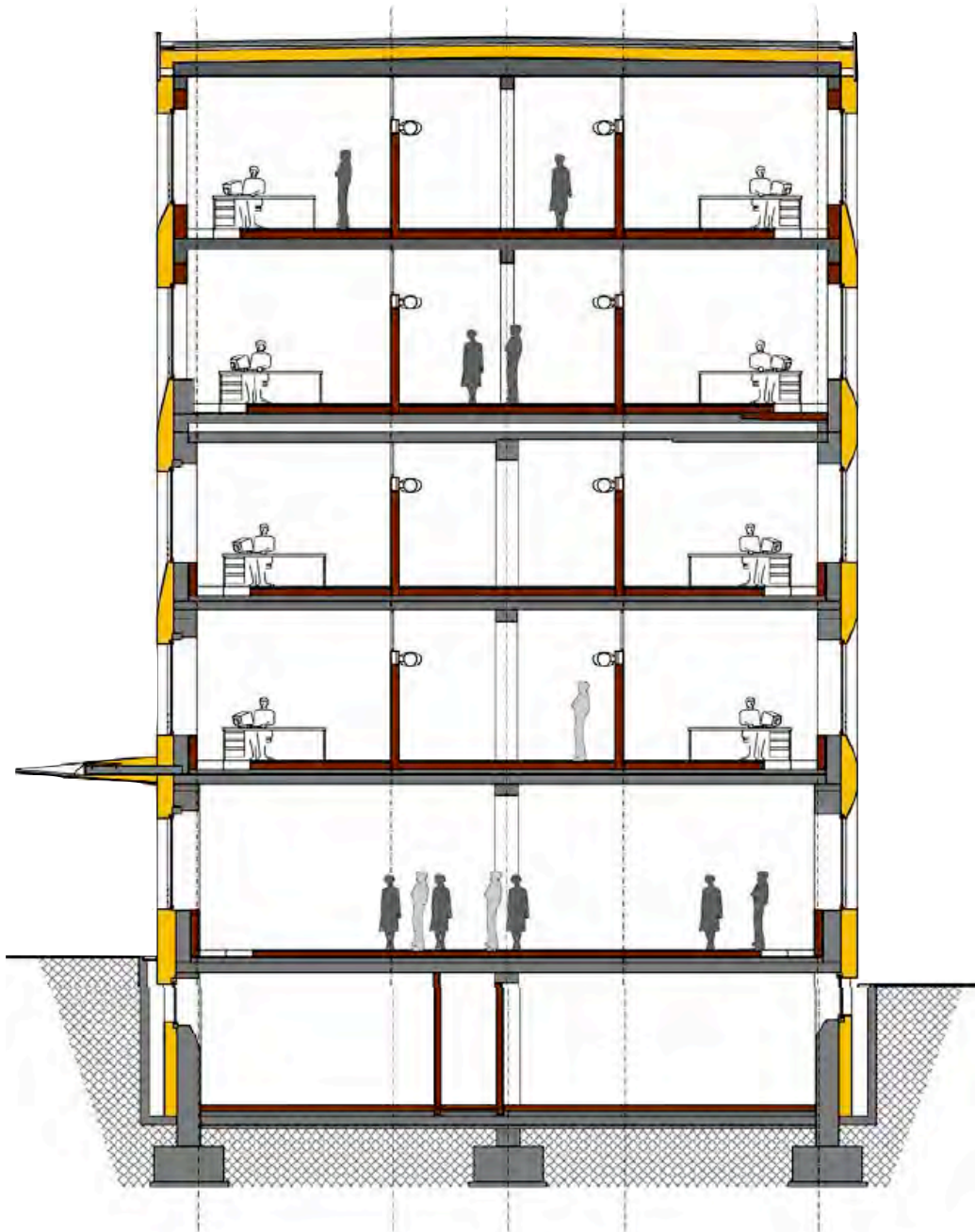


Fig. 316 – Sezione dell'edificio con evidenziato l'isolamento a cappotto

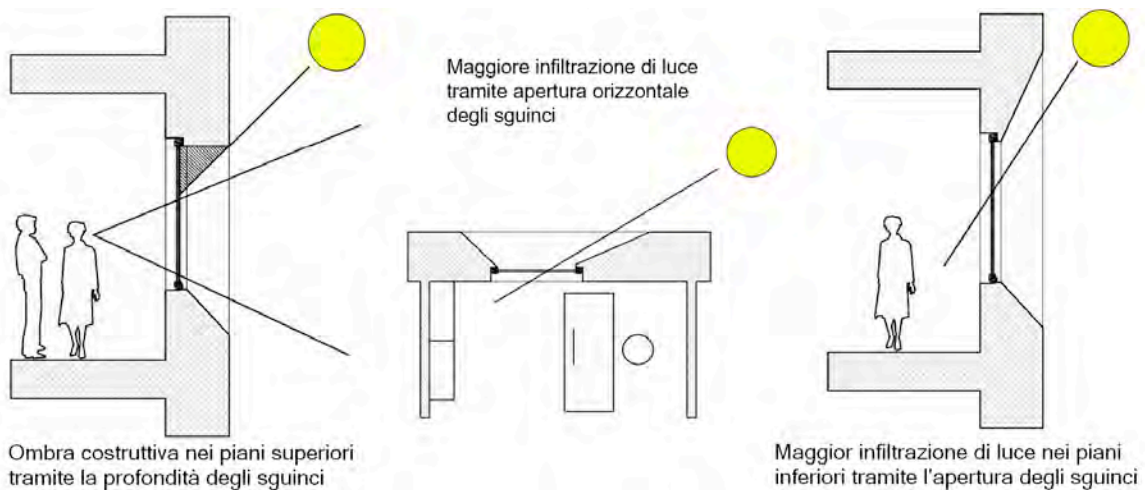


Fig. 317 – Funzionamento degli sguinci esterni

Il concetto prevede diversi angoli di apertura delle strombature, con angoli da poco a molto ottusi (con relative aperture del foro da 60 a 120 cm), in questo modo al pianterreno viene aumentato l'apporto di luce naturale, mentre ai piani superiori tale apporto viene ridotto aumentando l'ombreggiatura. Le strombature esterne sono state realizzate in fabbrica come elementi in EPS (polistirene espanso sinterizzato) ed ogni elemento è stato successivamente montato e raccordato con l'isolamento della facciata (anch'esso in EPS) utilizzando retine su cui è stata applicata una rasatura di intonaco di 2 cm di spessore. Nella parte bassa dell'edificio (da 60 cm sotto il suolo fino ad un metro da terra) è stata invece applicata una facciata isolante in EPS-P (pannello in polistirolo duro fortemente espanso). Per le finestrate è stato utilizzato un componente finestrato a triplo vetro con interposto gas Krypton ($U_w = 0,78 \text{ W/m}^2\text{K}$), che attraverso l'utilizzo di un vetro a protezione solare risolve anche il problema del surriscaldamento estivo. Realizzare invece l'impianto di ventilazione a recupero di calore è stato invece più problematico. Innanzitutto non era possibile inserire un scambiatore di calore interrato per il preriscaldamento (e preraffrescamento) dell'aria ed inoltre l'alto inquinamento della zona non rendeva facile da trovare il punto d'immissione dell'aria fresca. Per ovviare a questi problemi è stato realizzato un tetto verde, che trattiene polveri e acqua piovana, ed il punto d'immissione dell'aria fresca è stato posto sul tetto, in fianco alla scala (il punto con l'aria meno

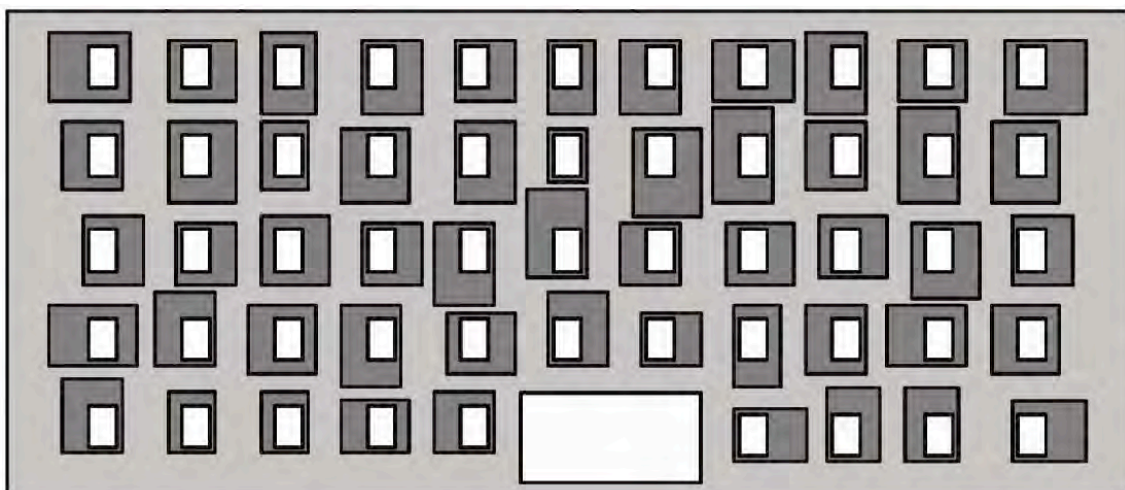


Fig. 318 – *Disegno della facciata*

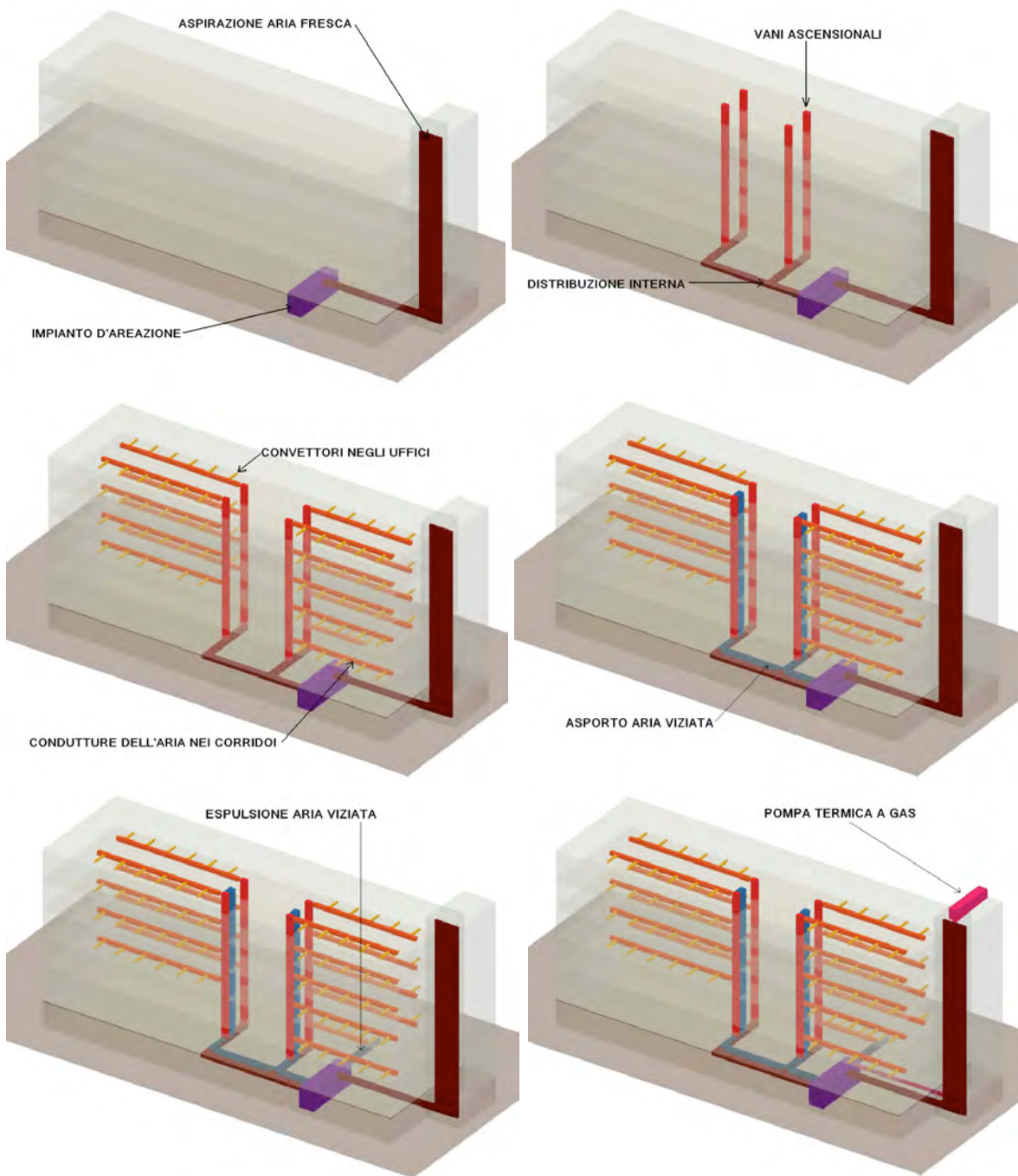


Fig. 319 – Schema dell'impianto di ventilazione



Fig. 320 – Particolare delle condutture d'areazione nei corridoi trasformate in lucernari



Fig. 321 – *Vista corridoio interno*



Fig. 322 – *Il convettore nella porta*



Fig. 323 – *Pannelli fotovoltaici*

inquinata). Attraverso dei condotti esterni l'aria viene trasferita al recuperatore di calore, che a sua volta lo immette ai vari piani dell'edificio attraverso dei condotti ascensionali. A questo punto, non potendo inserire i condotti di ventilazione nelle solette esistenti, sono stati realizzati dei condotti esterni mascherati da lucernari, che portano l'aria in tutti gli uffici (l'immissione avviene da sopra le porte, dove è posto anche un convettore che nei mesi invernali provvede a riscaldare il locale e nei mesi estivi a raffrescarlo). In inverno l'apporto ausiliario di riscaldamento viene fornito da una caldaia a gas (63 kW) mentre l'apporto di raffrescamento viene dato da una macchina frigorifera a gas (84 kW). Solo nelle cantine e negli archivi ci sono dei piccoli termosifoni. All'esterno del vano scala, in fianco alle condotte di ventilazione, si trovano i pannelli fotovoltaici che producono la corrente elettrica per l'intero edificio.

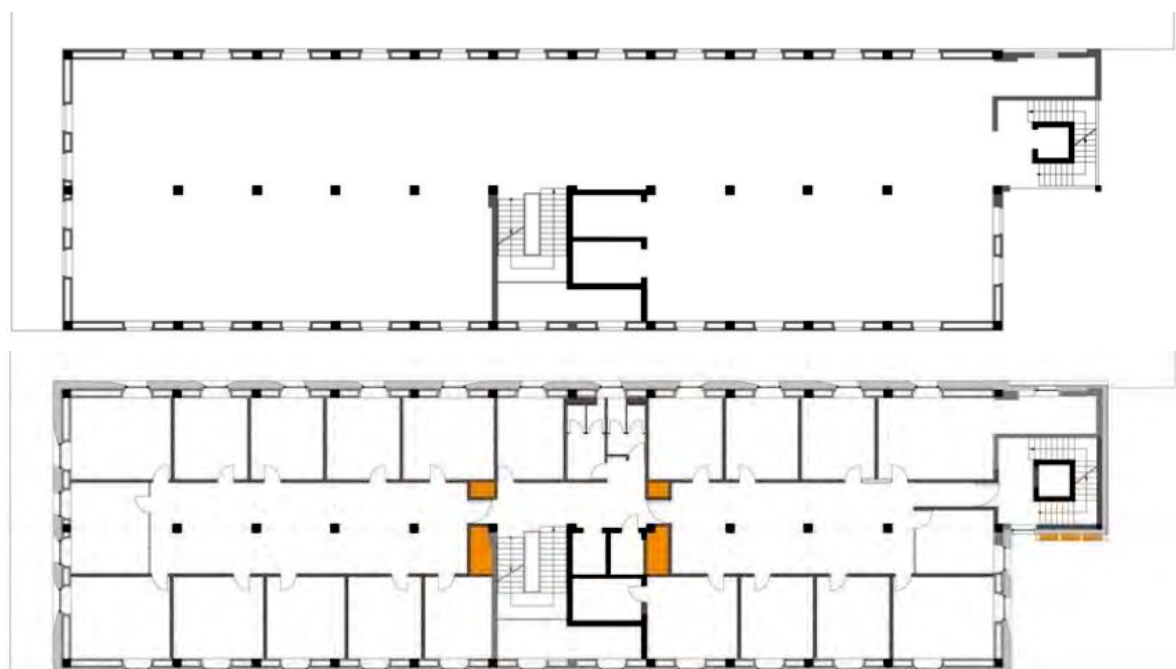


Fig. 324 – *La vecchia pianta (in alto) e la nuova (con in evidenza l'extra isolamento ed i condotti d'areazione verticali).*

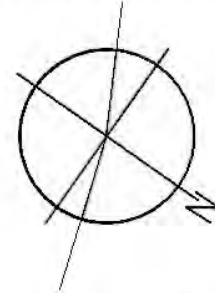
12.9 Sede ASSA

Proprietà: ASSA (Associazione lavorazioni conto terzi della filiera della concia)
Localizzazione: Santa Croce sull'Arno (PI) - Toscana
Gradi giorno: 1866
Uso primario: Uffici
Progetto: Silvia Mazzetti
Anno di completamento: 2007

Standard: Passivhaus
Fabbisogno di energia utile per il riscaldamento: 5 kWh/m²a (PHPP)

La città di Santa Croce sull'Arno è da sempre una città di conciatori e nel 2003, per dare spazi moderni alle sue industrie, approva un piano di lottizzazione per trasferire queste lavorazioni in uno spazio più consono. Anche l'ASSA, l'associazione che riunisce tutti gli addetti, decide di trasferire la sua sede nel nuovo P.L. e nel 2004 deposita in comune la richiesta di concessione. Ad un anno di distanza (ed a progetto approvato) il Presidente dell'associazione Mauro Manzi, da sempre appassionato di risparmio energetico, viene a conoscenza delle "passivhaus" e contatta Günther Gantioler del TBZ di Bolzano per realizzare in questo standard la nuova sede. Günther Gantioler assume quindi il ruolo di energy manager ed assieme all'arch. Mazzetti mette mano al progetto per trasformare in "passivhaus" la tradizionale palazzina uffici. La variante, che sostanzialmente consiste in una

240° - vento prevalente
velocità media 2 m/sec



80° - vento prevalente
velocità media 0.8 m/sec

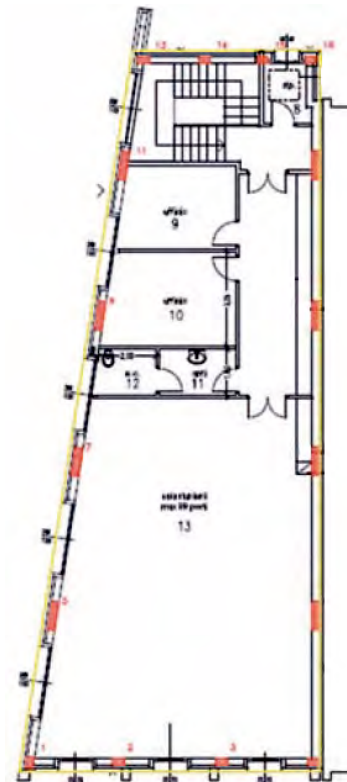


Fig. 325 – Pianta del piano primo (progetto originale) con orientamento dell'edificio e analisi dei venti prevalenti



Fig. 326 – Prospetto sud del progetto originale - fonte delle immagini ASSA



Fig. 327 – *Fronte ovest*



Fig. 328 – *Fronte sud*



Fig. 329 – *Fronte sud-est*



Fig. 330 – *Prospetto sud definitivo*

riduzione delle superfici finestrate (per prevenire il surriscaldamento estivo), in un ispessimento delle pareti e del tetto (dovuto all’inserimento del materiale isolante) e alla rinuncia ad un tradizionale impianto di riscaldamento per uno ad alta efficienza, viene presentata nel 2005. Il fabbricato, inaugurato nel 2007, ospita gli uffici dell’ASSA, dislocati in parte al piano terra e in parte al piano primo, nonché un bar al piano terra, sul fronte di via dei conciatori (fronte sud est). Trattandosi di un progetto tradizionale trasformato in “passivhaus”, vediamo quali sono le modifiche salienti. Essendo il vano scala escluso dall’involucro termico, la parete interna che la delimita è stata realizzata in Poroton e isolata termicamente (solo sul lato scala) con lastre di polistirene espanso con finitura a grafite, intonacato e tinteggiato sui due lati. Anche la porta d’ingresso alla zona uffici, pur essendo interna, ha caratteristiche termiche e di tenuta all’aria. Le fondazioni, in conglomerato cementizio del tipo “a travi rovesce”, sono state termicamente isolate sulla faccia esterna mediante pannelli di “styrodur”, dal piede fino a + 60 cm sopra la quota della pavimentazione finta. Il piano di calpestio

del piano terra è stato realizzato su un vespaio coibentato con pannelli di polistirene estruso dello spessore di cm. 20, che fanno raggiungere un valore U di 0,17 W/m²K. Le pareti orientate a sud e ad est sono del tipo a cassetta e costituite come segue (procedendo dall'interno verso l'esterno): intonaco interno a base di calce aerea dello spessore di mm 10; muratura in blocchi di laterizio legati con malta di calce aerea priva di cemento; isolamento termico realizzato con lastre di polistirene espanso "Neopor" con finitura a grafite; muratura in mattoni pieni faccia a vista tipo invecchiato dello spessore di cm 12 (valore U = 0,22 W/m²K). La parete orientata ad ovest è in muratura a cappotto e costituita come segue (procedendo dall'interno verso l'esterno): intonaco interno a base di calce aerea di 10 mm di spessore; muratura in blocchi di laterizio legati con malta di calce aerea priva di cemento; isolamento termico in lastre di polistirene espanso "Neopor" con finitura

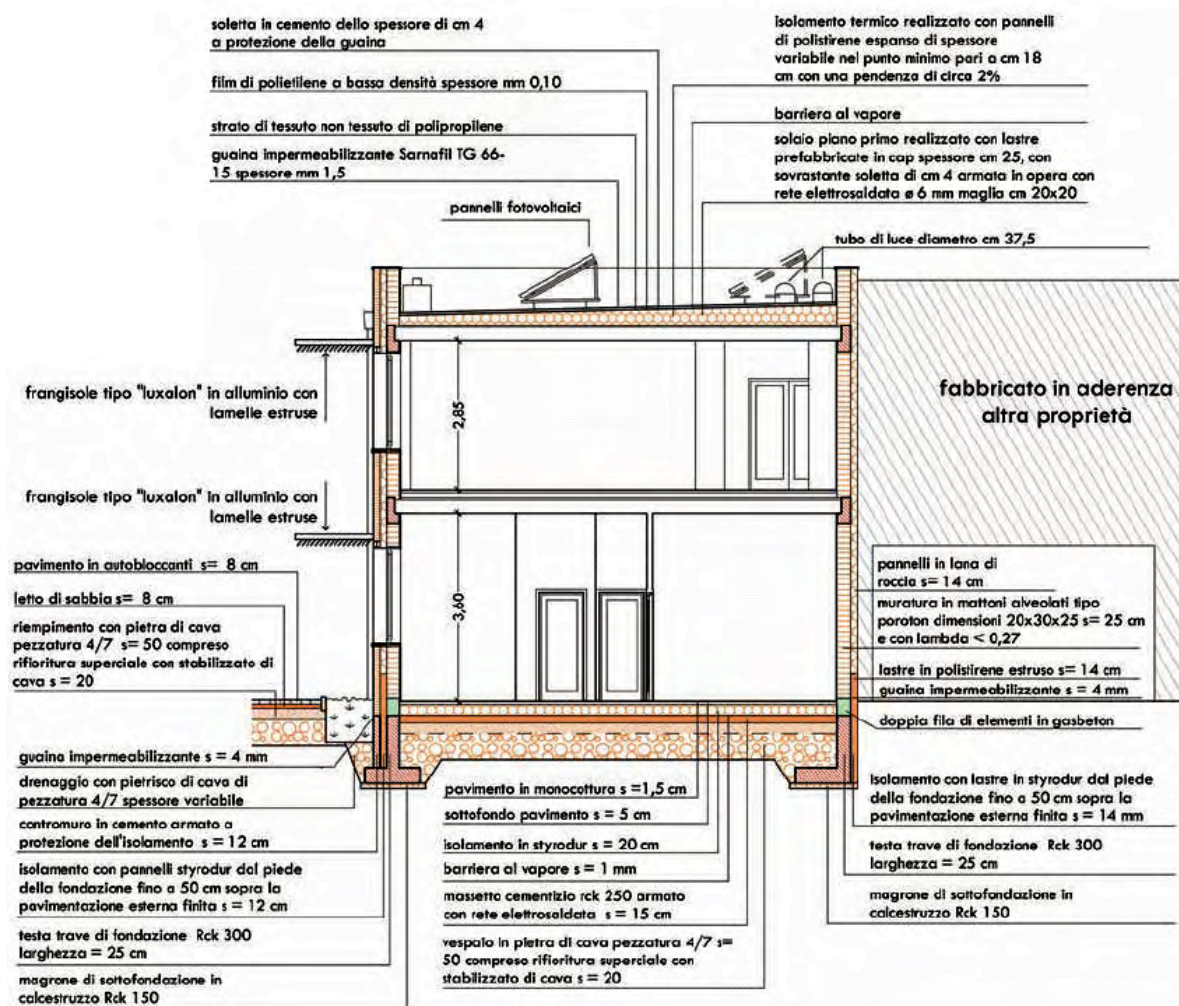


Fig. 331 – Sezione trasversale

a grafite; intonaco esterno al silicato per “cappotti” (valore $U = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$). La parete a nord, in aderenza con un fabbricato è in muratura e costituita come segue (procedendo dall’interno verso l’esterno): intonaco interno a base di calce aerea; muratura in blocchi di laterizio legati con malta di calce aerea priva di cemento; isolamento termico realizzato con lastre di polistirene estruso dalla quota del pavimento finito fino ad un’altezza di cm 60; pannelli in lana di roccia dalla quota di + cm 60 fino alla copertura ($U = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$). Il solaio di copertura è costituito come segue (procedendo dal basso verso l’alto): controsoffitto in cartongesso; intercapedine; solaio a lastre prefabbricate con sovrastante soletta armata; isolamento termico costituito da pannelli di polistirene espanso tipo “Greypor G100” a spessore variabile (da cm 18 a cm 38), con pendenza del 2% costante dal lato del fabbricato confinante verso la parete a sud; manto impermeabile sintetico realizzato in “lega” di poliolefine flessibile (FPO), armato in velo di vetro, monostrato non prelaminato e resistente ai raggi U.V; strato di protezione realizzato in tessuto non tessuto di polipropilene; strato di separazione e scorrimento realizzato con film di polietilene a

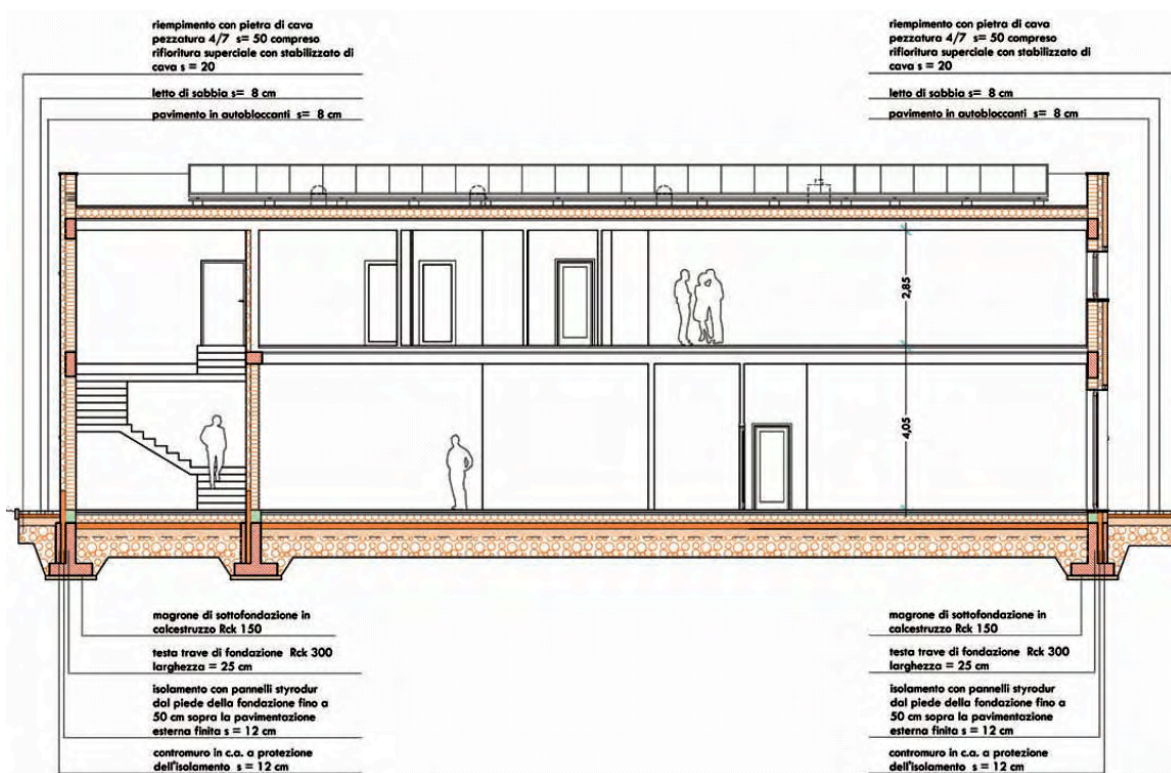


Fig. 332 – Sezione longitudinale

bassa densità e ad alta traspirabilità; massetto a protezione delle guaine in calcestruzzo armato dello spessore di cm 4 (la trasmittanza complessiva U del solaio è di $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$). Le finestre e la vetrina del bar sono realizzate con un telaio in legno coibentato e rivestito sulla parte esterna da alluminio, montate su un controtelaio in purenite e con tripli vetri a doppia vetrocamera riempite di gas argon ($U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ e fattore solare $g = 48\%$). Le porte d'ingresso sul lato sud e la porta di ingresso interna al piano primo sono vetrate con telaio in alluminio a taglio termico ed a tenuta d'aria con valore di trasmittanza del vetro (a doppia vetrocamera riempita di gas argon) di $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Per ridurre il surriscaldamento estivo tutte le aperture a sud sono sovrastate da un frangisole orizzontale sporgente per 1,50 m costituito da lamelle in alluminio, che impediscono l'entrata dei raggi solari all'interno dell'ambiente. Come tutti i "passivhaus" l'edificio è dotato di un impianto di ventilazione meccanica ad alta efficienza con recupero di calore e pompa di calore (senza condotto di preriscaldamento) integrato da un tradizionale sistema di condizionamento con pompa di calore ad espansione diretta del tipo ad inverter in grado di provvedere al riscaldamento invernale, alla deumidificazione ed al raffrescamento estivo (in pratica il tradizionale sistema di aria condizionata). Le unità interne sono del tipo ad incasso a quattro vie mentre le unità esterne



Fig. 333 – *Modello tridimensionale*



Fig. 334 – *Impianto fotovoltaico*



Fig. 335 – *Unità esterna dell'impianto di condizionamento*

sono installate sulla copertura dell'edificio insieme ad un un impianto fotovoltaico di 4,95 Kwp di potenza, costituito da 30 pannelli (circa 35 m²). L'impianto produce la corrente elettrica per il riscaldamento, il condizionamento, la produzione di acqua calda sanitaria, l'illuminazione, i computer degli uffici ed i macchinari del bar (monitorato per tutto il 2008 ha prodotto più energia di quanta ne è stata consumata, trasformando di fatto questo edificio in un energy plus). Il costo complessivo dell'edificio è stato di € 569.000, di cui € 83.000 per la trasformazione in "passivhaus" (14,6%), anche se, analizzando meglio i costi solo il 7% è dovuto agli elementi strattamente passivi, il resto è dovuto alle tecnologie innovative aggiuntive (impianto fotovoltaico, raccolta dell'acqua piovana, tubi di luce, ecc...).



Fig. 336 – *Vista da via dei Conciatori*

12.10 Villa Ciani

Proprietà: Famiglia Ciani
Localizzazione: Forlì (FC) - Emilia Romagna
Gradi giorno: 2087
Uso primario: Abitazione
Progetto: Francesca Nardi
Anno di completamento: 2007

Standard: Passivhaus
Fabbisogno di energia utile per il riscaldamento: 6 kWh/m²a (PHPP)

L'intervento riguarda la ristrutturazione di un edificio esistente, vincolato dalla normativa comunale (che ne prevedeva il rispetto della tipologia architettonica esistente e la ricostruzione a parità di volume, forma e area, con l'utilizzo di tecnologie costruttive locali), e dalla volontà del committente di avere un edificio dall'aspetto tradizionale. L'edificio esistente, a pianta rettangolare orientato in direzione est-ovest, era costituito da due volumi, di cui uno è stato demolito e ricostruito e l'altro invece ristrutturato, ottenendo un edificio realizzato con tecniche costruttive differenti. Il blocco principale (esistente) ha quindi muri portanti in mattoni

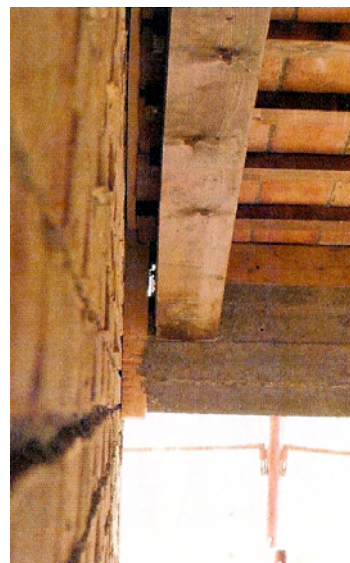


Fig. 337 – Giunto sismico da 8 cm



Fig. 338 – Costruzione portafinestra



Fig. 339 – Facciata principale (est) - fonte delle immagini Arch. Francesca Nardi



Fig. 340 – *Passerella finita con canali d'aerazione all'interno*



Fig. 341 – *Costruzione passerella (spessore 12 cm) e scala a sbalzo*

pieni con un isolamento a cappotto (realizzato con 16 cm di calcestruzzo cellulare successivamente intonacato), mentre il volume nuovo, più basso, ha una struttura in cemento armato con pareti di tamponamento in laterizio alleggerito, isolato con 16 cm di calcestruzzo cellulare e rivestito all'esterno con listelli di mattoni (ancorati alla retrostante parete in laterizio con staffe in acciaio lunghe venti centimetri e distribuite sulla superficie con una media di due staffe al metro quadrato). Il tetto è stato realizzato con travi portanti e perlinato in legno per il volume principale, e travi e tavelle in cotto per il volume più basso (l'isolamento è sempre in fibra di legno da 18 cm). Sopra l'intercapedine realizzata per la ventilazione, sono stati posati i vecchi coppi, recuperati dall'edificio esistente. Le finestre sono a triplo vetro con telaio in legno di larice all'interno e materiale isolante all'esterno ($U_w = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ e $g = 0,50$). Per l'ombreggiamento delle superfici vetrate



Fig. 342 – *Fronte ovest*



Fig. 343 – *Angolo cottura con piano ad induzione*



Fig. 344 – *Soggiorno con camino a tenuta d'aria*

è stato realizzato un portico per quelle a ovest, un grigliato in mattoni, appoggiato su una struttura autoportante in metallo, per la vetrata d'ingresso alta 6 m e scuroni (persiane in legno massiccio) per le finestre rimanenti. Alcuni problemi sono sorti nella realizzazione dell'impianto di ventilazione, che nel passaggio tra i due volumi doveva essere realizzato all'interno di una passerella, che collega le due zone notte, e che per motivi estetici doveva avere uno spessore ridotto (12 cm). Inoltre, per espressa volontà del committente, sono stati realizzati 2 camini la cui fiamma viene alimentata direttamente dall'esterno (tramite un apposito canale) ed isolato dal soggiorno da una vetrata termica a tenuta d'aria (per impedire dispersioni quando il camino è spento). Al controllo, il Blower Door test ha dato come risultato un valore di 0,58/h ricambi d'aria mentre la verifica al surriscaldamento estivo, nonostante la notevole quantità di aperture esposte a est e ovest, il clima molto caldo con punte di 40°C e percentuali di umidità fino al 90%, è stata brillantemente superata: la temperatura interna non ha mai superato i 27°C e l'umidità relativa è rimasta intorno al 47%.

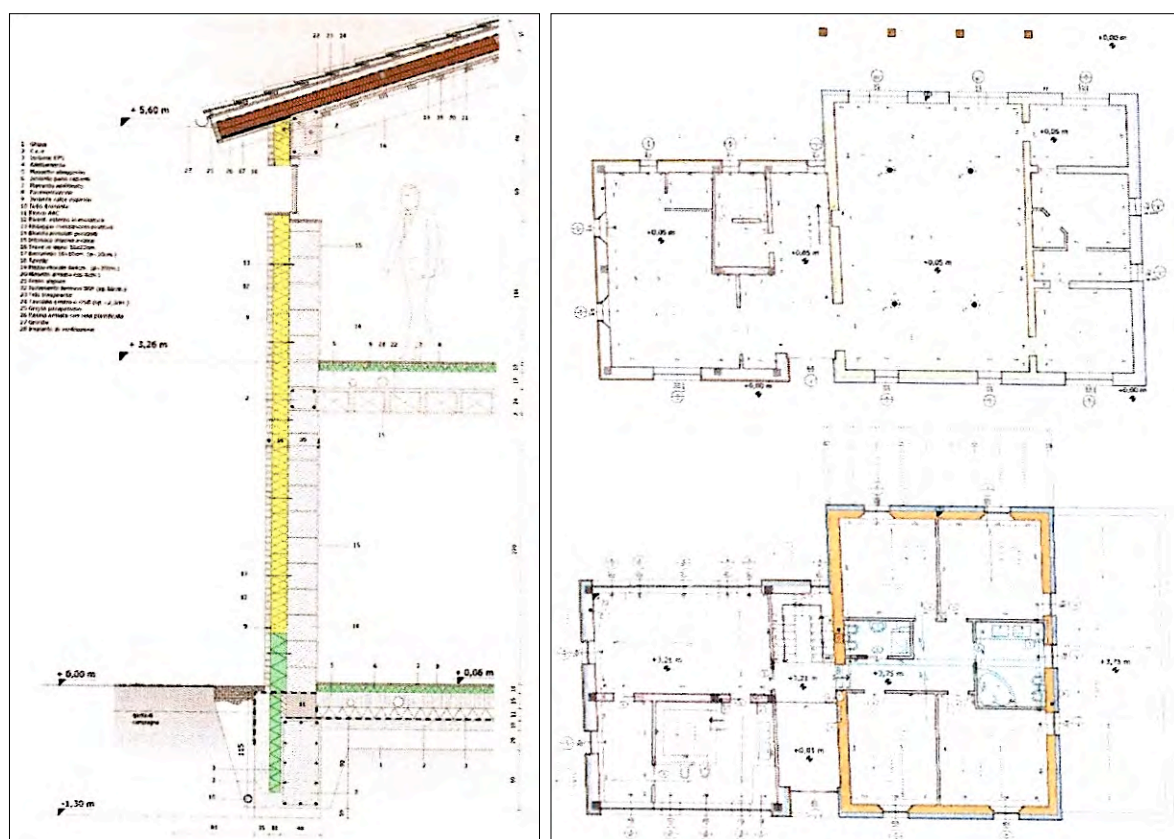


Fig. 345 – Sezione dell'edificio (a sinistra), pianta del piano terra (sotto) e del piano primo (sopra)

12.11 Villa Canellini

Proprietà: Famiglia Canellini
Localizzazione: Marcaria (MN) - Lombardia
Gradi giorno: 2388
Uso primario: Abitazione
Progetto: Serafino Ciolino
Anno di completamento: 2008

Standard: Passivhaus
Fabbisogno di energia utile per il riscaldamento: 13,8 kWh/m²a (PHPP)

E' la prima "passivhaus" realizzata e venduta dall'immobiliare Casautonoma, risultato di una progettazione impiantistica ed architettonica integrata, in cui l'analisi dei fabbisogni energetici e delle soluzioni impiantistiche è stata sviluppata assieme alle esigenze del committente. Si tratta di una villetta monofamiliare di due piani fuori terra, con giardino di proprietà e garage sul retro (comprensivo di locale tecnico per l'alloggiamento degli impianti). Il piano terra, di 130 m², è composto da ingresso, soggiorno, cucina abitabile, lavanderia e bagno, mentre il piano primo, di 70 m², è composto da una camera matrimoniale con cabina armadio, una cameretta per i bambini e un bagno. L'abitazione è stata realizzata su un lotto



Fig. 346 – Vista dell'intercapedine



Fig. 347 – Fibra di cellulosa



Fig. 348 – Vista generale (fronte sud) - fonte delle immagini Casautonoma



Fig. 349 – Sistemi schermati su struttura autoportante



Fig. 350 – Particolare serramento

di 800 mq orientato a sud ovest (appositamente acquistato per meglio sfruttare l'esposizione al sole). Lo studio morfologico del terreno ha obbligato alla realizzazione di un vespaio aerato per contrastare l'umidità ascensionale e mantenere un'adeguata ventilazione tra pavimento e sottosuolo. Sulla platea in cemento armato è stata ancorata una struttura portante in acciaio tamponata a secco e antisismica, caratterizzata da un'ottima rapidità realizzativa. La parete esterna è costituita da un "sandwich" dello spessore di 30 cm ($U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$) formato da, procedendo dall'esterno verso l'interno: un pannello rigido a base cementizia di 12,5 mm; un telo steso in aderenza (barriera al vento); un vano cavo di 27,5 cm; un'intercapedine che ingloba la struttura metallica (successivamente riempita da cellulosa iniettata a pressione); un pannello di cartongesso rivestito da una microlamina di



Fig. 351 – Modello tridimensionale

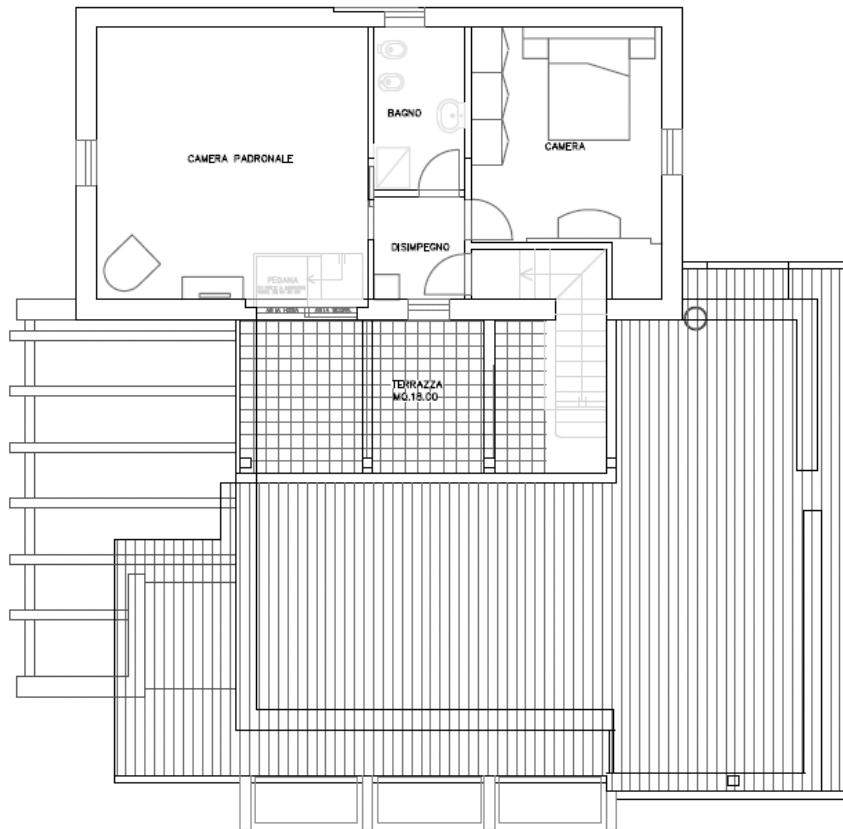


Fig. 352 – *Pianta piano primo*

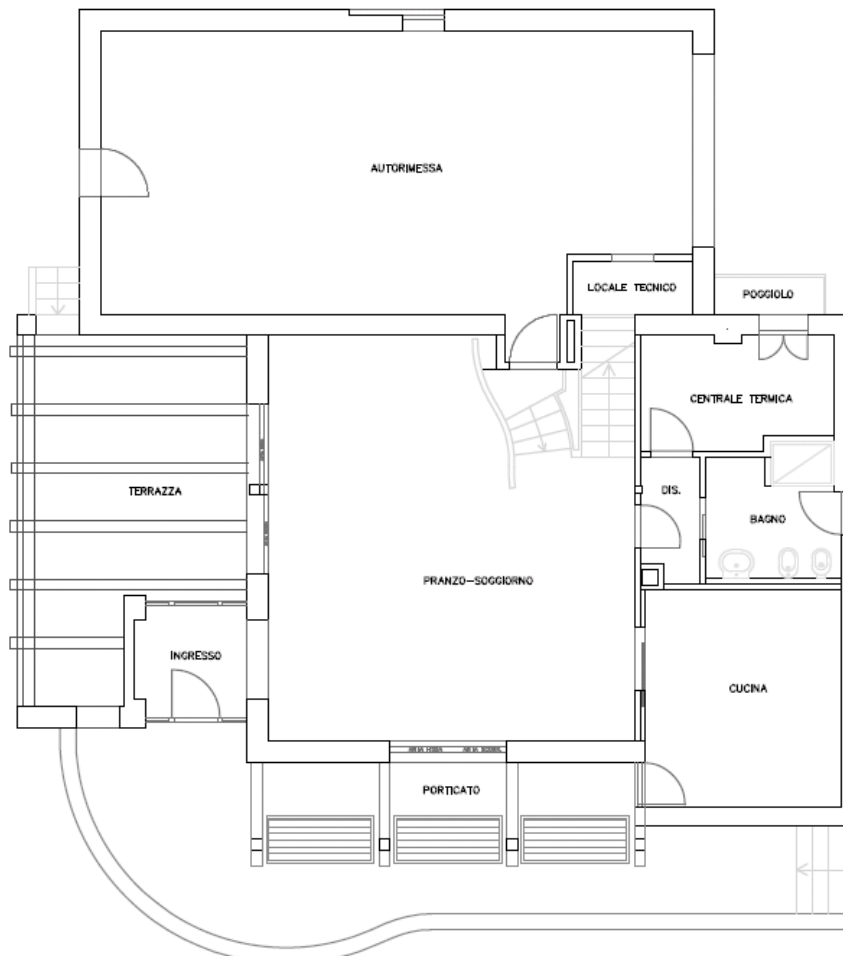


Fig. 353 – *Pianta piano terra*

alluminio sul lato non a vista (che funge da barriera vapore). In adiacenza al pacchetto parete, all'interno della casa, è stata costruita una controparete da 11,5 cm di spessore per l'alloggiamento degli impianti, in modo da salvaguardare la parete isolante esterna (un accorgimento che ha permesso di evitare ponti termici). Il tetto ($U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$), anch'esso realizzato a secco, è composto da una copertura in rame (su un telaio che forma un'intercapedine aerata); un telo traspirante per la tenuta al vento; pannelli in fibra di legno; pannelli isolanti in fibra di legno da 12 cm, un'intercapedine per la struttura metallica (successivamente riempita con poliuretano), una lamiera grecata e una lastra di finitura in cartongesso. I serramenti ($U_w = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) sono in PVC con tripli vetri e vetrocamera riempita di gas argon. L'impiantistica, un po' atipica per una "passivhaus", è formata da un impianto di ventilazione meccanica con recupero di calore integrata da una pompa geotermica e da collettori solari termici.

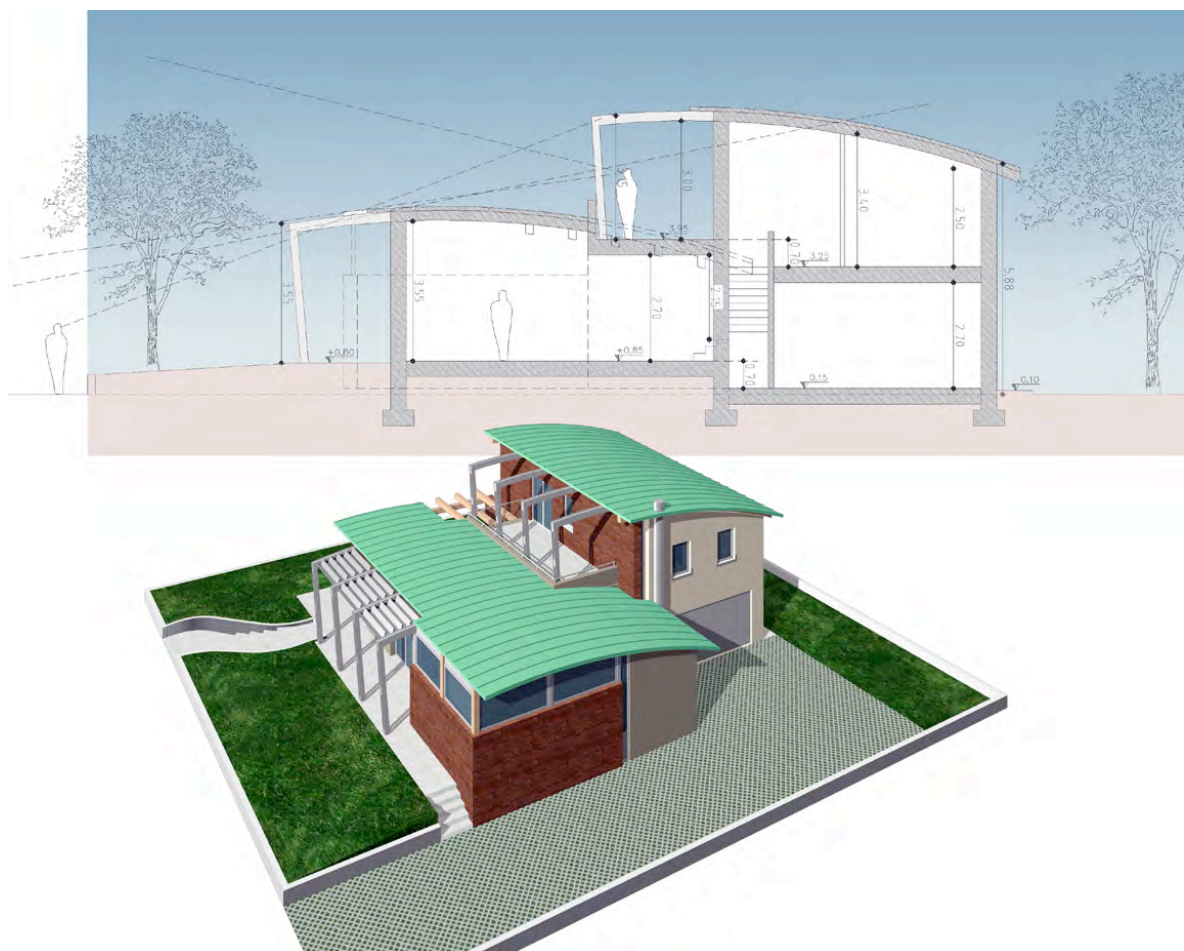


Fig. 354 – Sezione e modello di studio

Le fasi di realizzazione



Fig. 355 – Realizzazione della platea aerata in cemento armato su due livelli, a quota del terreno per l'accesso al garage e a quota +85 cm per l'accesso alla zona giorno



Fig. 356 – Costruzione a secco con intelaiatura strutturale e portante in ferro



Fig. 357 – Tamponamento a secco con pannelli in fibrocemento Aquapanel



Fig. 358 – Particolare del tamponamento a secco e del telo per la tenuta al vento (sulla destra)



Fig. 359 – Realizzazione della controparete interna per il passaggio degli impianti (vista del piano primo)



Fig. 360 – Rasatura e vista d'insieme

STANDARD A CONFRONTO

13.1 L'area di progetto

Dopo aver analizzato gli standard per la realizzazione degli edifici a risparmio energetico “certificati”, proviamo a localizzare questi edifici nel territorio italiano, sia al fine di verificare la loro interazione con la normativa vigente, sia al fine di confrontare tra loro alcune tipologie di edifici progettati “a norma di legge” e rispettando i protocolli degli standard CasaClima A, CasaClima B, Minergie e Passivhaus.

La località scelta per il confronto è la ridente città di Vigevano⁶², che oltre ad essere la città in cui abito, dispone di un'area edificabile adatta allo scopo.

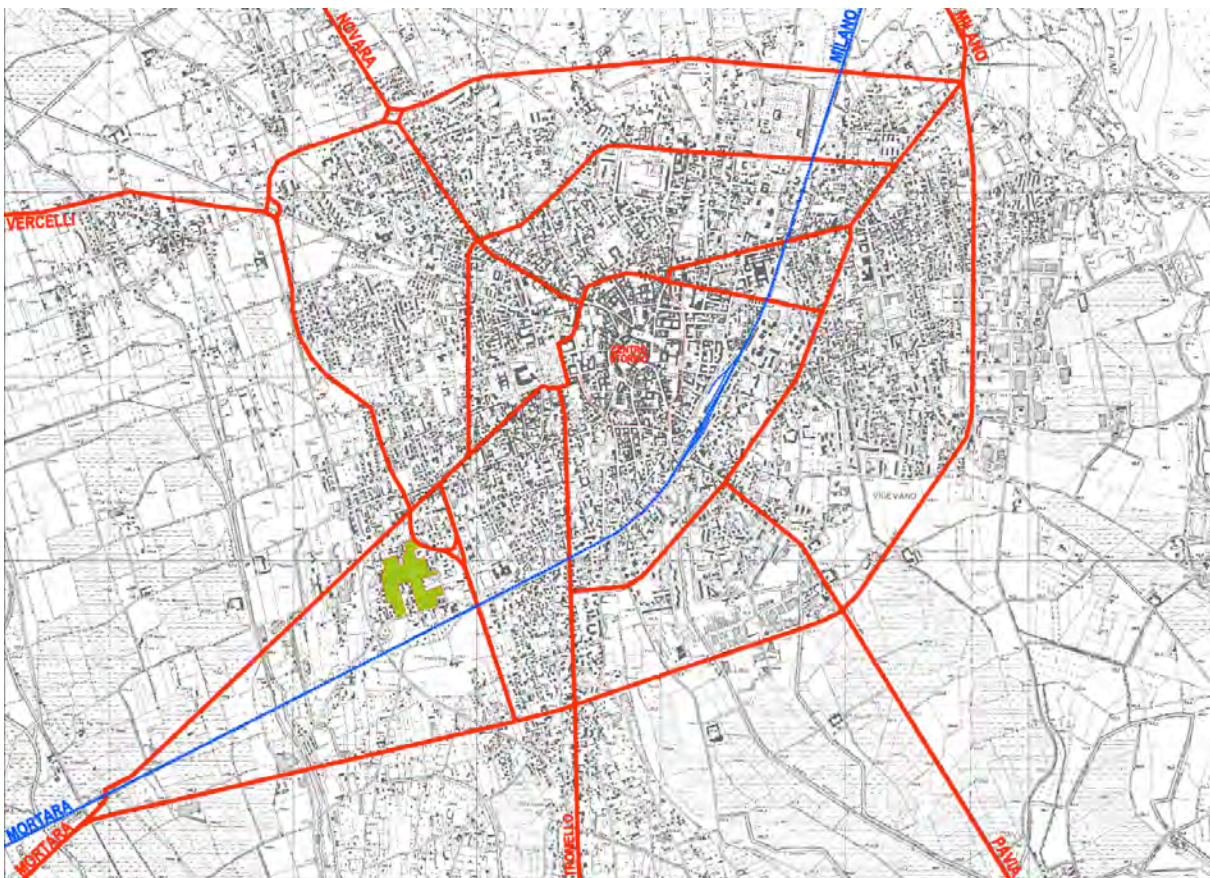


Figura 361 - Il Comune di Vigevano con evidenziata (in verde) l'area di progetto - archivio personale

L'area scelta per il progetto si trova all'interno di un Piano di Lottizzazione, approvato in via definitiva il 20 dicembre 2007, ha una superficie di 10.464,46 m² e una Superficie Utile Lorda

⁶² Comune localizzato nella Regione Lombardia, in provincia di Pavia.

edificabile massima di 3.819,96 m² (di cui 3.625,96 m² residenziali e 194,00 m² a destinazione terziaria commerciale). Le tipologie edilizie consentite sono: ville singole, gemelle, abbinata a schiera, appartamenti in villa e palazzine pluripiano. L'altezza massima consentita per i nuovi edifici è di 3 piani e dalla nuova strada pubblica prevista dal P.L. (via Indro Montanelli) dovranno distanziare almeno 3,50 m.



Figura 362 - Planivolumetrico illustrativo del piano di lottizzazione - archivio personale



Figura 363 - L'area di progetto (in verde chiaro) nel piano di lottizzazione - archivio personale

13.2 I riferimenti normativi

Scelta l'area di progetto, analizziamo la normativa che può riguardare gli edifici che andremo a progettare e vediamo che a livello nazionale abbiamo il Decreto Legislativo 115 del 2008 e la legge 122 del 1989, a livello regionale abbiamo le leggi della Regione Lombardia n.33 del 2007 e n.39 del 2004 ed a livello comunale abbiamo le Norme Tecniche di Attuazione del P.R.G. vigente. Di seguito riportiamo le parti che più ci interessano:

- Decreto Legislativo del 30/05/2008 n. 115 art. 11 comma 1:

"Nel caso di edifici di nuova costruzione, lo spessore delle murature esterne, delle tamponature o dei muri portanti, superiori ai 30 centimetri, il maggior spessore dei solai e tutti i maggiori volumi e superfici necessari ad ottenere una riduzione minima del 10 % dell'indice di prestazione energetica previsto dal decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, e successive modificazioni, certificata con le modalità di cui al medesimo decreto legislativo, non sono considerati nei computi per la determinazioni dei volumi, delle superfici e nei rapporti di copertura, con riferimento alla sola parte eccedente i 30 centimetri e fino ad un massimo di ulteriori 25 centimetri per gli elementi verticali e di copertura e di 15 centimetri per quelli orizzontali intermedi. Nel rispetto dei predetti limiti è permesso derogare, nell'ambito delle pertinenti procedure di rilascio dei titoli abitativi di cui al titolo II del decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001 n. 380, a quanto previsto dalle normative nazionali, regionali o dai regolamenti edilizi comunali, in merito alle distanze minime tra edifici, alle distanze minime di protezione del nastro stradale, nonché dalle altezze massime degli edifici."

- Legge del 24/03/1989 n. 122 art. 9 comma 1:

I proprietari di immobili possono realizzare nel sottosuolo degli stessi ovvero nei locali siti al piano terreno dei fabbricati parcheggi da destinare a pertinenza delle singole unità immobiliari, anche in deroga agli strumenti urbanistici ed ai regolamenti edilizi vigenti. «Tali parcheggi possono essere realizzati, ad uso esclusivo dei residenti, anche nel sottosuolo di

aree pertinenziali esterne al fabbricato, purché non in contrasto con i piani urbani del traffico, tenuto conto dell'uso della superficie sovrastante e compatibilmente con la tutela dei corpi idrici (legge 15/5/1997 n.127 art. 17 comma 90)». Restano in ogni caso fermi i vincoli previsti dalla legislazione in materia paesaggistica ed ambientale ed i poteri attribuiti dalla medesima legislazione alle regioni e ai Ministeri dell'ambiente e per i beni culturali ed ambientali da esercitare motivatamente nel termine di 90 giorni.

- Legge della Regione Lombardia n. 33 del 28/12/2007 art. 12:

"I muri perimetrali portanti e di tamponamento, nonché i solai che costituiscono involucro esterno di nuove costruzioni e di ristrutturazioni soggette al rispetto dei limiti di fabbisogno di energia primaria o di trasmittanza termica, previsti dalle disposizioni regionali in materia di risparmio energetico, non sono considerati nei computi per la determinazione della superficie lorda di pavimento (s.l.p.), dei volumi e dei rapporti di copertura in presenza di riduzioni certificate superiori al 10 per cento rispetto ai valori limite previsti dalle disposizioni regionali sopra richiamate."

- Legge della Regione Lombardia n. 39 del 21/12/2004 art. 4 commi 4 e 5:

"Le serre bioclimatiche e le logge addossate o integrate all'edificio, opportunamente chiuse e trasformate per essere utilizzate come serre per lo sfruttamento dell'energia solare passiva, sono considerate volumi tecnici e quindi non computabili ai fini volumetrici a condizione che siano progettate in modo da integrarsi nell'organismo edilizio nuovo o esistente e che dimostrino, attraverso i necessari calcoli energetici, la loro funzione di riduzione dei consumi di combustibile fossile per riscaldamento invernale, attraverso lo sfruttamento passivo e attivo dell'energia solare o la funzione di spazio intermedio."

"I sistemi per la captazione e lo sfruttamento dell'energia solare passiva addossati o integrati agli edifici, quali pareti ad accumulo, muri collettori, e captatori in copertura, sono considerati volumi tecnici e non sono computabili ai fini volumetrici."

- Norme Tecniche di Attuazione:

Art. 3.04 Superficie permeabile (Sp) \geq 50%: E' la superficie del lotto che deve essere conservata permeabile in modo profondo alle acque, consistente in prato o sterrato non sovrastante piani interrati anche realizzati ai sensi della legge 122/89.

Art. 4.01 Superficie utile lorda (Sul): (Nell'area di progetto 3.625,96 m² residenziali e 194,00 m² terziario/commerciali): Misura in m² la somma delle superfici lorde, comprese entro il filo esterno delle murature, di tutti i livelli fuori ed entro terra degli edifici; vanno inoltre computate nella Sul i locali ricavati nei sottotetti che presentano i requisiti necessari per il cambio di destinazione d'uso in locali abitabili in applicazione della legge regionale 15/96 e successive modifiche. Dal computo della Sul è esclusa:

- a) la superficie dei vani corsa degli ascensori, dei vani scala e degli atri (compresi i corridoi comuni ad essi collegati) relativi ad edifici con più unita' immobiliari.
- b) la superficie dei vani tecnici e degli impianti tecnologici al netto delle murature per le parti interne agli edifici e al lordo delle stesse per le parti emergenti dalla linea di gronda o dall'estradosso dell'ultimo solaio.
- c) spazi non interamente chiusi anche se coperti, quali logge, balconi, terrazzi coperti, altane, porticati, quando la superficie di tali spazi non superi il 35% della Sul complessiva.
- d) i soppalchi, quando non superino il 25% della Sul del locale soppalcato.
- e) locali completamente interrati o emergenti non oltre m 0,80, misurati dalla quota del suolo al piede dell'edificio fino all'intradosso del primo solaio, qualora destinati a funzioni accessorie, quali locali tecnici, cantine, autorimesse, parcheggi, magazzini e depositi, quando la porzione realizzata esternamente alla superficie coperta non superi il 35% della Superficie coperta Sc.

- Art. 4.03 Numero di piani (P) ≤ 3 : E' il numero di tutti i piani (compresi attici o mansarde) che contribuiscono a determinare la Sul; questa grandezza viene utilizzata per i soli edifici residenziali di nuova edificazione nelle Aree di Trasformazione (come l'area di progetto).

-Art. 7.04 Qualora gli edifici previsti nelle Aree di Trasformazione (P.L. in oggetto) siano progettati utilizzando la categoria di intervento MBE, la Sul di ogni edificio è incrementata del 5%. Si intende per MBE, l'insieme di interventi finalizzati a migliorare le prestazioni bioclimatiche ed energetiche degli edifici, mediante la regolazione climatica degli edifici secondo i principi della bioarchitettura, l'utilizzo di fonti energetiche naturali e rinnovabili, il recupero delle acque reflue e meteoriche per gli usi non idropotabili, l'impiego di materiali di costruzione durevoli e mantenibili.

13.3 Le scelte progettuali sull'area di progetto

Ora che abbiamo un'idea più chiara di quello che possiamo o non possiamo progettare, dobbiamo decidere quanti edifici realizzare e in che tipologia. Ai fini del confronto ci servono almeno un edificio a “norma di legge”, un edificio standard CasaClima B, un edificio standard CasaClima A, un edificio standard Passivhaus e un edificio standard Minergie. L'area di progetto è in grado di contenere molto più di 5 edifici, ed inoltre avendo a disposizione una superficie utile lorda a destinazione terziario-commerciale dobbiamo realizzare (o almeno ci sentiamo in dovere di farlo) una palazzina a destinazione mista terziario-commerciale-residenziale o uno spazio solo dedicato alle attività terziario-commerciali. Osservando bene l'area di progetto ci accorgiamo che il lotto ha una forma allungata sull'asse nord-sud, con una declinazione da questo asse di soli 16° (ideale per la realizzazione di un edificio bioclimatico) e costeggiato ai lati sud, est e nord da tre strade (il solo lato edificato è quello ovest, con villette di due piani circa). Decidiamo quindi di sfruttare l'ottima incidenza del lotto per realizzare almeno 5 edifici con i canoni dell'edilizia bioclimatica e 5 edifici non

bioclimatici, magari sul lato est dell'area di progetto in modo da avere il fronte principale su via Indro Montanelli. Vicino ai parcheggi (a nord) proveremo ad infilarci la palazzina.



Figura 364 - Localizzazione degli edifici e lottizzazione dell'area di progetto - archivio personale

Nella figura 364 vediamo il risultato del nostro lavoro. Nei lotti 3, 6, 9, 12 e 15 inseriremo cinque ville singole, nel lotto 18 la nostra palazzina a destinazione mista e nei lotti rimanenti gli edifici bioclimatici, ovvero le sei bifamiliari.



Figura 365 - Rapporto tra l'area di progetto, il P.L e la città - archivio personale

13.4 La progettazione degli edifici a “norma di legge”

Prima di iniziare la progettazione vera e propria poniamoci una domanda: sappiamo come progettare un edificio a norma di legge? La risposta è no. In effetti conosciamo tutto quello che ci serve per progettare un edificio nei protocolli CasaClima, Passivhaus e Minergie, ma non abbiamo ancora visto come progettare un edificio nella normalità. La progettazione dei nuovi edifici, così come la ristrutturazione e gli ampliamenti degli edifici esistenti sono normati dal Decreto Legislativo n.192 del 19 agosto 2005 “Attuazione della Direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico in edilizia” e dal Dlgs n°311 del 29 dicembre 2006 “Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005 n.192, recante attuazione della

Direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico in edilizia” e dai successivi decreti attuativi (D.P.R. 59/09, D.M. 26/06/2009 ecc) dando applicazione ai principi di contenimento dei consumi energetici previsti dal Protocollo di Kyoto. Nella progettazione di un nuovo edificio i Decreti vanno applicati integralmente, mentre se progettiamo su un edificio esistente le modalità di applicazione del decreto dipendono dalla tipologia dell’intervento.

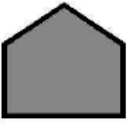

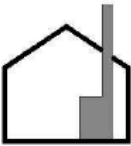



	edifici di nuova costruzione e impianti in essi contenuti		ampliamenti con un volume > 20% del volume dell’edificio stesso
	nuova installazione di impianti termici in edifici esistenti o ristrutturazione degli stessi impianti		ristrutturazioni integrali degli elementi d’involucro e demolizioni e ricostruzioni in manutenzione straordinaria di edifici esistenti con superficie utile > 1000 m ²
	sostituzione di generatori di calore		ristrutturazioni totali o parziali e manutenzioni straordinarie dell’involucro per tutti i casi diversi dai due sopra descritti

Figura 366 - Tipo di intervento (Art.3 DLgs 192/05) - fonte ANIT







					
A, B, E, F G, H, I, K, L M, N, O T, V, W	A, B, E, F G, H, I, K, N O, T, V, W	A, B, E, F G, H, I, K T, V, W	C, D, F G, H, I, J, K T, V, W	P, Q, J, K, L, M S, U, V	P, Q, R, U, V
	A, B, E, F, G, H I, K, N, O T, V, W	A, B, E, F, G, H I, K T, V, W	C, D, F, G, H I, J, K T, V, W	P, Q, J, K, L, M U, V	
A, B, E, F, H, I, K L, M, N, O T, V, W	A, B, E, F, H I, K, N, O T, V, W	A, B, E, F H, I, K T, V, W	C, D, F, H I, J, K T, V, W		
A, B, E, F, H, K L, M, N, O T, V, W	A, B, E, F, H, K, N O, T, V, W	A, B, E, F, H, K T, V, W	C, D, F, H, K T, V, W	P, Q, K, L, M U, V	
A, B, H, K, L M, N, O, T, V, W	A, B, H, K N, O, T, V, W	A, B, H, K T, V, W	C, H, K T, V, W		

Figura 367 - Verifiche⁶³ associate all’intervento (Art. 4 DPR 59/09) - fonte ANIT

Nella progettazione di un nuovo edificio il DLgs 311/06 ci consente di utilizzare due metodi differenti, perfettamente equivalenti, la “verifica semplificata” e la “verifica completa”.

⁶³ Nella figura 367 ogni lettera dell’alfabeto corrisponde ad una verifica da effettuare.

Nella “verifica semplificata” si calcolano le trasmittanze termiche U dei componenti edilizi (pareti verticali opache, coperture e pavimenti verso ambienti non riscaldati, serramenti e vetri) che devono essere inferiori ai valori limite definiti nel Decreto.

Nella “verifica completa” si calcola l'Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EPI) effettivo dell'edificio e lo si confronta con il valore limite definito nel Decreto.

13.4.1 Il metodo delle trasmittanze U limite (verifica semplificata)

La verifica semplificata può essere utilizzata solo nel caso siano rispettate alcune condizioni, ed in particolare: 1) se il rapporto tra la superficie trasparente complessiva dell'edificio e la sua superficie utile è inferiore a 0,18; 2) se i generatori e/o le pompe di calore hanno rendimenti adeguati. Rispettate queste condizioni, ci si limita al calcolo delle trasmittanze termiche U dei componenti dell'involucro (pareti opache verticali, coperture, pavimenti, chiusure trasparenti e vetri) a contatto verso l'esterno, verso altri locali e verso ambienti non riscaldati. Queste trasmittanze devono essere inferiori ai valori U limite riportati nelle tabelle.

Strutture opache verticali	
Zona climatica A	$U < 0,62 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica B	$U < 0,48 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica C	$U < 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica D	$U < 0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica E	$U < 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica F	$U < 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabella 26 - *Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali*

Coperture	
Zona climatica A	$U < 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica B	$U < 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica C	$U < 0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica D	$U < 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$

Coperture	
Zona climatica E	$U < 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica F	$U < 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$
Pavimenti verso locali non riscaldati o esterno	
Zona climatica A	$U < 0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica B	$U < 0,49 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica C	$U < 0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica D	$U < 0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica E	$U < 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica F	$U < 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabella 27 - *Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate*

Chiusure trasparenti	
Zona climatica A	$U < 4,60 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica B	$U < 3,00 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica C	$U < 2,60 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica D	$U < 2,40 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica E	$U < 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica F	$U < 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$
Vetri	
Zona climatica A	$U < 3,70 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica B	$U < 2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica C	$U < 2,10 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica D	$U < 1,90 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica E	$U < 1,70 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica F	$U < 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabella 28 - *Trasmittanza termica U delle chiusure trasparenti*

Divisori interni (orizzontali o verticali) tra unità immobiliari	
Zona climatica A	$U < 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica B	$U < 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$

Divisori interni (orizzontali o verticali) tra unità immobiliari	
Zona climatica C	$U < 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica D	$U < 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica E	$U < 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica F	$U < 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabella 29 - *Trasmittanza termica U delle pareti divisorie*

Pareti esterne di ambienti non riscaldati	
Zona climatica A	$U \leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$
Zona climatica B	$U \leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabella 30 - *Trasmittanza termica U delle pareti esterne per ambienti non riscaldati*

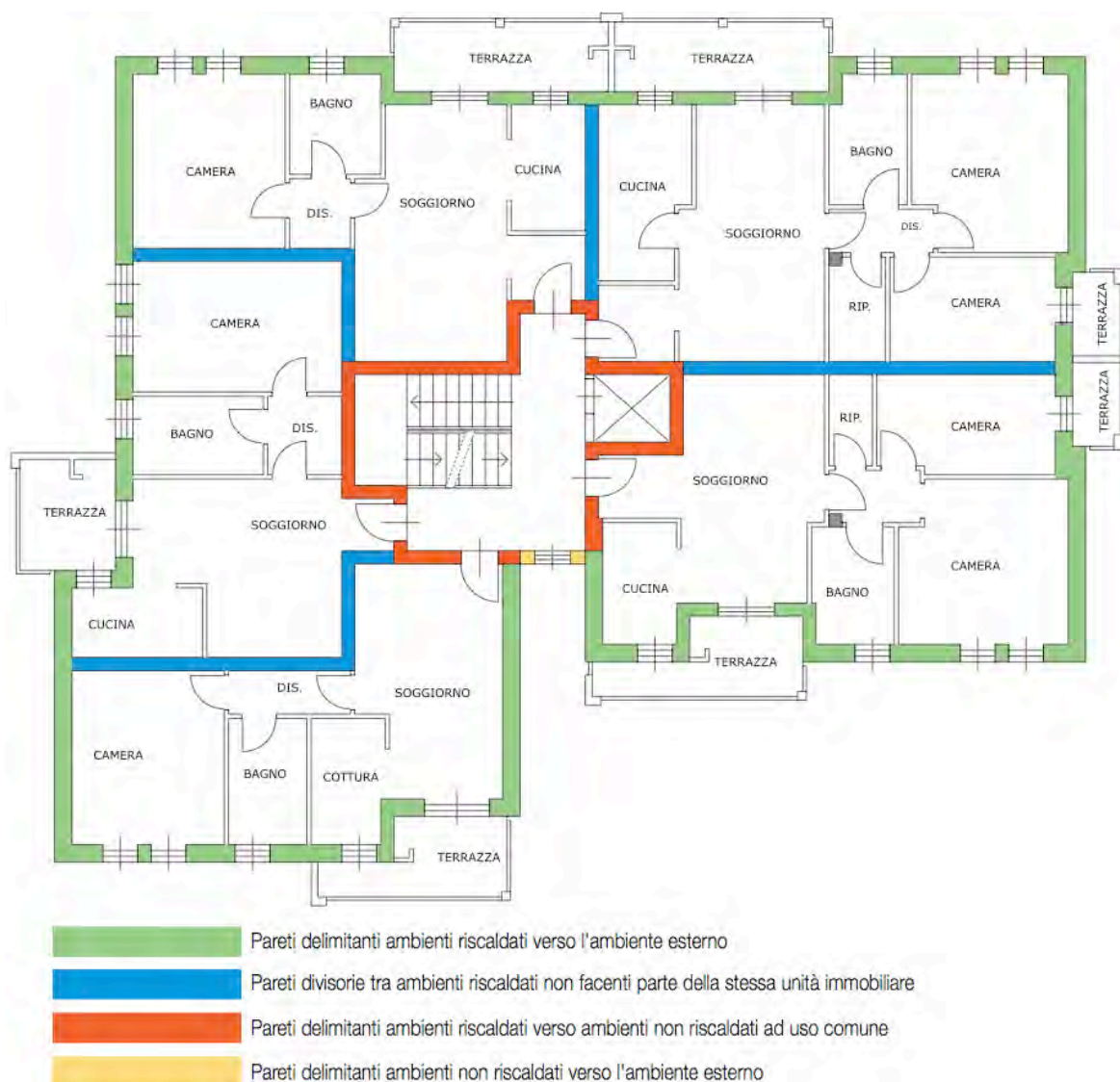


Figura 368 - *Classificazione termica delle pareti* - fonte ANIT

Rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico	
Rendimento globale medio stagionale (η_g)	$\geq (75+3 \log P_n)\%$ se $P_n < 1000\text{kW}$
Rendimento globale medio stagionale (η_g)	$\geq 84\%$ se $P_n \geq 1000\text{kW}$

Tabella 30 - Rendimento globale medio dell'impianto termico



Figura 369 - Cartina italiana delle zone climatiche - fonte ISOVER

13.4.2 Il metodo dell'EPi limite (verifica completa)

La verifica dei consumi energetici di qualunque tipologia di edificio può essere effettuata calcolando l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EPi). Il valore di EPi risultante dal calcolo del bilancio energetico dell'edificio non deve essere superiore ad un valore limite definito in funzione:

- 1) della Categoria⁶⁴. Sono infatti previste due tabelle riportanti i valori di EPi limite, una valida per gli edifici residenziali (con l'esclusione dei collegi, dei conventi, delle case di pena e delle caserme) ed una valida per tutte le altre categorie di edifici;
- 2) della zona climatica in cui sarà costruito l'edificio;
- 3) del rapporto disperdente S/V dell'edificio, dove S è la superficie disperdente verso ambienti non riscaldati e V è il volume riscaldato.

Rapporto di forma S/V	Zona Climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	da 601 GG	a 900 GG	da 901 GG	a 1400 GG	da 1401 GG	a 2100 GG	da 2101 GG	a 3000 GG	oltre a 3000 GG
≤ 0,2	8,5	8,5	12,8	12,8	21,3	21,3	34	34	46,8	46,8
≥ 0,9	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116

Tabella 31 - Valori limite di EPi per edifici residenziali (kWh/m²a)

Rapporto di forma S/V	Zona Climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	da 601 GG	a 900 GG	da 901 GG	a 1400 GG	da 1401 GG	a 2100 GG	da 2101 GG	a 3000 GG	oltre a 3000 GG
≤ 0,2	8,5	8,5	12,8	12,8	21,3	21,3	34	34	46,8	46,8
≥ 0,9	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116

Tabella 32 - Valori limite di EPi per altre categorie di edifici (kWh/m³a)

⁶⁴ Definita ai sensi del DPR 412/93.

13.4.3 Le altre verifiche

Oltre alla verifica dell'edificio, da effettuarsi con uno dei due metodi sopra descritti, la normativa obbliga all'analisi: 1) della massa superficiale; 2) delle condensazioni superficiali e interstiziali; 3) dell'analisi dei ponti termici strutturali.

1) L'analisi della massa superficiale serve per godere dei benefici dovuti all'inerzia termica. Tutte le pareti opache verticali, orizzontali o inclinate devono avere una massa superficiale MS (al netto degli intonaci) superiore a 230 kg/m^2 . Questa verifica deve essere condotta in tutte le zone climatiche, ad esclusione della F, in cui il valore medio dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di maggior insolazione estiva, sia uguale o superiore a 290 W/m^2 .

2) L'analisi delle condensazioni superficiali e interstiziali serve per impedire la formazione di condensa nelle pareti. Il Decreto richiede infatti di verificare l'assenza di condense superficiali. Per la verifica è prescritto di assumere una temperatura interna di progetto pari a 20°C e una umidità relativa pari al 65%. Si deve inoltre verificare che le condensazioni nella massa siano inferiori alla quantità rievaporabile durante il periodo estivo.

3) L'analisi dei ponti termici strutturali serve per il calcolo delle trasmittanze U (sia nella verifica semplificata che nella verifica completa). Difatti i valori U limite visti nelle tabelle precedenti si intendono per ponti termici strutturali (tra solai e pareti verticali o pareti verticali tra loro) "corretti". Un ponte termico è considerato "corretto" quando la trasmittanza termica della parete fittizia (il tratto di parete esterna in corrispondenza del ponte termico) non supera di oltre il 15% la trasmittanza U della parete corrente. Qualora il progetto non preveda la correzione dei ponti termici, i valori limite di trasmittanza termica U si intendono comprensivi della presenza dei ponti termici.

13.5 Il calcolo delle dispersioni di calore

Se nel capitolo 6 abbiamo visto l'importanza che hanno per gli edifici la Trasmittanza, la Resistenza Termica e la Capacità termica dei materiali che lo compongono, adesso è arrivato il momento di imparare a calcolarne i valori.

13.5.1 La conduttività termica λ

Per conduttività termica s'intende la quantità di calore che viene trasmessa attraverso 1 m^2 di materiale con uno spessore di 1 metro se la differenza di temperatura è di un 1°C (1 Kelvin). L'unità si misura è Watt al metro Kelvin [$\text{W}/(\text{mK})$]. Se un materiale, come per esempio il ferro, ha una grande conduttività termica (alto valore lambda) significa che ha un pessimo isolamento termico. I materiali che invece conducono male il calore, come per esempio gli isolanti termici, hanno una conduttività termica molto bassa e quindi si adattano bene per l'isolamento degli edifici.

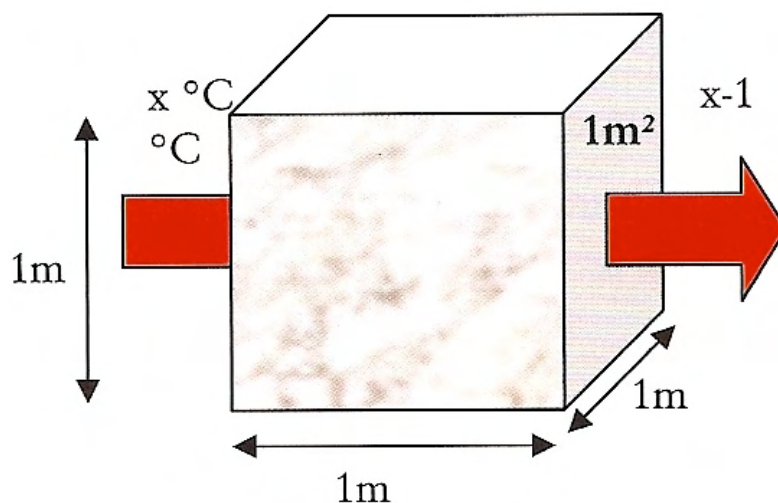


Figura 370 - Visualizzazione della conduttività termica - fonte CasaClima

Quanto peggio un materiale conduce il calore, tanto meglio è indicato per isolare. La conduttività termica di un materiale dipende soprattutto dal suo peso specifico, dalla temperatura e dal grado d'umidità. Il valore ideale del peso specifico varia grosso modo tra 20 kg/m^3 e 100 kg/m^3 . Con la diminuzione del peso specifico la dispersione termica aumenta per radiazione termica, con l'aumento del peso specifico la dispersione termica aumenta per

conduzione termica. Anche la temperatura e il grado d'umidità dell'ambiente si ripercuotono sulla conduttività termica dei materiali, infatti a temperature molto basse l'azione isolante migliora leggermente mentre con la crescita del grado d'umidità diminuisce l'azione isolante dei materiali da costruzione (Questo effetto è più marcato nelle fibre minerali rispetto a materiali isolanti con cellule completamente chiuse).

13.5.2 La capacità termica specifica c

La capacità termica specifica di un materiale è la quantità d'energia necessaria per riscaldare 1 Kg di sostanza di 1° C (1° K). L'unità di misura è J/KgK. La capacità termica specifica è particolarmente importante per la protezione contro il surriscaldamento estivo ed è la base per il calcolo dello sfasamento e delle attenuazioni dell'ampiezza.

13.5.3 La resistenza termica R

La resistenza termica R si calcola come segue:

$$R = s / \lambda \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

dove s è lo spessore del materiale in m e λ è la conduttività termica del materiale.

Conoscendo quindi lo spessore e la conduttività termica di un materiale possiamo calcolarne la resistenza R . Se invece abbiamo elementi a più strati (intonaco interno, mattoni e intonaco esterno) il calcolo viene fatto calcolando le singole resistenze e sommandole.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Nella vita di tutti i giorni però gli elementi che ci interessano sono influenzati dall'ambiente in cui si trovano (aria interna, intonaco interno, mattoni, intonaco esterno e aria esterna), dobbiamo quindi aggiungere alla nostra formula le resistenze termiche superficiali per poter finalmente trovare la resistenza termica totale R_T .

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

dove R_{si} è la resistenza termica superficiale interna e R_{se} quella esterna.

Le resistenze termiche superficiali R_{si} e R_{se} sono dei valori che tengono conto della trasmissione d'energia dall'aria alla superficie degli elementi di costruzione. Questi valori si possono ricavare dalla tabella sottostante o calcolare in base alla norma UNI EN ISO 6946.

	Resistenze termiche superficiali		
	Direzione del flusso termico		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
R_{si}	0,1	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04
Per elementi ventilati $R_{si} = R_{se}$			
Per elementi aderenti al suolo $R_{se} = 0$			

Tabella 33 - *Tabella delle resistenze termiche superficiali*

Può capitare però di avere superfici inclinate (tetti) ed in tal caso come consideriamo il flusso termico? Noi sappiamo che il flusso di calore è sempre perpendicolare alle isoterme (superfici d'uguale temperatura) ed è orientato dal lato caldo a quello freddo. Quindi per una parete omogenea senza ponti termici, il flusso di calore ha un andamento orizzontale dal lato caldo al lato freddo. La norma ci dice che se la direzione del flusso di calore non devia di +/- 30° dal piano orizzontale, si parla di flusso di calore orizzontale.

In caso di elementi aderenti al suolo la resistenza termica superficiale è = 0 mentre per elementi ventilati $R_{si} = R_{se}$.

13.5.3 *La resistenza termica delle intercapedini d'aria*

Nelle pareti, oltre a trovare elementi solidi, può capitare di trovare delle intercapedini d'aria non ventilate o debolmente ventilate. In questo caso come ci comportiamo? Anche qui ci viene in aiuto la normativa che dice: “si ha una intercapedine d'aria non ventilata quando si ha uno strato d'aria ferma, ovvero quando le aperture tra lo strato d'aria e l'ambiente non permettono un flusso d'aria attraverso l'intercapedine o se presenta al massimo 500 mm² d'apertura per metro di lunghezza (in intercapedini d'aria orizzontali o verticali).

In tal caso la resistenza termica dello strato d'aria ferma si può ricavare dalla seguente tabella.

Spessore intercapedine d'aria (mm)	Senso del flusso termico		
	Ascendente	Orizzontale	Discendente
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23
I valori intermedi si ottengono per interpolazione lineare			

Tabella 34 - *Tabella delle resistenze termiche delle intercapedini d'aria*

Se invece l'intercapedine presenta un'apertura compresa tra 500 mm² e 1500 mm² per metro di lunghezza si parla di intercapedine debolmente ventilata. La resistenza termica di uno strato d'aria debolmente ventilato corrisponde alla metà del valore della resistenza di uno strato d'aria ferma (tabella 34). Inoltre il valore massimo della resistenza termica di uno strato d'aria debolmente ventilato è pari a 0,15 m²K/W.

13.5.4 La trasmittanza termica U

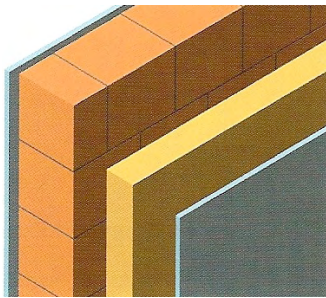
Il valore U è l'attuale termine che esprime la trasmittanza termica. È stato introdotto con il processo di armonizzazione europea e sostituisce la vecchia denominazione k. Il valore U rappresenta la quantità di calore ceduta attraverso un elemento costruttivo (muro, tetto, soffitto ecc.) con un determinato spessore (s) per m² di superficie e per grado di temperatura Kelvin. La sua unità di misura è W/m²K. Più basso è il valore U, meno calore (e quindi energia) va perso.

13.5.5 Il calcolo del valore U per un elemento omogeneo (UNI EN ISO 6943)

Il valore U si calcola con la formula seguente:

$$U = 1 / R_T = 1 / (R_{si} + R_l + R_2 + \dots + R_n + R_{se}) \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

ed è l'inverso della resistenza termica. Proviamo a calcolarlo su questa struttura:



Strato 1	Intonaco interno	$S_1 = 1,5 \text{ cm}$	$\lambda_1 = 0,700 \text{ W/mK}$
Strato 2	Muro in laterizio	$S_2 = 25 \text{ cm}$	$\lambda_2 = 0,210 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento esterno	$S_3 = 12 \text{ cm}$	$\lambda_3 = 0,035 \text{ W/mK}$
Strato 4	Intonaco esterno	$S_4 = 0,5 \text{ cm}$	$\lambda_4 = 0,700 \text{ W/mK}$

$$U = 1 / R_T = 1 / (0,015 / 0,70 + 0,25 / 0,21 + 0,12 / 0,035 + 0,005 / 0,70) = 0,208 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Molto spesso però ci troviamo di fronte a strutture disomogenee, come ad esempio la struttura appena vista con l'aggiunta dei pilastri nello strato del muro in laterizio. Per ottenere il valore U di un tale elemento strutturale disomogeneo si calcolano prima i valori limiti delle resistenze termiche totali $R'T$ ed $R''T$; dove $R'T$ indica il limite superiore della resistenza termica totale e $R''T$ indica il limite inferiore della resistenza termica totale.

I valori si calcolano come segue:

$$1 / R'T = f_a / R_{Ta} + f_b / R_{Tb} + R_2 + \dots + f_n / R_{Tn}$$

$$R''T = R_{si} + R_l + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

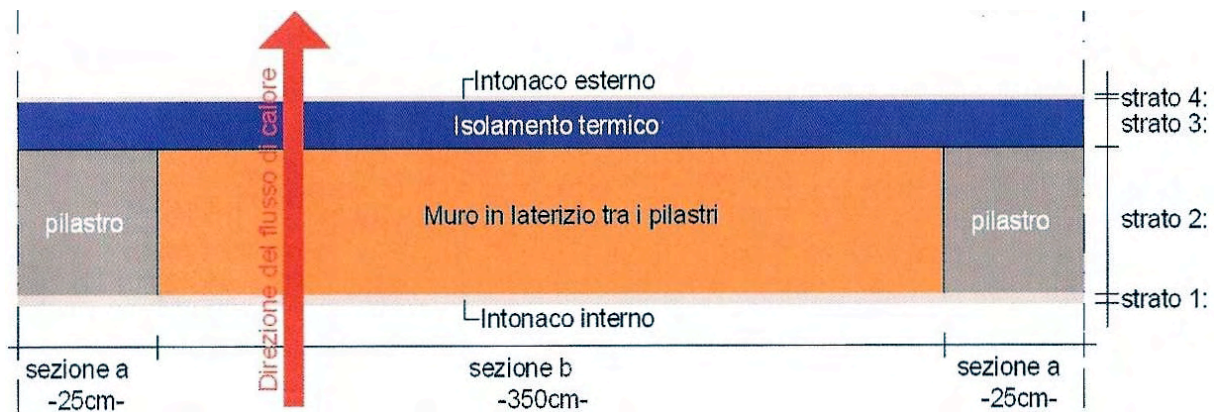
Successivamente si calcola la resistenza termica totale media e quindi il valore U dell'intero elemento strutturale.

$$R_T = (R'T + R''T) / 2 \quad e \quad U = 1 / R_T$$

Calcoliamolo sulla seguente struttura così formata:

Strato 1	Intonaco interno di calce	$S_1 = 1,5 \text{ cm}$	$\lambda_1 = 0,800 \text{ W/mK}$
Strato 2	Pilastro in c.a. 25x25 ogni 3,5 m	$S_2 = 25 \text{ cm}$	$\lambda_2 = 2,100 \text{ W/mK}$
Strato 2	Muro in laterizio tra i pilastri	$S_2 = 25 \text{ cm}$	$\lambda_2 = 0,210 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento esterno	$S_3 = 10 \text{ cm}$	$\lambda_3 = 0,040 \text{ W/mK}$

Strato 4 Intonaco esterno $S_4 = 0,5 \text{ cm}$ $\lambda_1 = 0,800 \text{ W/mK}$



Inizialmente si calcola il limite superiore della resistenza termica totale (R'_T) per le due sezioni.

Sezione a: Zona del pilastro in cemento armato:

$$R_{Ta} = R_{si} + s_1/\lambda_1 + s_2/\lambda_2 + \dots + s_n/\lambda_n + R_{se}$$

$$= 0,13 + 0,015 / 0,800 + 0,25 / 2,100 + 0,10 / 0,040 + 0,005 / 0,800 + 0,04 = 2,814 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$f_a = I_a / (I_a + I_b) = 25 \text{ cm} / (25 \text{ cm} + 350 \text{ cm}) = 0,067 \text{ (corrisponde a 6,7\% dell'area totale)}$$

Sezione b: Zona del muro in laterizio:

$$R_{Tb} = R_{si} + s_1/\lambda_1 + s_2/\lambda_2 + \dots + s_n/\lambda_n + R_{se}$$

$$= 0,13 + 0,015 / 0,800 + 0,25 / 0,210 + 0,10 / 0,040 + 0,005 / 0,800 + 0,04 = 3,885 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$f_b = I_b / (I_a + I_b) = 350 \text{ cm} / (25 \text{ cm} + 350 \text{ cm}) = 0,933 = 93,3\% \text{ dell'area totale}$$

$$I / R'_T = f_a / R_{Ta} + f_b / R_{Tb} = 0,067 / 2,814 + 0,933 / 3,885 = 0,264 \text{ W/m}^2\text{K} = R'_T = 3,788 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Successivamente si calcola il limite inferiore della resistenza termica totale (R''_T) per i quattro strati:

Strato 1: Struttura omogenea:

$$I / R_I = f_a / R_{a1} + f_b / R_{b1} = f_a / (s_1/\lambda_1) + f_b / (s_1/\lambda_1) =$$

$$= 0,067 / (0,015 / 0,800) + 0,933 / (0,015 / 0,800) = 53,333 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Strato 2: Struttura disomogenea:

$$= 0,067 / (0,25 / 2,100) + 0,933 / (0,25 / 0,210) = 1,347 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Strato 3: Struttura omogenea:

$$= 0,067 / (0,10 / 0,040) + 0,933 / (0,10 / 0,040) = 0,400 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Strato 4: Struttura omogenea:

$$= 0,067 / (0,005 / 0,800) + 0,933 / (0,005 / 0,800) = 160,000 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R''_T = R_{si} + R_l + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

$$= 0,13 + 1 / 53,333 + 1 / 1,347 + 1 / 0,400 + 1 / 160,000 + 0,04 = 3,437 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Successivamente si calcola la resistenza termica totale media con la formula seguente:

$$R_T = (R'_T + R''_T) / 2 = (3,788 + 3,437) / 2 = 3,613 \text{ m}^2\text{K/W}$$

da cui

$$U = 1 / R_T = 1 / 3,613 = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$$

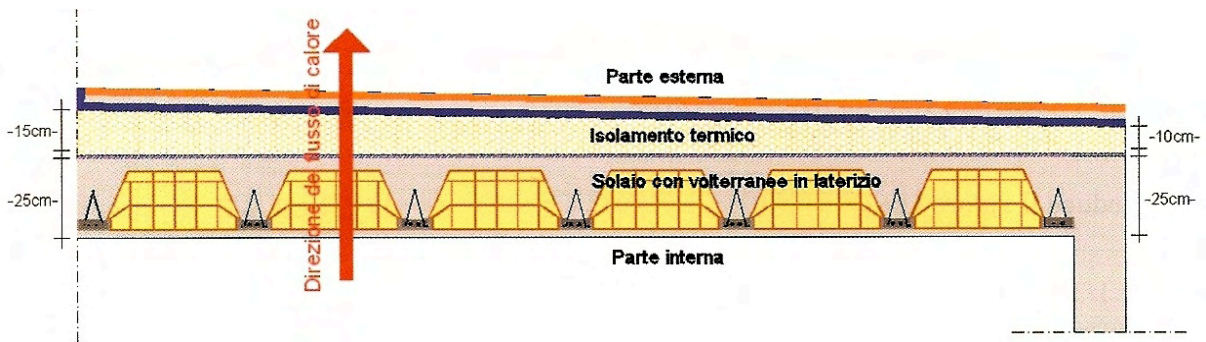
Nella pratica questo calcolo è molto più semplice, in quasi tutti i software infatti si inserisce semplicemente la % di pilastratura nella stratigrafia corrispondente.



La stessa procedura si usa, praticamente sempre, per il calcolo della trasmittanza U dei tetti formati da travi in legno con isolamento. Attenzione a ricordarsi di interrompere la stratigrafia nell'intercapedine di ventilazione che, come abbiamo visto, è da considerare aria esterna.

Sempre rimanendo in tema di coperture vediamo la procedura di calcolo del valore U per le strutture con stratificazione cuneiforme. Si tratta solitamente di solai piani, in genere terrazzi, in cui la pendenza per l'acqua è data dall'isolante. Per fare un calcolo d'esempio prendiamo in considerazione un solaio composto, dall'esterno all'interno da:

Strato 1	Solaio con volterrane in laterizio	$S_1 = 25 \text{ cm}$	$\lambda_1 = 0,800 \text{ W/mK}$
Strato 2	Freno a vapore		
Strato 3	Isolamento termico	$S_{2 \text{ min}} = 10 \text{ cm}, S_{2 \text{ max}} = 15 \text{ cm}$	$\lambda_2 = 0,040 \text{ W/mK}$
Strato 4	Isolamento contro l'umidità		
Strato 5	Strato di calcestruzzo protettivo	$S_3 = 4 \text{ cm}$	$\lambda_3 = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 6	Rivestimento della terrazza	$S_4 = 5 \text{ cm}$	$\lambda_4 = 2,300 \text{ W/mK}$



Come risulta dal grafico, l'isolamento termico è disposto in modo cuneiforme, questo comporta una variazione dello spessore che oscilla da 15 cm a 10 cm.

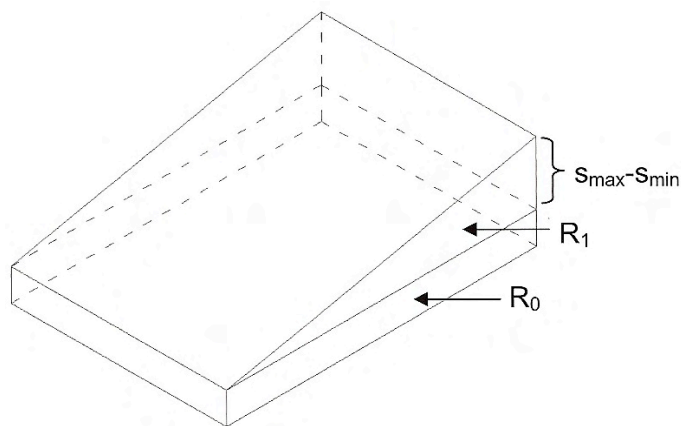


Figura 375 - Diagramma funzionale per superfici cuneiformi ad angolo retto - fonte CasaClima

Il calcolo si esegue con la seguente formula:

$$U = 1 / R_1 \times \ln (1 + R_1 / R_0) \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

dove il valore R_1 indica la resistenza termica massima dello strato cuneiforme che si osserva nel punto di massimo spessore mentre il valore R_0 indica la resistenza termica dell'elemento strutturale restante considerando la resistenza termica superficiale interna ed esterna.

$$R_1 = (S_{2 \text{ max}} - S_{2 \text{ min}}) / \lambda_2 = (0,15 - 0,10) / 0,04 = 1,250 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_0 = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} = R_{si} + s_1/\lambda_1 + s_2/\lambda_2 + s_3/\lambda_3 + s_4/\lambda_4 + R_{se}$$

$$= 0,10 + 0,25/0,800 + 0,10/0,040 + 0,04/2,300 + 0,05/2,300 + 0,04 = 2,992 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U = 1/R_1 \times \ln(1 + R_1/R_0) = 1/1,250 \times \ln(1 + 1,250/2,992) = 0,279 \text{ W/m}^2\text{K}$$

In altre geometrie con stratificazione cuneiforme si possono usare le seguenti formule per calcolare il valore U.

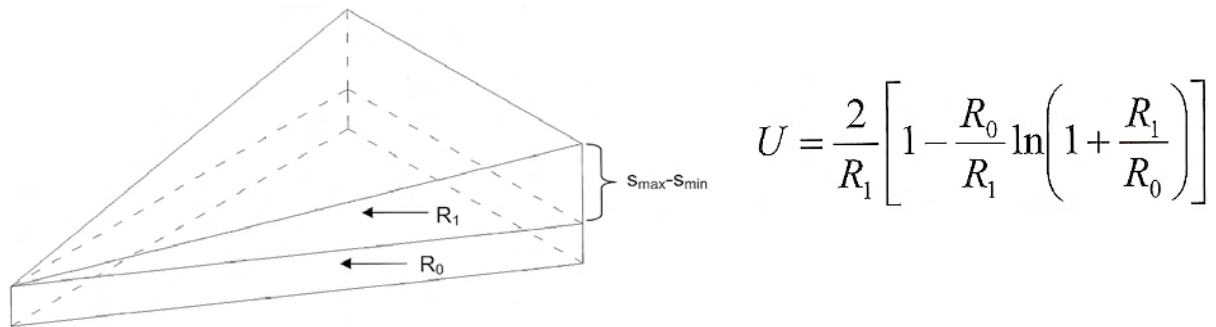


Figura 376 - Diagramma funzionale per superfici cuneiformi 1 - fonte CasaClima

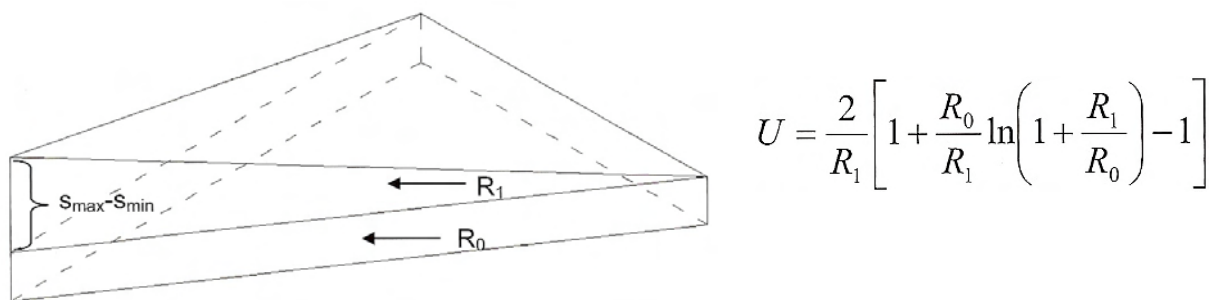


Figura 377 - Diagramma funzionale per superfici cuneiformi 2 - fonte CasaClima

Per terminare non ci rimane che calcolare il valore U dei serramenti. Per le porte bisogna farsi dare il valore U direttamente dal produttore o, in mancanza del dato, andare per analogia con porte simili. Per i serramenti vetrati (finestre, portefinestre ecc) si usa invece questa formula:

$$U_w = (A_g \times U_g + A_f \times U_f + l_g \times \psi_g) / (A_g + A_f) = \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

con

A_g : Area del vetro in m^2

U_g : Trasmittanza termica del vetro in $\text{W/m}^2\text{K}$

A_f : Area del telaio in m^2

U_f : Trasmittanza termica del telaio in $\text{W/m}^2\text{K}$

l_g : lunghezza del perimetro visibile del vetro in m

ψ_g : Trasmittanza termica lineare del distanziatore dei vetri in W/mK

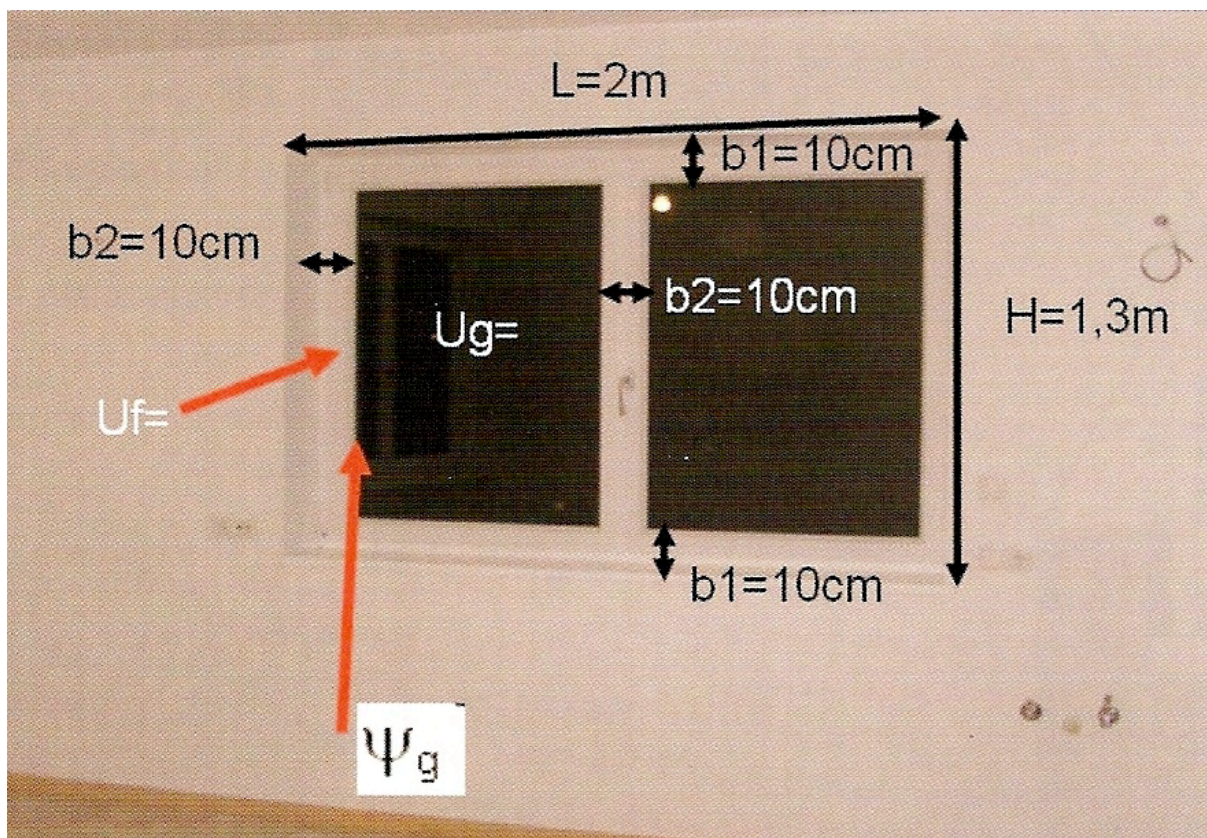


Figura 378 - Visualizzazione dei dati per il calcolo U di una finestra - fonte CasaClima

Calcolo:

$$U_w = (1,87 \times 1,1 + 0,73 \times 1,5 + 7,8 \times 0,06) / 2,6 = 1,39 \text{ W/m}^2\text{K}$$

13.5.5 Il calcolo dei ponti termici

Per concludere l'analisi delle dispersioni attraverso l'involucro non ci rimane che calcolare i ponti termici, cosa tutt'altro che semplice senza un software dedicato⁶⁵. Si consiglia quindi l'uso di programmi certificati in grado di fornire il coefficiente lineare ψ da inserire nei programmi per il calcolo del bilancio energetico. Facendo un esempio, se devo calcolare il ponte termico dell'attacco dei muri col solaio di fondazione non faccio altro che misurare il perimetro dell'edificio ed inserirlo nel programma insieme al valore ψ del ponte termico.

⁶⁵ Molti programmi di certificazione risolvono il problema aggiungendo un fattore correttivo ai componenti opachi con la formula $U_c = U (1 + F_{pt})$ dove F_{pt} è il fattore correttivo, esempio: 0% parete con cappotto, 5% parete con cappotto ma con balconi, 5% parete omogenea in mattoni senza isolante, ecc.

13.6 *Un software per il calcolo della prestazione energetica*

Prima di iniziare la progettazione degli edifici dobbiamo scegliere il software per il calcolo del fabbisogno energetico dell'edificio e dell'energia primaria. Per gli edifici a norma di legge non ci sono problemi, in quanto possiamo utilizzare un qualunque software in commercio redatto ai sensi del D.Lgs 192 e del D.Lgs 311, e lo stesso per gli edifici Minergie in quanto per la determinazione del fabbisogno energetico è permesso l'uso di un qualunque programma di calcolo. Per gli edifici Passivhaus e CasaClima dovremmo invece utilizzare i software PHPP e ProCasaClima. Usare software differenti però non ci permette di effettuare un confronto realistico, dobbiamo quindi trovare un software che vada bene per tutti. Essendo tutti i software europei basati sulla norma DIN EN ISO 13790 sappiamo che la base per il calcolo del fabbisogno termico è sempre la stessa. Le differenze le troviamo nel calcolo del valore U dei serramenti e nel calcolo delle dispersioni per ventilazione. Come abbiamo visto il valore U di un serramento si calcola con la formula:

$$U_w = (A_g \times U_g + A_f \times U_f + l_g \times \psi_g) / (A_g + A_f)$$

dove non si tiene conto del tipo di montaggio. Avendo gli edifici Minergie, Passivhaus e CasaClima delle prescrizioni molto rigide sulle modalità di montaggio dei serramenti ci serve un software che calcoli le dispersioni con la seguente formula:

$$U_w = (A_g \times U_g + A_f \times U_f + l_g \times \psi_g + l_w \times \psi_w) / (A_g + A_f)$$

in cui

l_w : lunghezza del perimetro del telaio (cornice di montaggio)

ψ_w : Trasmittanza termica lineare dell'attacco telaio/muro

Un'altra differenza la troviamo nel calcolo delle dispersioni dovute alla ventilazione. Gli edifici Passivhaus, Minergie-P e CasaClima impongono precisi valori di tenuta all'aria e questo influisce sul rendimento dell'impianto di areazione con recupero di calore. Ci serve

quindi un software che ci permetta di inserire la tenuta all'aria di progetto a n50. Fortunatamente un software con queste caratteristiche esiste ed è il WaVE⁶⁶.

13.7 Il progetto di undici edifici per il confronto degli standard energetici

Ora che sappiamo dove costruiremo i nostri edifici, come e con quale software eseguiremo i calcoli, possiamo buttarci nella progettazione. Trattandosi di un confronto dobbiamo fare in modo che i nostri edifici abbiano più elementi possibili in comune, decidiamo quindi che:

- la struttura di base deve essere la stessa per tutti gli edifici;
- la superficie e il volume da scaldare devono essere sempre gli stessi;
- nessun edificio deve avere ombreggiamenti dovuti ad altri edifici;
- le modifiche devono limitarsi all'isolamento, agli impianti ed ai serramenti.

13.7.1 L'edificio bifamiliare n.1 - edificio base

Avendo deciso di sfruttare l'ottimo orientamento del terreno per realizzare un edificio bioclimatico, decidiamo di farlo ricreando col nostro edificio una serra a guadagno diretto (vedi fig. 54 a pag. 88), operazione già riuscita all'architetto Matteo Thun con villa Heidi e agli architetti Gerhard Mahlknecht e Heinrich Mutschlechner con villa Montemiele.



Figura 379 - *Villa Montemiele* - fonte CasaClima

Per sfruttare al massimo il calore del sole alle nostre latitudini, un edificio bioclimatico dovrebbe avere una superficie vetrata a sud pari al 30% della parete, una superficie vetrata

⁶⁶ Software del centro di fisica edile TBZ di Bolzano utilizzato per la progettazione preliminare degli edifici a risparmio energetico e passivi.

massima del 15% sulle pareti est e ovest e una superficie vetrata massima del 10% sulla parete posta a nord. Noi cercando di ottimizzare al massimo l'insolazione solare apriremo il più possibile la parete a sud e al minimo indispensabile le altre pareti. Sempre per ottimizzare il bilancio energetico dell'edificio eliminiamo i ponti termici dovuti ai cassonetti per le tapparelle oscurando le finestre con le persiane e quelli dovuti ai pluviali portando questi all'esterno della parete.

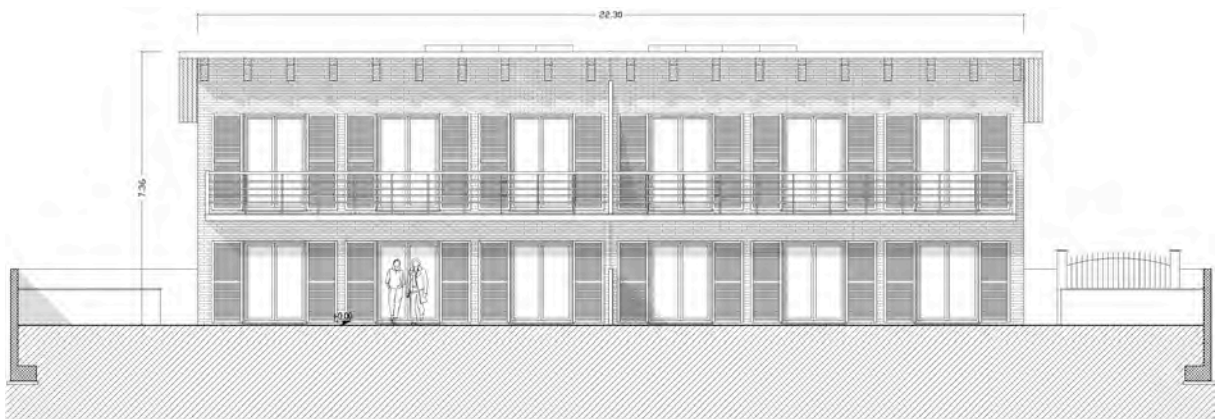


Figura 380 - *Bifamiliare 1: fronte sud* - archivio personale

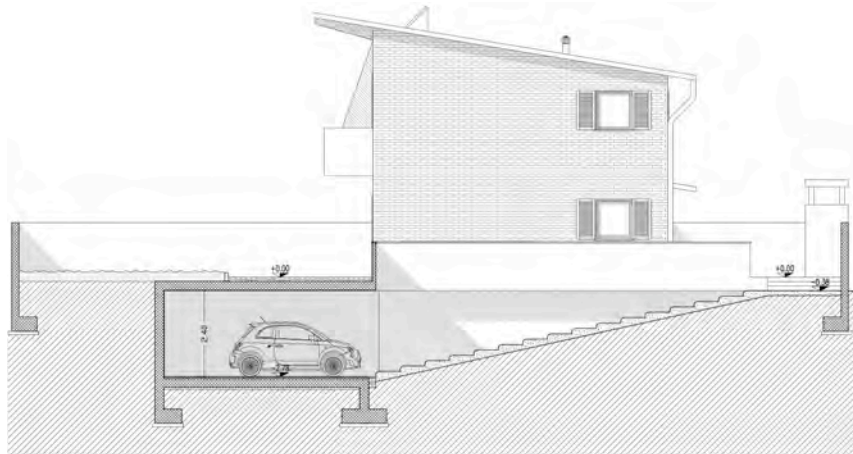


Figura 381 - *Bifamiliare 1: fronte est* - archivio personale

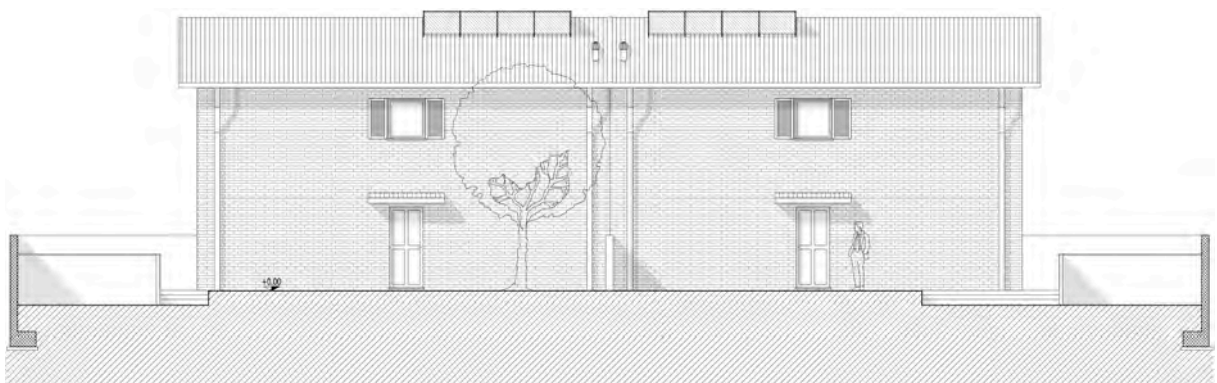


Figura 382 - *Bifamiliare 1: fronte nord* - archivio personale

Come tecnologia costruttiva decidiamo di rimanere sul tradizionale, quindi muri in mattoni, solai in laterocemento e tetto ventilato in legno. Come finitura optiamo per un rivestimento delle facciate in mattoni a vista e di conseguenza per un isolamento ad intercapedine.

La disposizione interna dei locali è quella classica degli edifici bioclimatici, con i locali nobili a sud e quelli di servizio a nord.

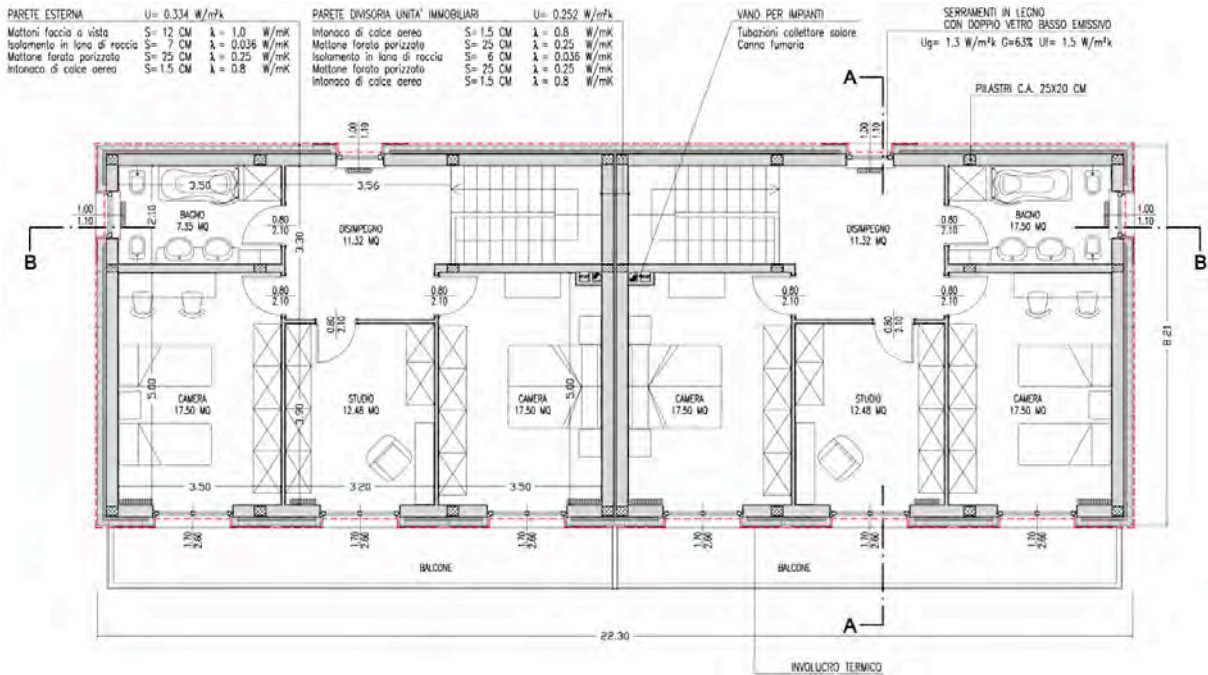


Figura 383 - Bifamiliare 1: pianta P.1 - archivio personale

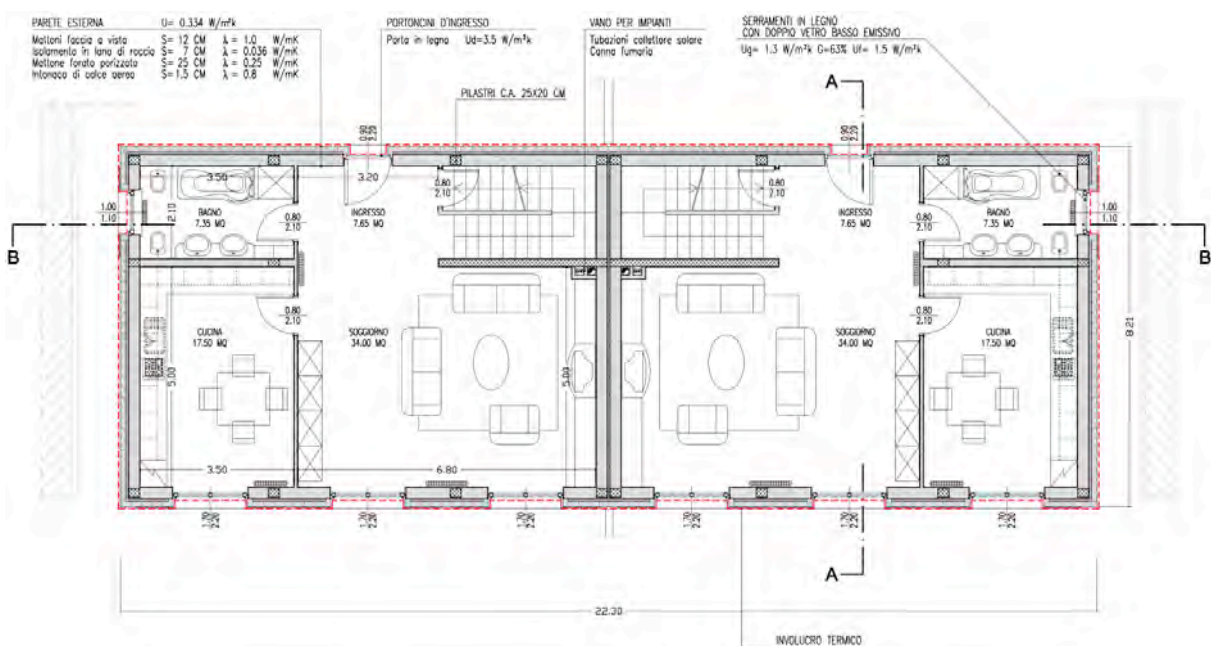


Figura 384 - Bifamiliare 1: pianta P.T - archivio personale

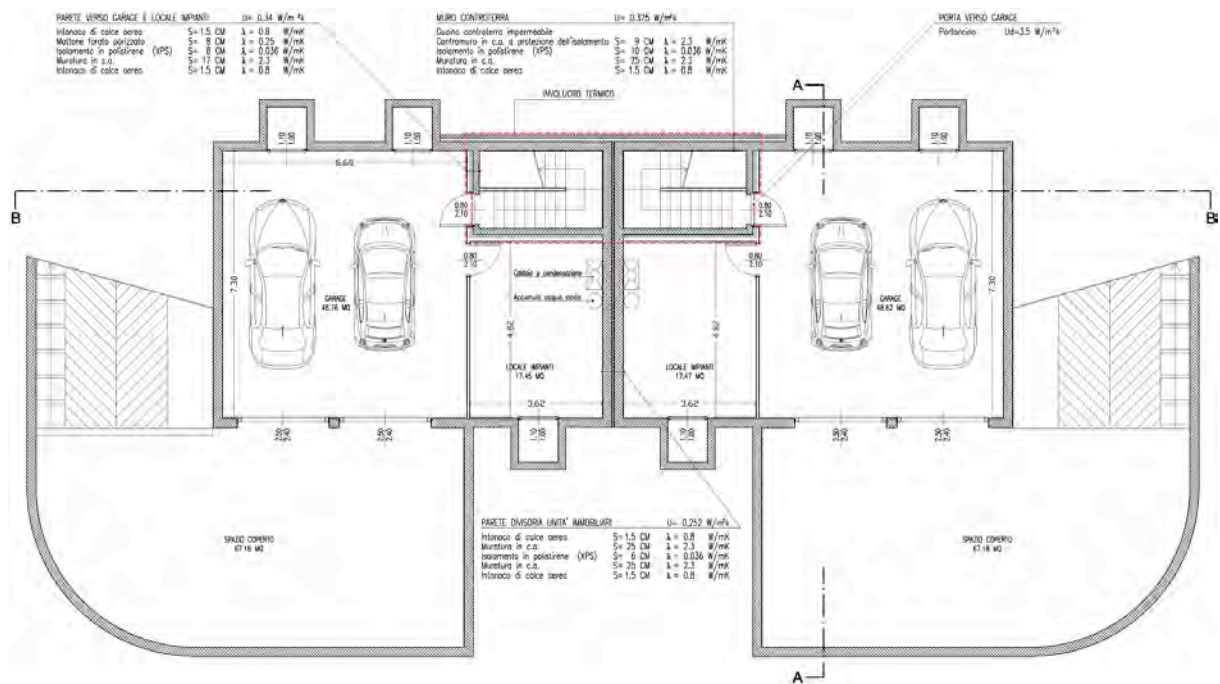


Figura 385 - Bifamiliare 1: pianta piano interrato - archivio personale

Non potendo, per motivi di ingombro, portare all'esterno la scala che conduce in cantina, decidiamo di includerla nell'involucro termico (linea rossa tratteggiata).

Rimane ora da risolvere uno dei maggiori problemi per questo genere di edifici, dovuta alle grandi superfici vetrate, ovvero la mancanza di privacy (tutti ci possono guardare in casa). Se questo problema è facilmente risolvibile nelle zone alpine acquistando terreni che abbiano il fronte sud a valle (cosa che permette di godere di un ottimo panorama e di non avere sguardi indiscreti in casa) in città di pianura come Vigevano non è di così semplice soluzione. Fortunatamente, avendo a disposizione un'area di grandi dimensioni, abbiamo risolto il problema nella fase di lottizzazione dell'area di progetto, collocando gli edifici bioclimatici in fondo a strade di lottizzazione a fondo chiuso (in cui non transitano persone estranee). Il problema degli sguardi indiscreti dei vicini di casa si risolve invece da solo. Essendo tutti gli edifici a nord ed a sud simili, tutti avranno grandi finestre a sud e piccole a nord. Dovendo inoltre garantire a tutti gli edifici un'ottima insolazione tutti avranno a sud un grande giardino e conseguentemente anche un bel panorama.

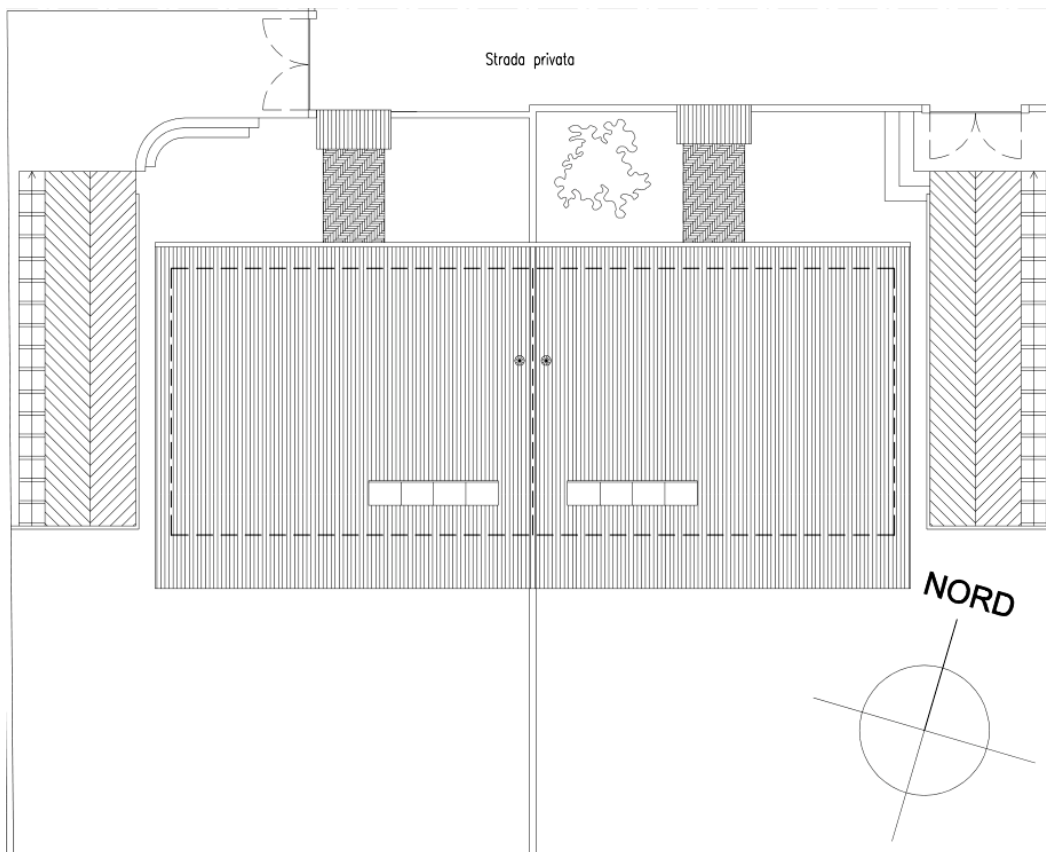


Figura 386 - *Bifamiliare 1: pianta copertura* - archivio personale

Come scelta dell'isolante optiamo per la lana di roccia, un isolante di origine naturale. Questa scelta la facciamo perché punteremo ad avere il + negli edifici casaclima e perché ci fa gola l'incremento del 5% di Sul per gli edifici progettati nella categoria di intervento MBE. Essendo la lana di roccia sensibile all'umidità (bagnandosi perde le sue caratteristiche di isolante) dove necessario useremo del polistirene estruso (XPS).

Deciso come realizzare l'edificio non ci rimane che progettarlo avvalendoci del software WaVE per il calcolo del bilancio energetico e dell'isolamento dell'involucro.

Inserendo nel software le dimensioni dell'edificio e la località (Vigevano) ricaviamo dal suo database i gradi giorno (2544 GG), il rapporto superficie/volume del nostro edificio (0,64) e l'EPi limite (72 kWh/m²a). Pur potendo, non optiamo per il metodo delle trasmittanze U limite (verifica semplificata), in quanto ai fini del confronto ci serve il fabbisogno energetico ed il consumo di energia primaria dell'edificio (realizziamo comunque l'involucro rispettando i limiti U imposti dalla normativa).

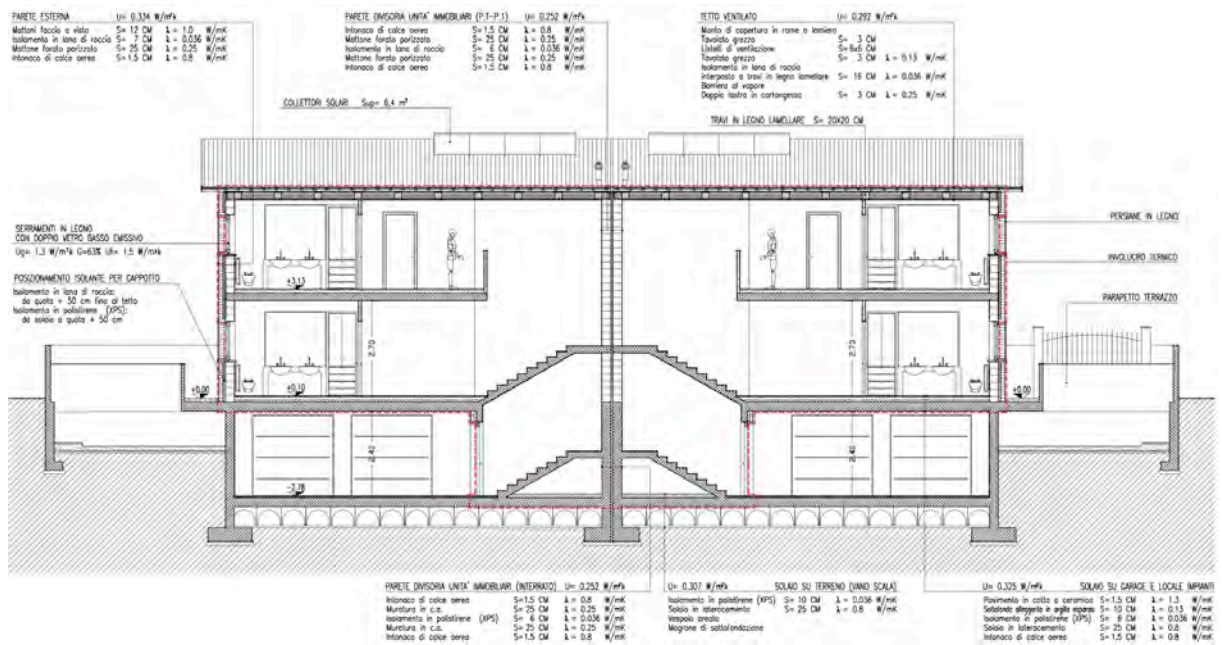


Figura 387 - Bifamiliare 1: sezione B-B - archivio personale

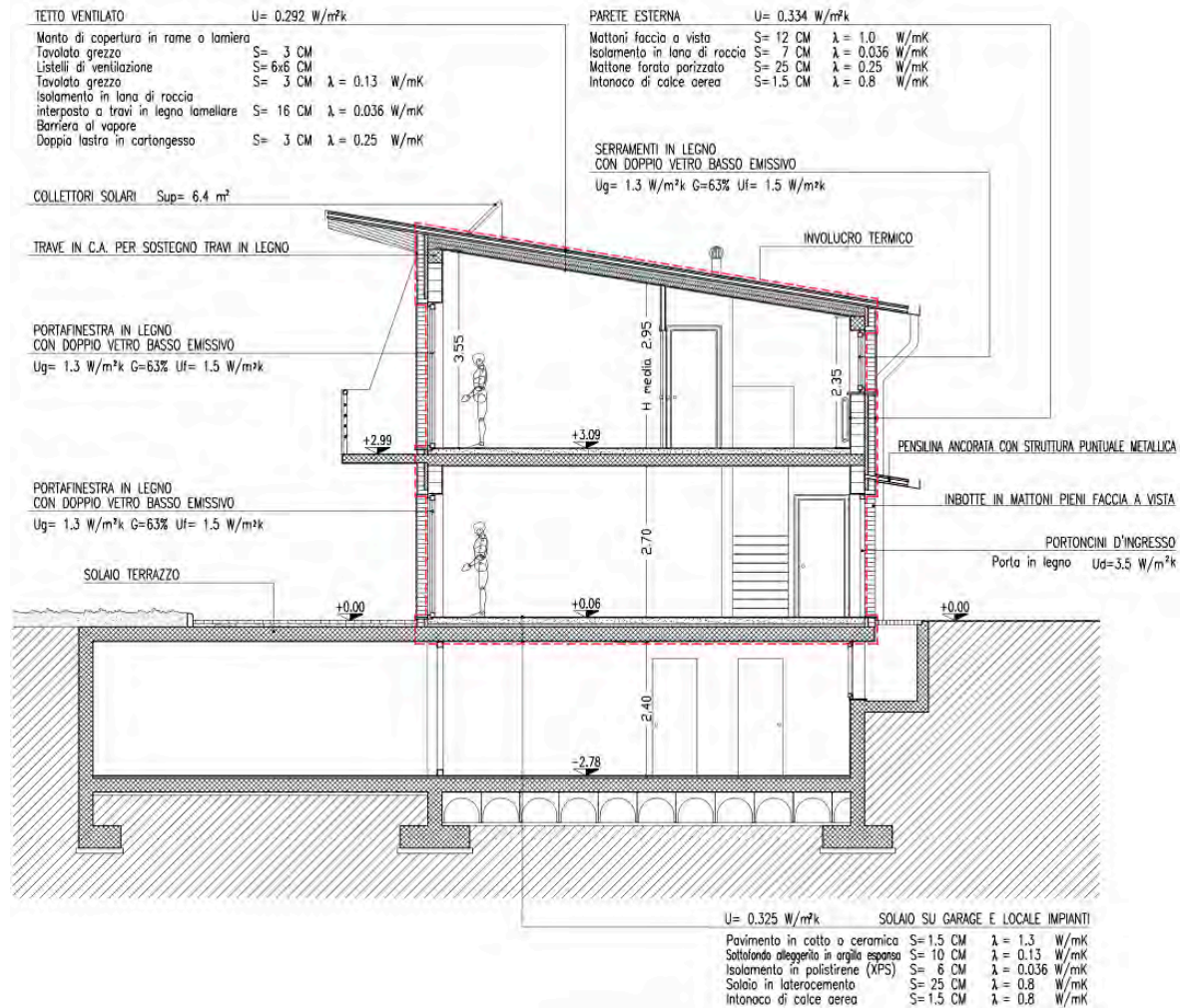


Figura 388 - Bifamiliare 1: sezione A-A - archivio personale

Dalle piante e dalle due sezioni si nota che sono state eliminate le nicchie dei termosifoni, scelta effettuata per eliminare i ponti termici (i termosifoni sono stati appoggiati direttamente alla parete).

Analizziamo adesso le principali componenti dell'involucro termico:

- Parete esterna $U = 0,334 \text{ W/m}^2\text{K}$

Strato 1	Mattoni faccia a vista	$S = 12 \text{ cm}$	$\lambda = 1,000 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di roccia	$S = 7 \text{ cm}$	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 3	Mattone forato porizzato	$S = 25 \text{ cm}$	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 3	Pilastro in c.a. 25x20	$S = 25 \text{ cm}$	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 4	Intonaco di calce aerea	$S = 1,5 \text{ cm}$	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Parete divisoria $U = 0,252 \text{ W/m}^2\text{K}$

Strato 1	Intonaco di calce aerea	$S = 1,5 \text{ cm}$	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
Strato 2	Mattone forato porizzato	$S = 25 \text{ cm}$	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento in lana di roccia	$S = 6 \text{ cm}$	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 4	Mattone forato porizzato	$S = 25 \text{ cm}$	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 5	Intonaco di calce aerea	$S = 1,5 \text{ cm}$	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Parete verso garage e locale impianti $U = 0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$

Strato 1	Intonaco di calce aerea	$S = 1,5 \text{ cm}$	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
Strato 2	Mattone forato porizzato	$S = 8 \text{ cm}$	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	$S = 8 \text{ cm}$	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 4	Muratura in c.a.	$S = 17 \text{ cm}$	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 5	Intonaco di calce aerea	$S = 1,5 \text{ cm}$	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Parete verso terreno $U = 0,325 \text{ W/m}^2\text{K}$

----- Guaina controterra impermeabile

Strato 1	Muro in c.a. a protezione dell'isolamento	$S = 9 \text{ cm}$	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
----------	---	--------------------	--------------------------------

Strato 2	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 10 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 3	Muratura in c.a.	S = 25 cm	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 4	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
<hr/>			
- Tetto ventilato		$U = 0,292 \text{ W/m}^2\text{K}$	
-----	Manto di copertura in rame o lamiera		
-----	Tavolato grezzo	S= 3 cm	
-----	Intercapedine ventilata	S = 6 cm	
Strato 1	Tavolato grezzo	S= 3 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di roccia	S = 16 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 2	Travi in legno lamellare	S = 16 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
-----	Barriera al vapore		
Strato 3	Doppia lastra di cartongesso	S = 3 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
<hr/>			
- Solaio su garage e locale impianti		$U = 0,325 \text{ W/m}^2\text{K}:$	
Strato 1	Pavimento in cotto o ceramica	S = 1,5 cm	$\lambda = 1,300 \text{ W/mK}$
Strato 2	Sottofondo alleggerito	S = 10 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 6 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 4	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
Strato 5	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
<hr/>			
- Solaio su vespaio areato		$U = 0,307 \text{ W/m}^2\text{K}:$	
Strato 1	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 10 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 2	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
-----	Vespaio areato		

Serramenti in legno con doppio vetro termoisolante:

$$U_g = 1,3 \text{ W/m}^2\text{k} \quad U_f = 1,5 \text{ W/m}^2\text{k} \quad \psi_g = 0,12 \text{ W/mk} \quad G = 63 \%$$

Portoncini d'ingresso:

$$U_d = 3,5 \text{ W/m}^2\text{k}$$

Inserendo tutti questi valori nel software (insieme al volume e alla superficie da scaldare, agli ombreggiamenti, alla tenuta all'aria ecc) ricaviamo il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento, che nel nostro caso è di 60 kWh/m²a.

Fatto questo non ci rimane altro da fare che scegliere il tipo d'impianto con cui scaldare l'edificio. Trattandosi di un edificio "normale" optiamo per un impianto comune, ovvero una caldaia a gas a condensazione per la produzione del calore, termosifoni a parete per la distribuzione del calore e un sistema di regolazione del tipo "climatico + singolo ambiente".

Otteniamo così la resa complessiva dell'impianto di riscaldamento che è dell'84 %.

Dal fabbisogno di energia utile per il riscaldamento e dalla resa complessiva dell'impianto di riscaldamento otteniamo finalmente l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (E_{Pi}) che è di 72 kWh/m²a (inferiore ai 78 kWh/m²a richiesti), i quali certificano l'edificio nella classe C (classificazione Cened della Regione Lombardia).

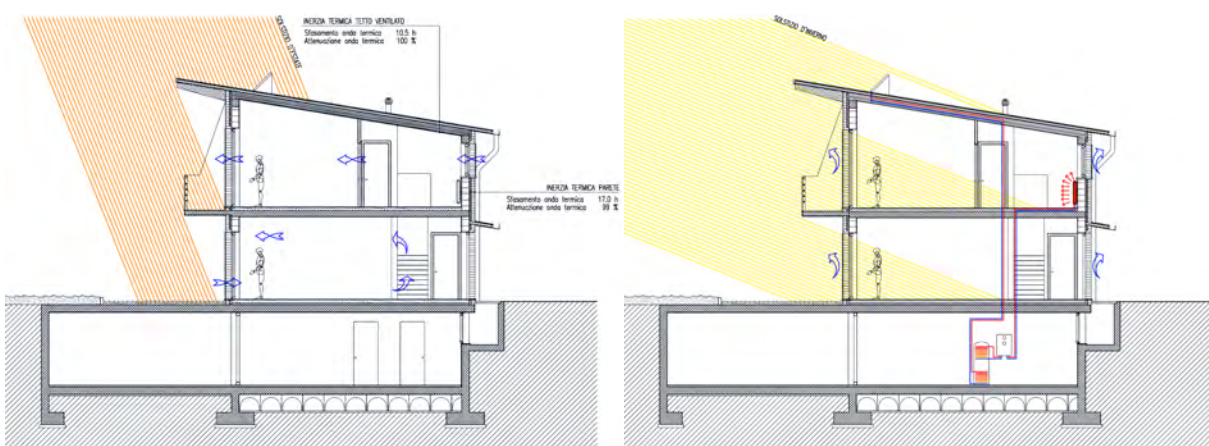


Figura 389 - Bifamiliare 1: Bilancio energetico estivo (a destra) ed invernale (a sinistra) - archivio personale

Per la produzione dell'acqua calda optiamo sempre per la caldaia a gas a condensazione che già utilizziamo per il riscaldamento coadiuvata da collettori solari termici di 3 m² (per ogni unità immobiliare) che producono il 52% di acqua calda sanitaria.

Infine, non avendo l'edificio necessità di essere impermeabilizzato per la tenuta all'aria optiamo per un piano di cottura a gas.



Figura 390 - Bifamiliare 1: quadro riassuntivo - archivio personale

13.7.2 L'edificio bifamiliare n.2 - con serra bioclimatica

Avendo ricavato per gli edifici bifamiliari un lotto di terreno in più del necessario decidiamo di progettare un altro edificio bioclimatico, questa volta però con serra solare (vedi fig. 58 a pag. 93). Come base di progetto utilizziamo l'edificio bifamiliare 1 (impieghiamo la stessa stratigrafia per tutti i componenti dell'involucro termico) e per non allontanarci troppo dalla

forma originale andremo ad inserire delle serre come quelle utilizzate nell'edificio 2 dall'arch. Georg W. Reinberg nel quartiere residenziale di Gneiss Moss a Salisburgo.



Figura 391 - *Quartiere Gneiss Moss, edificio 2* - fonte Arketipo 5/06

In pratica ci limiteremo a ridurre la superficie dei balconi per inserirli all'interno delle serre.



Figura 392 - *Bifamiliare 2: fronte sud* - archivio personale

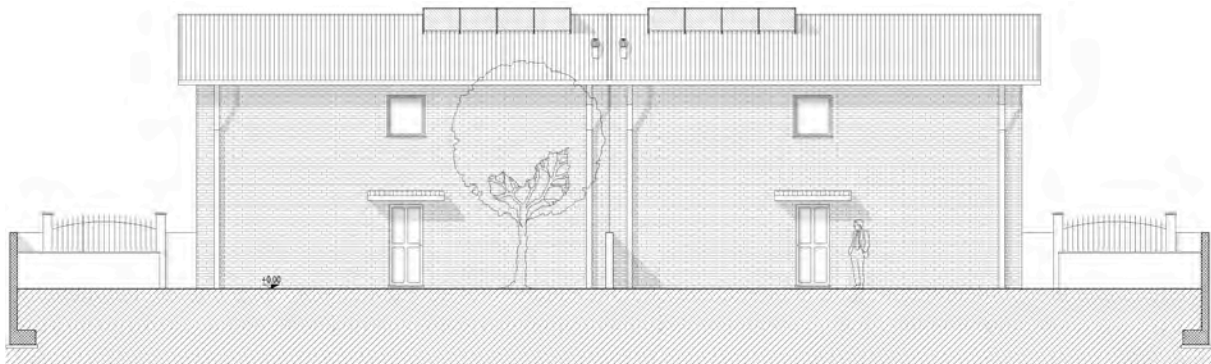


Figura 393 - *Bifamiliare 2: fronte nord* - archivio personale

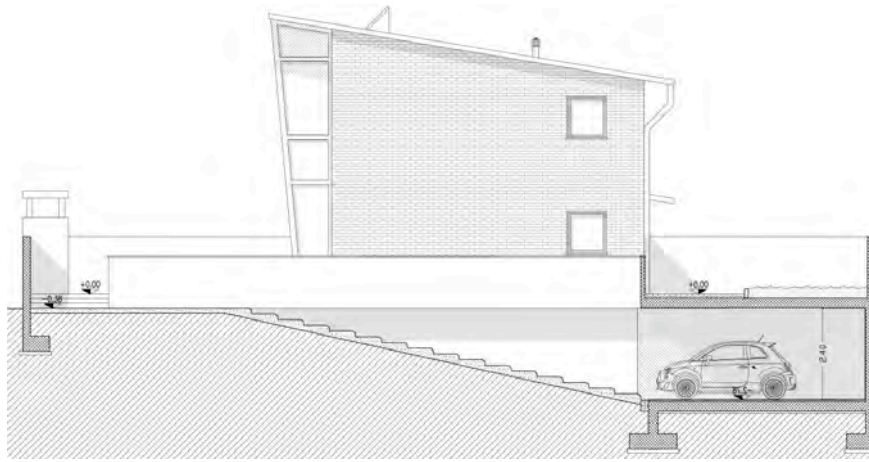


Figura 394 - Bifamiliare 2: fronte est - archivio personale

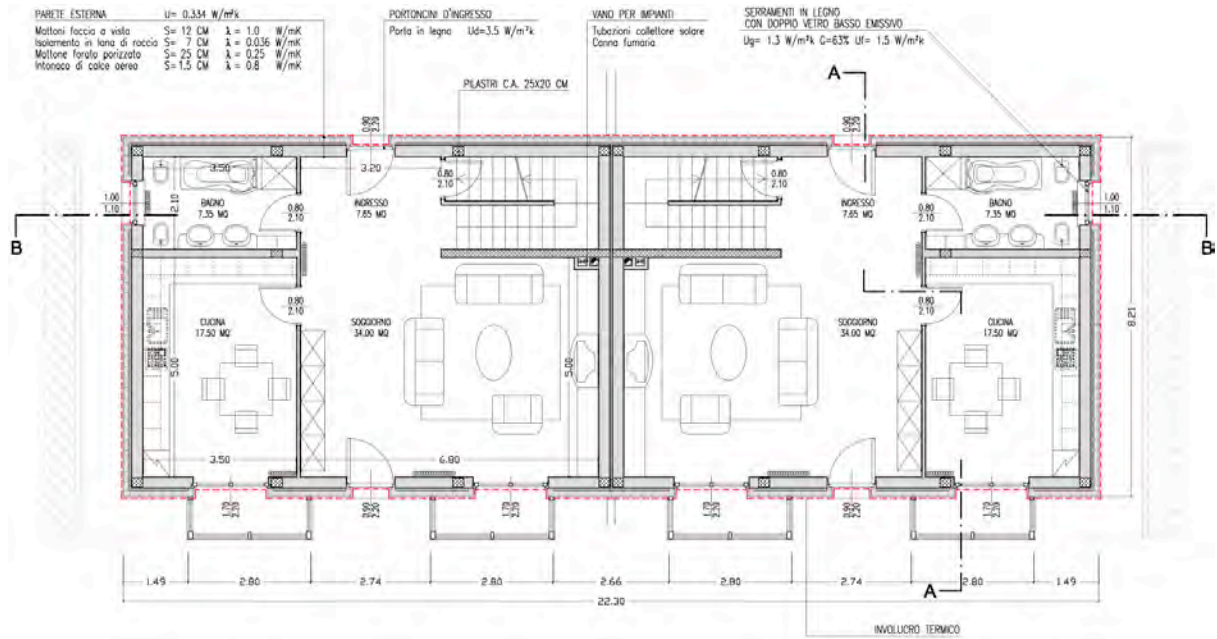


Figura 395 - Bifamiliare 2: Pianta P.1 - archivio personale

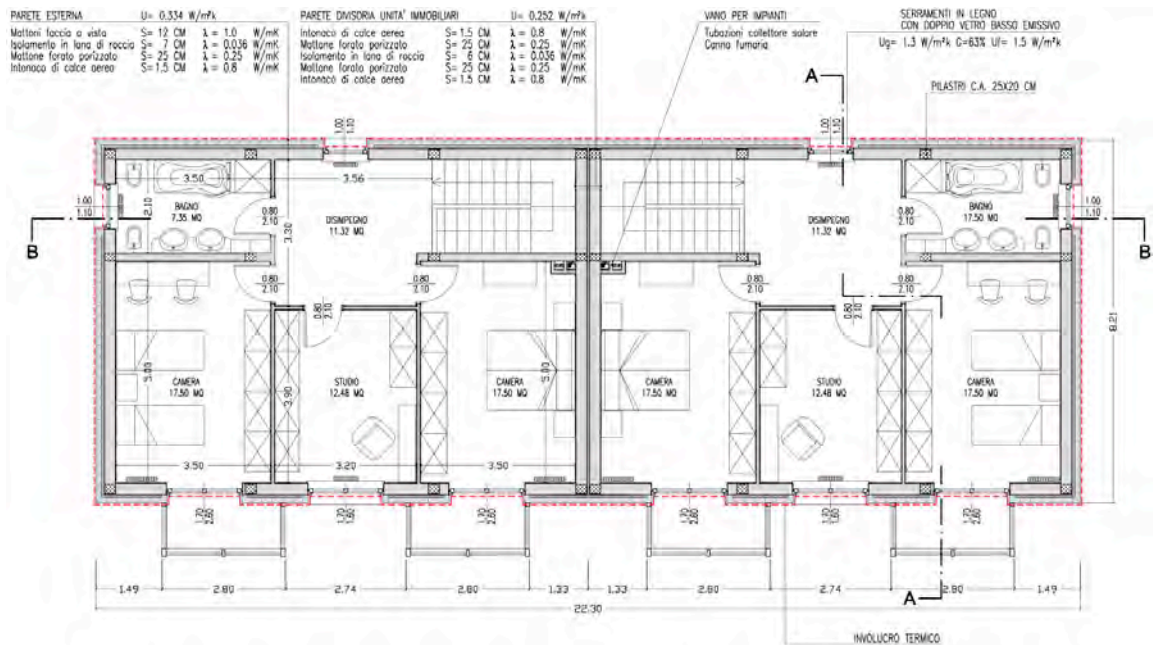


Figura 396 - Bifamiliare 2: Pianta P.T. - archivio personale

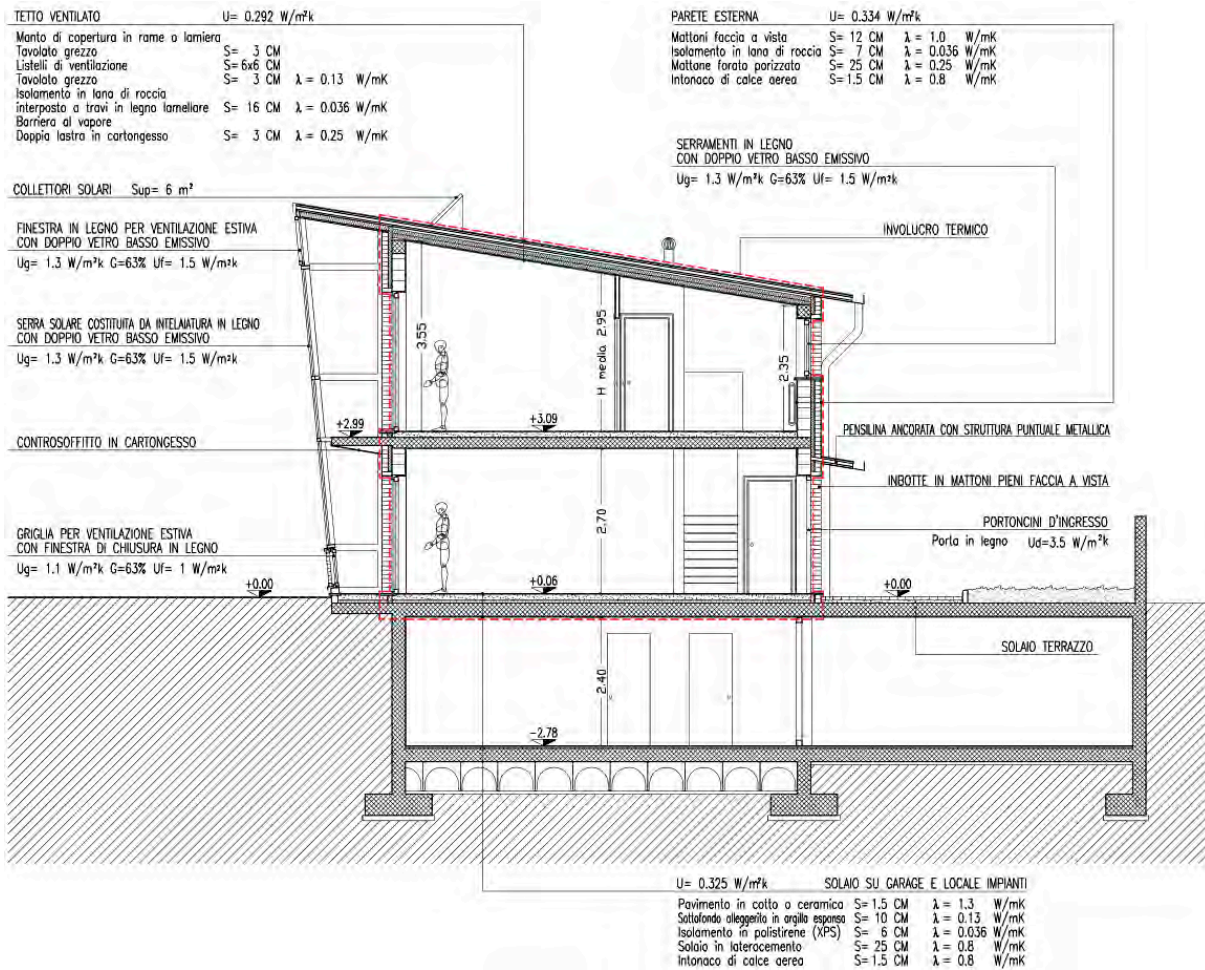


Figura 397 - Bifamiliare 2: Sezione A-A - archivio personale

Dal punto di vista dei calcoli non cambia molto rispetto al precedente edificio. Semplicemente le pareti ed i serramenti che adesso si affacciano sulla serra diventano elementi verso locale non riscaldato (cambia la resistenza superficiale). Mentre per il calcolo degli apporti di calore prodotti dalla serra, non essendo il WaVE in grado di calcolarli, utilizziamo il metodo 5000 e li inseriamo poi manualmente nel bilancio energetico dell'edificio.

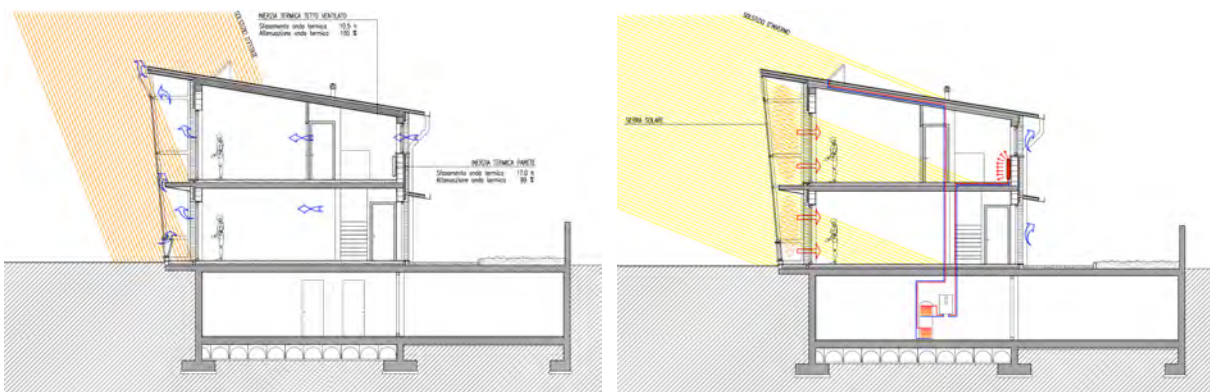


Figura 398 - Bifamiliare 2: Bilancio energetico estivo (a destra) ed invernale (a sinistra) - archivio personale

Il risultato è un edificio con un fabbisogno di energia utile per il riscaldamento di 49 kWh/m²a. Non avendo modificato nient'altro la resa complessiva dell'impianto di riscaldamento è ancora dell'84 %, quindi l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EPI) dell'edificio diventa di 58 kWh/m²a i quali certificano l'edificio nella classe B (classificazione Cened della Regione Lombardia).

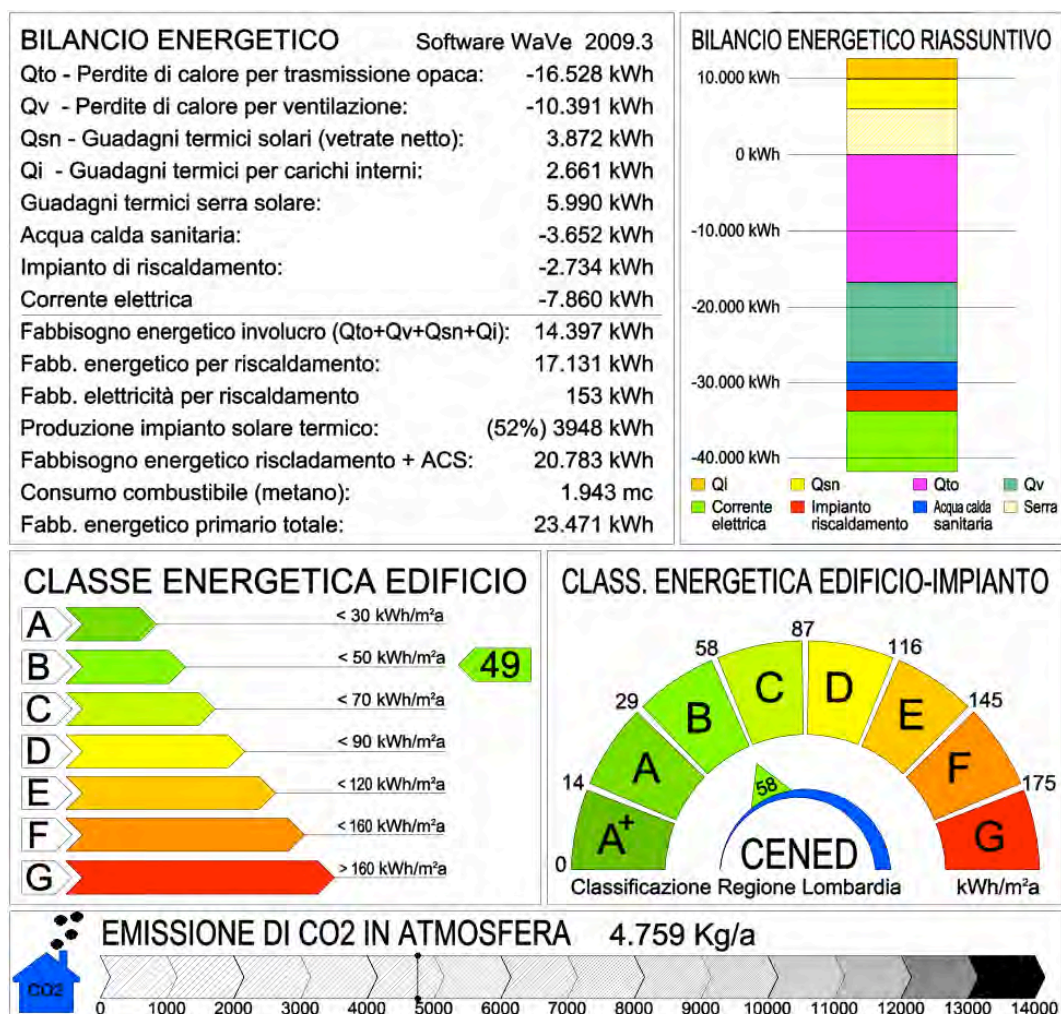


Figura 399 - Bifamiliare 2: quadro riassuntivo - archivio personale

13.7.3 L'edificio bifamiliare n.3 - standard CasaClima B

Come sappiamo lo standard CasaClima classifica gli edifici in base al fabbisogno di energia utile per il riscaldamento, che deve essere inferiore ai 50 kWh/m²a per le CasaClima B, ai 30 kWh/m²a per le CasaClima A ed ai 10 kWh/m²a per le CasaClima Oro, calcolati utilizzando i dati climatici del capoluogo di provincia in cui l'edificio verrà costruito.

Per trasformare l'edificio Bifamiliare 1 in un edificio CasaClima B dobbiamo innanzitutto abbassare il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento da 60 kWh/m²a ad almeno 50 kWh/m²a usando come riferimento i dati climatici della città di Pavia, che con i suoi 2.623 gradi giorno è ben più fredda della città di Vigevano (2.544 GG).

Iniziamo quindi a modificare lo spessore dell'isolamento delle parti che compongono l'involucro termico, iniziando dalle parti che % incidono di più sulla dispersione del calore (parete esterna, tetto, finestre e porte finestre, ecc):

- Parete esterna **U = 0,261 W/m²K**

Strato 1	Mattoni faccia a vista	S = 12 cm	$\lambda = 1,000 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di roccia	S = 10 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 3	Mattone forato porizzato	S = 25 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 3	Pilastro in c.a. 25x20	S = 25 cm	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 4	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Parete verso garage e locale impianti **U = 0,34 W/m²K**

Strato 1	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
Strato 2	Mattone forato porizzato	S = 8 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 8 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 4	Muratura in c.a.	S = 17 cm	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 5	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Parete verso terreno **U = 0,325 W/m²K**

-----	Guaina controterra impermeabile		
Strato 1	Muro in c.a. a protezione dell'isolamento	S = 10 cm	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 10 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$

Strato 3	Muratura in c.a.	S = 25 cm	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 4	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Tetto ventilato $U = 0,292 \text{ W/m}^2\text{K}$

-----	Manto di copertura in rame o lamiera		
-----	Tavolato grezzo	S = 3 cm	
-----	Intercapedine ventilata	S = 6 cm	
Strato 1	Tavolato grezzo	S = 3 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di roccia	S = 16 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 2	Travi in legno lamellare	S = 16 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
-----	Barriera al vapore		
Strato 3	Doppia lastra di cartongesso	S = 3 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$

- Solaio su garage e locale impianti $U = 0,325 \text{ W/m}^2\text{K}$:

Strato 1	Pavimento in cotto o ceramica	S = 1,5 cm	$\lambda = 1,300 \text{ W/mK}$
Strato 2	Sottofondo alleggerito	S = 10 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 6 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 4	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
Strato 5	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Solaio su vespaio areato $U=0,307 \text{ W/m}^2\text{K}$:

Strato 1	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 10 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 2	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
-----	Vespaio areato		

Serramenti in legno con doppio vetro termoisolante:

$$U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{k} \quad U_f = 1,4 \text{ W/m}^2\text{k} \quad \psi_g = 0,05 \text{ W/mk} \quad G = 63 \%$$

Portoncini d'ingresso: $U_d = 1,1 \text{ W/m}^2\text{k}$

Modificando l'isolamento della parete esterna da 7 a 10 cm⁶⁷ ed inserendo dei serramenti più perforamanti, preferibilmente con certificazione CasaClima, riusciamo nel nostro intento. Tutto questo però non è sufficiente. Se infatti la normativa italiana si accontenta (nei nuovi edifici) di avere dei ponti termici corretti, l'agenzia CasaClima vuole di più. Pretende infatti che tutti i ponti termici abbiano una temperatura superficiale interna tale da impedire la formazione di muffa (almeno 15° C). Andiamo quindi a modificare la giunzione del solaio della cantina con la parete inserendo nel primo filare dei mattoni in gasbeton, l'attacco delle finestre con la parete (portando queste sull'isolamento ad intercapedine ed agganciandole con un controtelaio esterno in legno coibentato) ed inserendo un elemento di separazione (Schock Isokorb) tra il balcone ed il solaio intermedio. Anche la tenuta all'aria dell'edificio deve adesso essere $\leq 2/h$ (n50), cosa che però si ottiene facilmente già con le modifiche effettuate. Inserendo nel software le modifiche appena descritte otteniamo il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento del nostro edificio a Pavia (47 kWh/m²a). Riportando il nostro edificio a Vigevano otteniamo il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento reale, ovvero 45 kWh/m²a. Non ci rimane ora che scegliere l'impianto con cui scaldare l'edificio. Dal punto di vista tecnico, data la bassa quantità di calore richiesto, possiamo già utilizzare degli impianti per la distribuzione di calore a bassa temperatura (riscaldamento a pavimento, ecc) e degli impianti per la produzione di calore a bassa potenza "alimentati preferibilmente con fonti rinnovabili di energia" (filosofia CasaClima). Essendo però l'edificio localizzato a Vigevano, all'interno

⁶⁷ Ogni volta che modifichiamo lo spessore dell'isolamento cambiamo anche la superficie ed il volume lordo dell'edificio, che vanno ricalcolati.

di un P.L gestito da un Consorzio Urbanistico che ha l'obbligo di realizzare una nuova strada pubblica comprensiva delle reti tecnologiche (rete del gas compresa), la scelta economicamente più conveniente rimane la caldaia a gas (anche optando per una caldaia a pellets, comunque più costosa, rimane sempre il problema dell'approvvigionamento del combustibile, a Vigevano poco efficiente). Decidiamo quindi, come farebbe un eventuale acquirente, per la scelta economicamente più conveniente, ovvero il solito impianto formato da una caldaia a gas a condensazione per la produzione di calore con termosifoni a parete per la distribuzione ed un sistema di regolazione del tipo "climatico + singolo ambiente".

Dal fabbisogno di energia utile per il riscaldamento ($45 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) e dalla resa complessiva dell'impianto di riscaldamento (84%) otteniamo l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (E_{Pi}) di $53 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, i quali certificano l'edificio in classe B (classificazione Cened della Regione Lombardia).

Ovviamente, non modificando l'impianto di riscaldamento non modifichiamo neanche l'impianto per la produzione dell'acqua calda, che sarà ancora formato da una caldaia a gas a condensazione coadiuvata da collettori solari termici di 3 m^2 (per ogni unità immobiliare) che produrranno il 52% di acqua calda sanitaria.

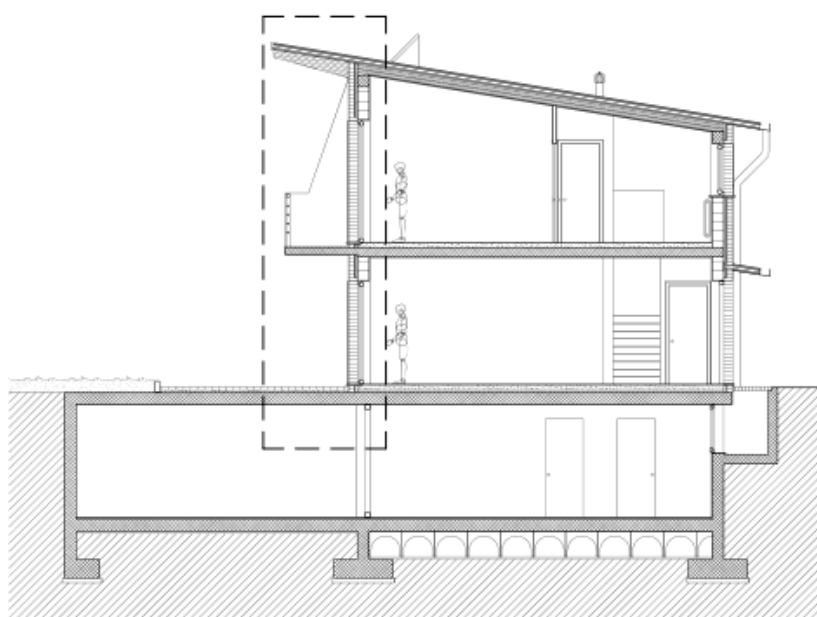


Figura 400 - Sezione A-A tipo con area di dettaglio dei particolari costruttivi - archivio personale

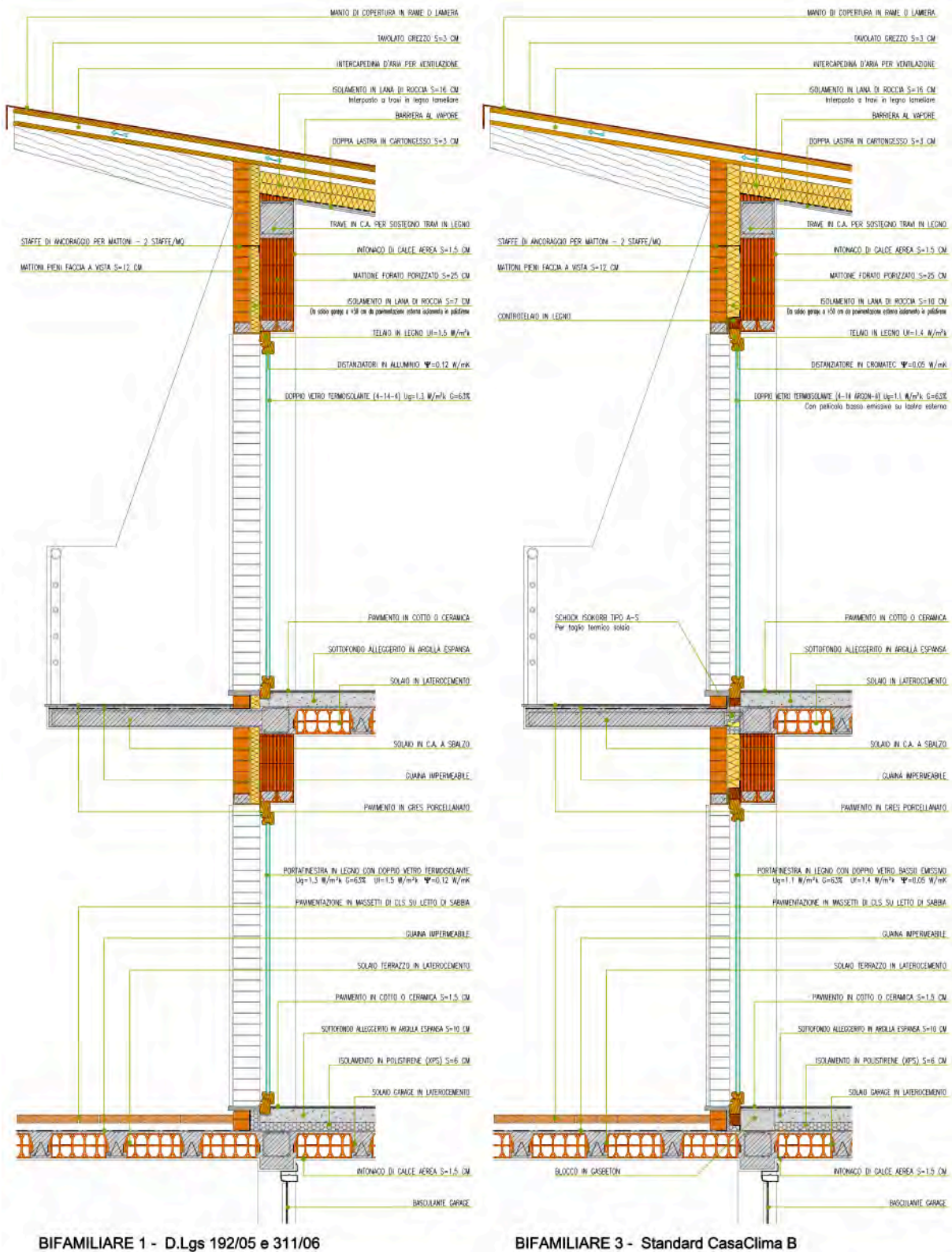


Figura 401 - Particolari costruttivi della Bifamiliare 1 e 3 a confronto- archivio personale



Figura 402 - Bifamiliare 3: quadro riassuntivo - archivio personale

13.7.4 L'edificio bifamiliare n.4 - standard CasaClima A

Per passare dallo standard CasaClima B allo standard CasaClima A dobbiamo soddisfare due condizioni: 1) Avere un fabbisogno di energia utile per il riscaldamento inferiore ai 30 kWh/m²a calcolato utilizzando i dati climatici di Pavia; 2) Avere una tenuta all'aria dell'edificio $\leq 1/h$ (n50). Soddisfare la seconda condizione significa avere un edificio pronto per l'utilizzo di un sistema di ventilazione forzata con recupero di calore. Però non essendo l'utilizzo di questo impianto obbligatorio nello standard CasaClima, valutiamo se conviene o meno installarlo analizzando i pro e i contro. Pro: 1) Riduce il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento dell'edificio; 2) Migliora la qualità dell'aria interna dell'edificio 3) Non obbliga all'apertura delle finestre per il ricambio naturale dell'aria. Contro: 1) E' un impianto aggiuntivo e quindi un costo aggiuntivo; 2) Se installato male è fonte di rumore.

Vincendo i pro tre a due decidiamo di procedere installando l'impianto di areazione forzata nell'edificio. In Svizzera, dove l'utilizzo di questi apparecchi è più diffuso che in Italia, l'istallazione avviene di solito nei sottotetti con le tubature installate nei solai (come i nostri impianti dell'aria condizionata). Noi, non avendo sottotetto decidiamo di metterlo in cantina vicino alla caldaia. Inoltre, dato che stiamo realizzando un nuovo edificio e dobbiamo comunque effettuare delle opere di sbancamento, lo dotiamo anche di un condotto interrato (di almeno 40 m di lunghezza) per il preriscaldamento dell'aria. Questo condotto offre molti vantaggi, in inverno pre-riscalda l'aria esterna aumentando l'efficienza dell'impianto ed in estate la raffredda, permettendoci di fare a meno dell'impianto di condizionamento. Eseguiamo quindi le necessarie modifiche al progetto, ricordandoci di aumentare lo spessore del sottofondo per fare spazio alle tubazioni per il passaggio dell'aria (optiamo per il sistema più funzionale, con le bocchette di mandata a pavimento e le bocchette di aspirazione a soffitto) e visto che stiamo intervenendo sullo spessore dei solai, predisponiamo il nostro edificio per ospitare un impianto di riscaldamento a pavimento.

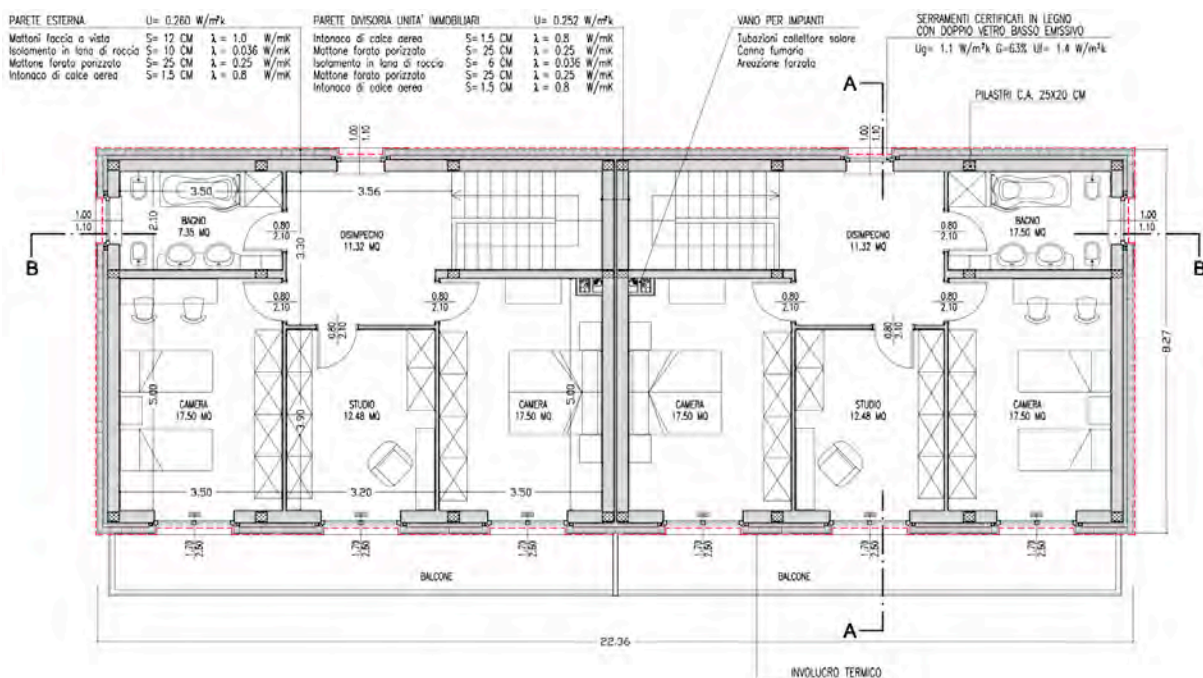


Figura 403 - Bifamiliare 4: Pianta P.1 - archivio personale

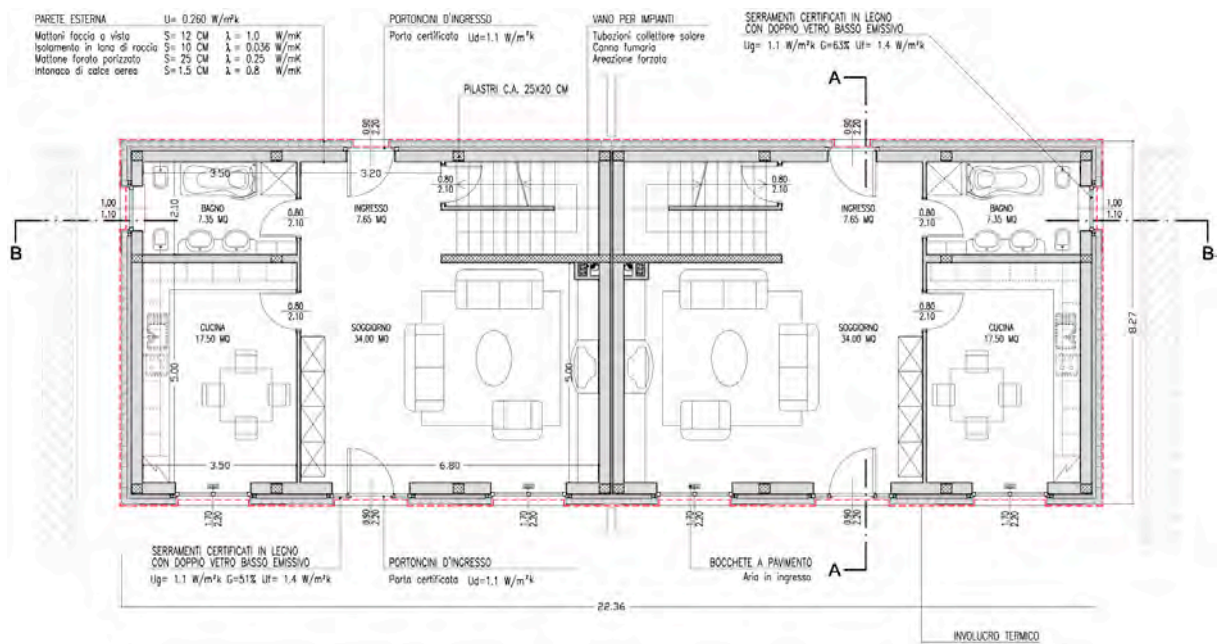


Figura 404 - Bifamiliare 4: Pianta P.T - archivio personale

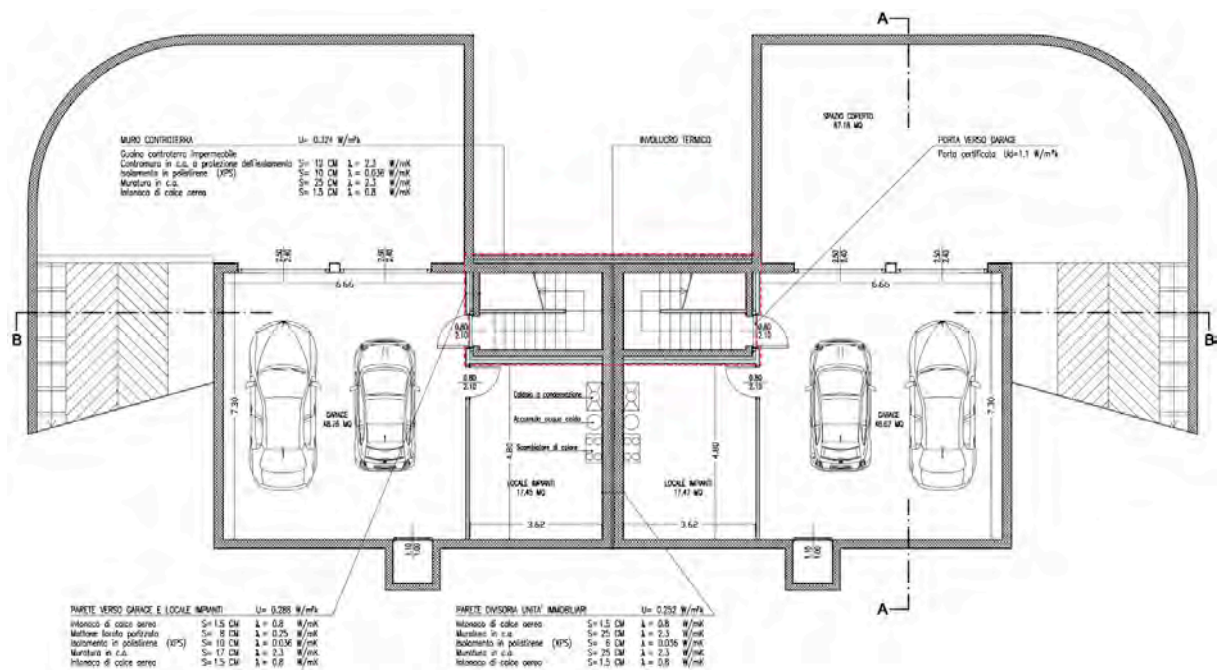


Figura 405 - Bifamiliare 4: pianta piano interrato - archivio personale

Andiamo adesso ad inserire nel software tutti i cambiamenti appena apportati. Per prima cosa, sempre lavorando con il clima di Pavia, cambiamo la tenuta all'aria di progetto in 0,9/h (n50). Per ottenerla, dobbiamo innanzi tutto aggiungere alla copertura una guaina per la tenuta all'aria (un telo in polietilene o polipropilene) e ricordarci di sigillare nelle murature tutti i fori utilizzati dagli impianti nell'attraversare l'involucro termico. Per un corretto funzionamento dobbiamo dimensionare l'impianto perchè abbia una portata d'aria di almeno 15 m³/h a persona o 30 m³/h per ogni camera da letto. Noi avendo un

volume d'aria di 834 m³ decidiamo per un ricambio di 250 m³/h (30%). Adesso andiamo ad apportare nelle stratigrafie il nuovo spessore dei sottofondi ed aumentiamo lo spessore degli isolamenti per ottenere un fabbisogno di energia utile per il riscaldamento inferiore ai 30 kWh/m²a.

- Parete esterna U = 0,260 W/m²K

Strato 1	Mattoni faccia a vista	S = 12 cm	$\lambda = 1,000$ W/mK
Strato 2	Isolamento in lana di roccia	S = 10 cm	$\lambda = 0,036$ W/mK
Strato 3	Mattone forato porizzato	S = 25 cm	$\lambda = 0,250$ W/mK
Strato 3	Pilastro in c.a. 25x20	S = 25 cm	$\lambda = 2,300$ W/mK
Strato 4	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800$ W/mK

- Parete verso garage e locale impianti **U = 0,288 W/m²K**

Strato 1	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800$ W/mK
Strato 2	Mattone forato porizzato	S = 8 cm	$\lambda = 0,250$ W/mK
Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 10 cm	$\lambda = 0,036$ W/mK
Strato 4	Muratura in c.a.	S = 17 cm	$\lambda = 2,300$ W/mK
Strato 5	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800$ W/mK

- Parete verso terreno U = 0,324 W/m²K

----- Guaina controterra impermeabile

Strato 1	Muro in c.a. a protezione dell'isolamento	S = 10 cm	$\lambda = 2,300$ W/mK
Strato 2	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 10 cm	$\lambda = 0,036$ W/mK
Strato 3	Muratura in c.a.	S = 25 cm	$\lambda = 2,300$ W/mK
Strato 4	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800$ W/mK

- Tetto ventilato **U = 0,266 W/m²K**

-----	Manto di copertura in rame o lamiera		
-----	Tavolato grezzo	S= 3 cm	
-----	Intercapedine ventilata	S = 6 cm	
-----	Guaina per la tenuta al vento		
Strato 1	Tavolato grezzo	S = 3 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di roccia	S = 18 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 2	Travi in legno lamellare	S = 18 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
-----	Barriera al vapore		
Strato 3	Doppia lastra di cartongesso	S = 3 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$

- Solaio su garage e locale impianti **U = 0,219 W/m²K**

Strato 1	Pavimento in cotto o ceramica	S = 1,5 cm	$\lambda = 1,300 \text{ W/mK}$
Strato 2	Sottofondo alleggerito	S = 15 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 10 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 4	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
Strato 5	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Solaio su vespaio areato **U=0,166 W/m²K**

Strato 1	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 20 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 2	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
-----	Vespaio areato		

Serramenti in legno con doppio vetro termoisolante:

$$U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{k} \quad U_f = 1,4 \text{ W/m}^2\text{k} \quad \psi_g = 0,05 \text{ W/mk} \quad G = 63 \%$$

Portoncini d'ingresso: $U_d = 1,1 \text{ W/m}^2\text{k}$

Inserendo nel software le modifiche appena descritte otteniamo un fabbisogno di energia utile per il riscaldamento del nostro edificio a Pavia di 23 kWh/m²a. Riportando il nostro edificio a Vigevano otteniamo il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento reale, ovvero 21 kWh/m²a. Avendo già deciso di utilizzare un impianto di distribuzione a pannelli radianti a pavimento ed essendo economicamente sempre valida la scelta della caldaia a condensazione, non ci rimane altro da fare che calcolare la resa complessiva dell'impianto di riscaldamento (86%) e calcolare l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EPI), che in questo caso è di 27 kWh/m²a, i quali certificano l'edificio in classe A (classificazione Cened della Regione Lombardia). Per la produzione dell'acqua calda utilizziamo la solita caldaia a gas a condensazione coadiuvata dai collettori solari termici di 3 m² per ogni unità immobiliare che produrranno il 52% di acqua calda sanitaria.



Figura 406 - Bifamiliare 4: quadro riassuntivo - archivio personale

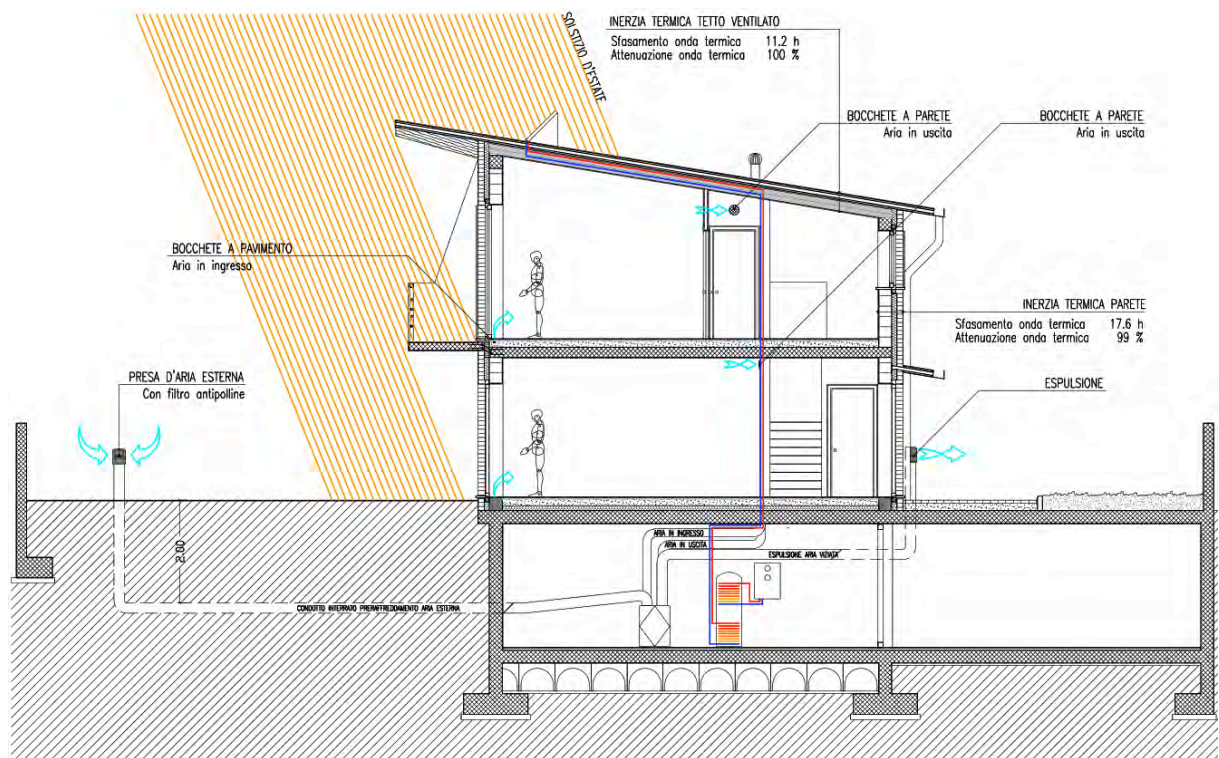


Figura 407 - *Bifamiliare 4: Bilancio energetico estivo* - archivio personale

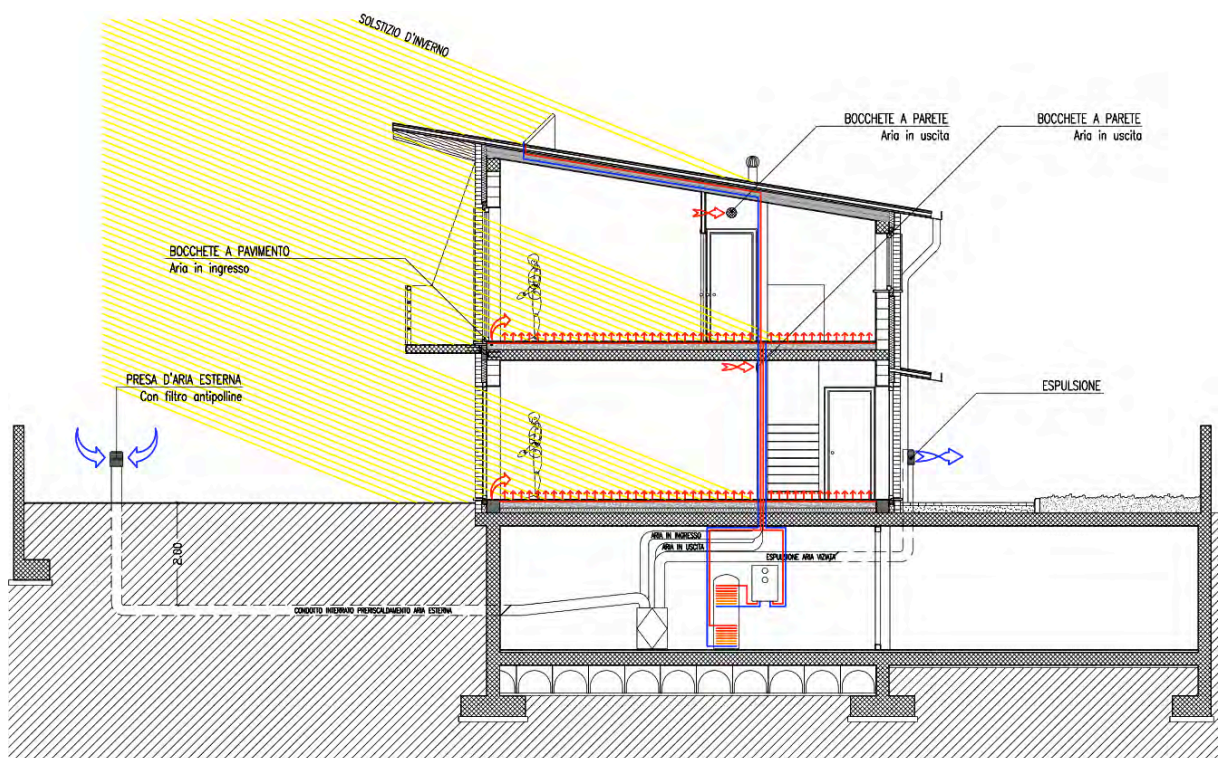


Figura 408 - *Bifamiliare 4: Bilancio energetico invernale* - archivio personale

13.7.5 L'edificio bifamiliare n.5 - standard Passivhaus

Per rientrare nello standard Passivhaus dobbiamo riuscire a: “ottenere il più alto livello di comfort interno, riscaldando e raffrescando l'edificio con l'impianto di ventilazione forzata”. Perchè questo sia possibile dobbiamo: 1) Avere un fabbisogno di energia utile per il riscaldamento ed il raffrescamento inferiore ai 15 kWh/m²a; 2) Eliminare (o quasi) i ponti termici; 3) Avere una tenuta all'aria dell'edificio $\leq 0,6/h$ (n50); 4) Verificare che la temperatura superficiale interna delle pareti e dei serramenti sia $\geq 17^\circ C$; 5) Verificare che il solo impianto di ventilazione forzata si in grado di raffrescare e riscaldare l'edificio. Prendiamo quindi l'edificio Bifamiliare n.4 ed iniziamo a ridurre il più possibile i ponti termici iniziando dalla giunzione del solaio della cantina con la parete ed inserendo nei primi due filari dei mattoni in Ytong (per il collegamento tra il balcone ed il solaio intermedio non possiamo fare altro che utilizzare lo Schock Isokorb). Sostituiamo i controtelai in legno coibentato con dei controtelai in purenite e sostituiamo i serramenti fino ad ora utilizzati con serramenti certificati Passivhaus. Fatto questo inseriamo le modifiche nel software e utilizzando i dati climatici di Vigevano aumentando gli spessori dell'isolante fino ad ottenere un fabbisogno di energia utile per il riscaldamento inferiore ai 15 kWh/m²a.

- Parete esterna

$$U = 0,202 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Strato 1	Mattoni faccia a vista	S = 12 cm	$\lambda = 1,000 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di roccia	S = 14 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 3	Mattone forato porizzato	S = 25 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 3	Pilastro in c.a. 25x20	S = 25 cm	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 4	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Parete verso garage e locale impianti

$$U = 0,288 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Strato 1	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
----------	-------------------------	------------	--------------------------------

Strato 2	Mattone forato porizzato	S = 8 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 10 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 4	Muratura in c.a.	S = 17 cm	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 5	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Parete verso terreno

U = 0,238 W/m²K

-----	Guaina controterra impermeabile		
Strato 1	Muro in c.a. a protezione dell'isolamento	S = 10 cm	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 14 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 3	Muratura in c.a.	S = 25 cm	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 4	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Tetto ventilato

U = 0,243 W/m²K

-----	Manto di copertura in rame o lamiera		
-----	Tavolato grezzo	S = 3 cm	
-----	Intercapedine ventilata	S = 6 cm	
-----	Guaina per la tenuta al vento		
Strato 1	Tavolato grezzo	S = 3 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di roccia	S = 20 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 2	Travi in legno lamellare	S = 20 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
-----	Barriera al vapore		
Strato 3	Doppia lastra di cartongesso	S = 3 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$

- Solaio su garage e locale impianti

U = 0,219 W/m²K:

Strato 1	Pavimento in cotto o ceramica	S = 1,5 cm	$\lambda = 1,300 \text{ W/mK}$
----------	-------------------------------	------------	--------------------------------

Strato 2	Sottofondo alleggerito	S = 15 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 10 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 4	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
Strato 5	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Solaio su vespaio areato $U=0,166 \text{ W/m}^2\text{K}$:

Strato 1	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 20 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 2	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
-----	Vespaio areato		

Serramenti in legno con triplo vetro termoisolante:

$U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{k}$ $U_f = 0,7 \text{ W/m}^2\text{k}$ $\psi_g = 0,05 \text{ W/mk}$ $G = 51 \%$

Portoncini d'ingresso: $U_d = 0,8 \text{ W/m}^2\text{k}$

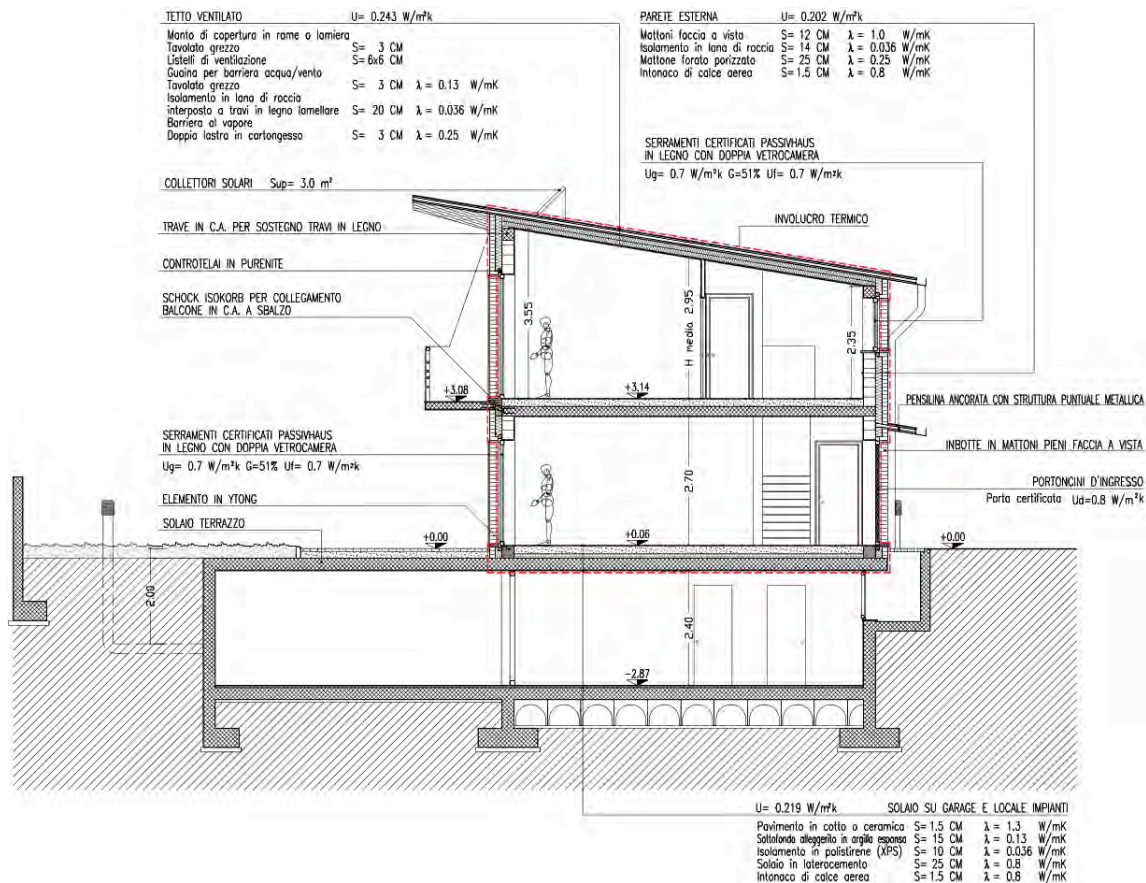


Figura 409 - Bifamiliare 5: Sezione A-A - archivio personale

Apportando le suddette modifiche otteniamo un fabbisogno di energia utile per il riscaldamento di $9 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Per distribuire il calore utilizziamo lo stesso sistema di canalizzazioni e la stessa disposizione delle bocchette già utilizzato nell'edificio Bifamiliare n.4, mentre per la produzione di calore utilizziamo il classico impianto (per questi edifici) di areazione forzata coadiuvato da una pompa di calore aria-aria (vedi pag. 182). Questo tipo di impianto è così efficiente che ci permette anche di dimezzare la superficie dei collettori solari termici per la produzione di acqua calda sanitaria, che ora con una superficie di $1,5 \text{ m}^2$ ad unità immobiliare produrranno il 54% di acqua calda. Calcolando infine la resa complessiva dell'impianto di riscaldamento (88%) otteniamo l'indice di prestazione energetica

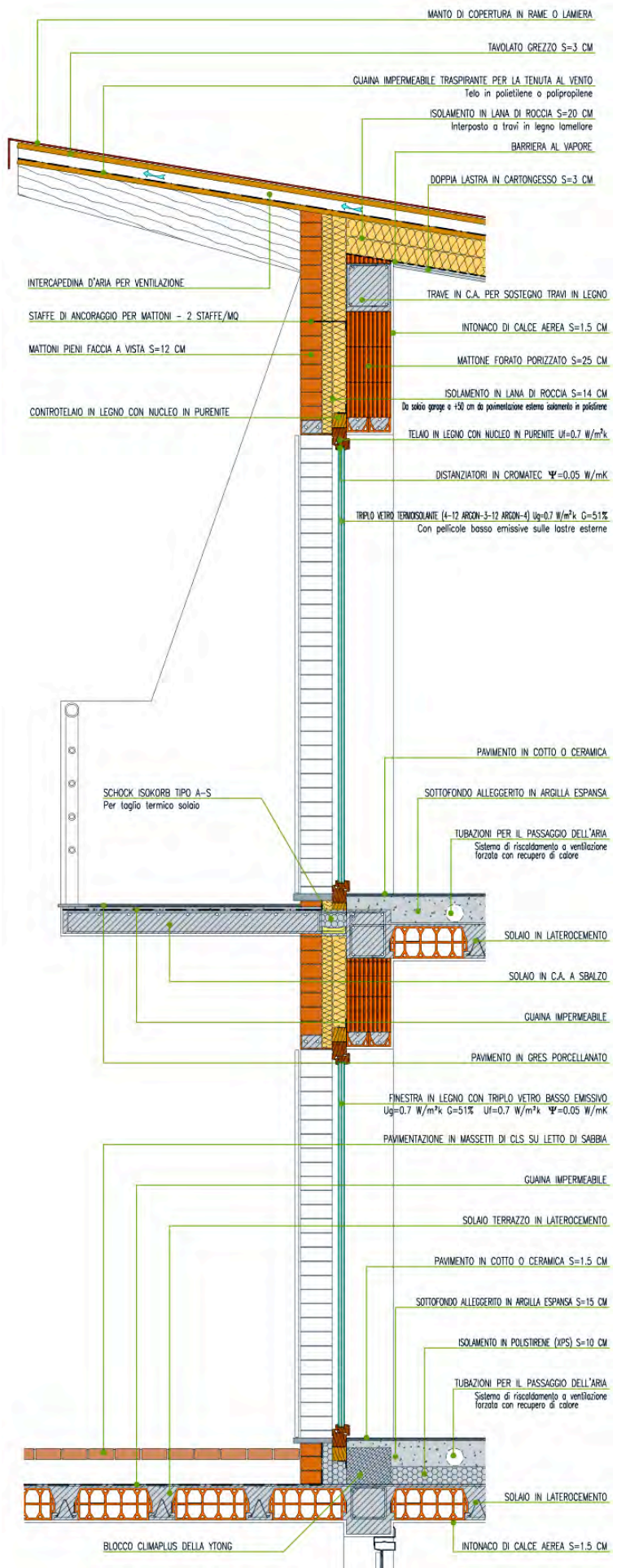


Figura 410 - Particolari costruttivi - archivio personale

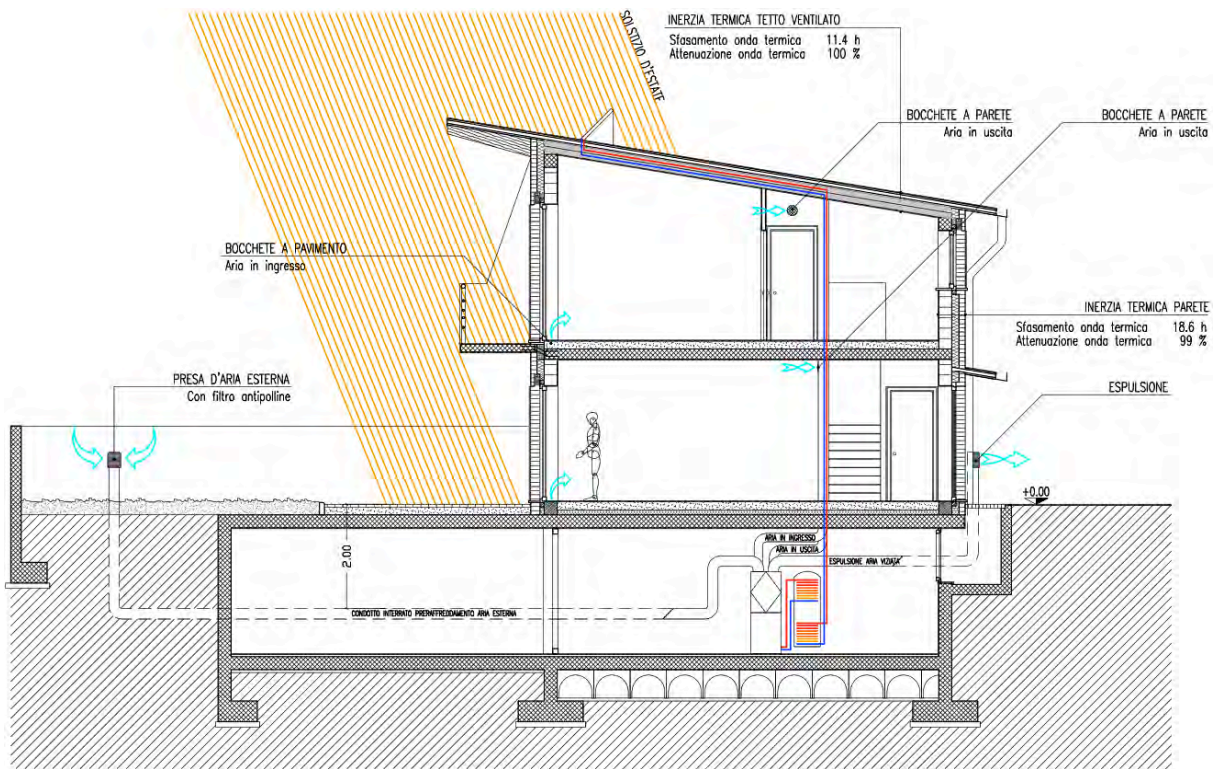


Figura 411 - *Bifamiliare 5: Bilancio energetico estivo* - archivio personale

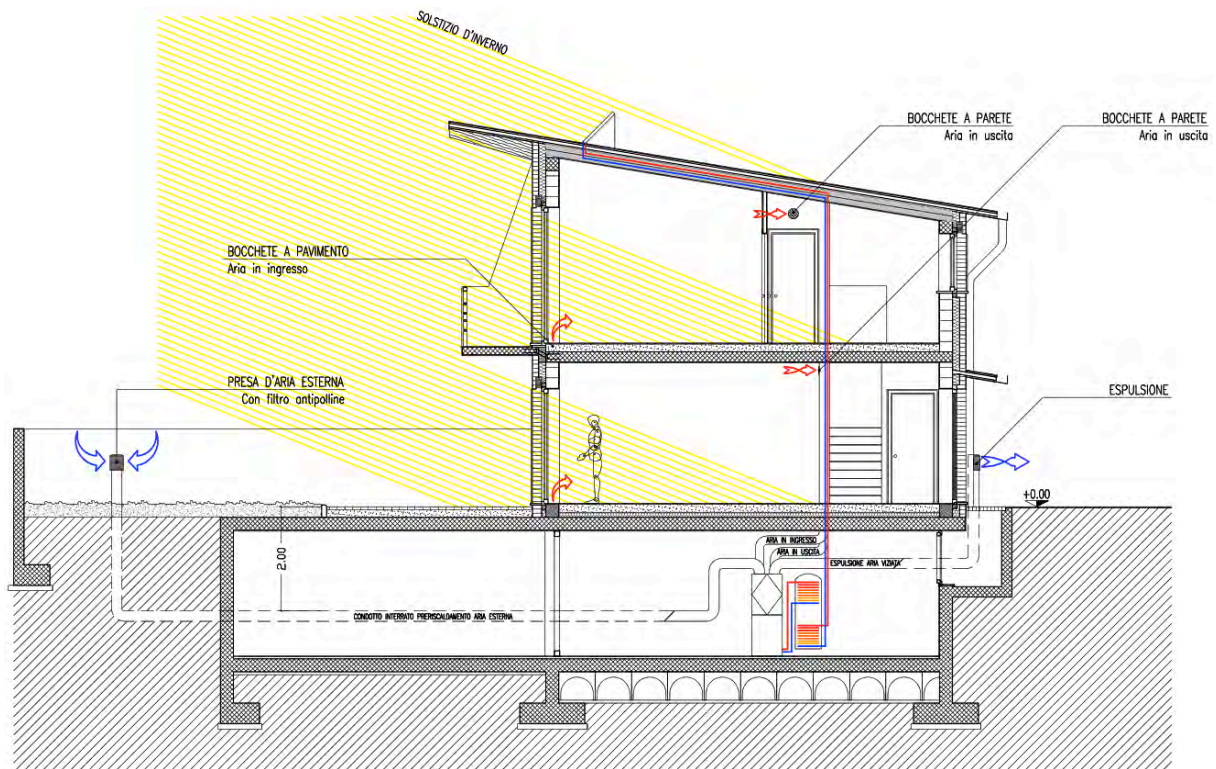


Figura 412 - *Bifamiliare 5: Bilancio energetico invernale* - archivio personale

per la climatizzazione invernale (EPi) di questo edificio, ovvero 13 kWh/m²a, valore che ci permette di certificare l'edificio in classe A⁺ (classificazione Cened della Regione Lombardia). Bisogna inoltre ricordarsi che tra gli impianti c'è da sostituire anche il piano di cottura, che da tradizionale a gas dovrà diventare elettrico ad induzione.



Figura 413 - Bifamiliare 5: quadro riassuntivo - archivio personale

13.7.6 L'edificio bifamiliare n.6 - standard Minergie

Per rientrare nello standard Minergie dobbiamo avere: 1) Un involucro intermedio tra lo standard CasaClima A e lo standard CasaClima B; 2) Ponti termici approvati dall'associazione Minergie⁶⁸; 3) Un sistema di ventilazione forzata con recupero di calore obbligatorio; 4) Un indice energetico ponderato finale ≤ 38 kWh/m²; 5) Un extra costo del 15% rispetto ad un

⁶⁸ L'associazione apporta le stesse correzione dell'Agenzia CasaClima, fatta eccezione per la posa dei serramenti, vedi paragrafo 11.4.1 alle pagine 222 e 223.

edificio tradizionale (nel nostro caso l'edificio Bifamiliare n.1). Tralasciando per adesso l'aspetto economico notiamo che l'edificio Bifamiliare n.4 rispetta tutti i requisiti richiesti. Procediamo quindi con la verifica dell'indice energetico ponderato finale:

Passo 1: Conoscendo il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento (21 kWh/m²), l'efficienza della caldaia (95%) ed il fattore di ponderazione dei combustibili fossili (1) calcoliamo *l'energia finale ponderata per il riscaldamento* = $21 : 0,95 \times 1 = 22,1 \text{ kWh/m}^2$.

Passo 2: Sapendo che l'impianto di areazione a recupero di calore consuma 2,2 kWh/m², e che l'indice di ponderazione per l'elettricità è 2, calcolo *l'energia finale ponderata per l'impianto di areazione* = $2,2 \times 2 = 4,4 \text{ kWh/m}^2$.

Passo 3: sommando 22,1 kWh/m² con 4,4 kWh/m² ottengo *l'energia finale ponderata per il riscaldamento e l'areazione (*Eh)*.

Passo 4: Avendo un fabbisogno di 12,3 kWh/m² per la produzione di acqua calda (3.652 kWh : 296,3 m²), conoscendo l'efficienza della caldaia nello scaldare l'acqua (92%) ed il fattore di ponderazione dei combustibili fossili (1) calcolo *l'energia finale ponderata per l'acqua calda (*Eww)* = $12,3 : 0,92 \times 1 = 13,36 \text{ kWh/m}^2$

Passo 5: calcolo *l'indice energetico ponderato finale* = $*Eh + *Eww = 26,5 + 13,4 = 39,9 \text{ kWh/m}^2$.

Il valore ottenuto è però troppo alto, in quanto lo standard MINERGIE per le abitazioni prevede un indice energetico ponderato finale massimo di 38 kWh/m².

Proviamo allora a ridurre i consumi per l'acqua calda sanitaria aumentando la superficie dei collettori solari da 3 m² per ogni unità immobiliare (52%) a 3,5 m² (61%) ed a ricalcolare l'energia finale ponderata per l'acqua calda (*Eww).

$2.994 \text{ kWh} : 296,3 \text{ m}^2 = 10,1 \text{ kWh/m}^2$.

$*Eww = 10,1 : 0,92 \times 1 = 11,00 \text{ kWh/m}^2$ da cui ricaviamo:

$*Eh + *Eww = 26,5 + 11,0 = 37,5 \text{ kWh/m}^2 < 38 \text{ kWh/m}^2$

Il nostro edificio possiede adesso tutti i requisiti per ricevere la certificazione Minergie.

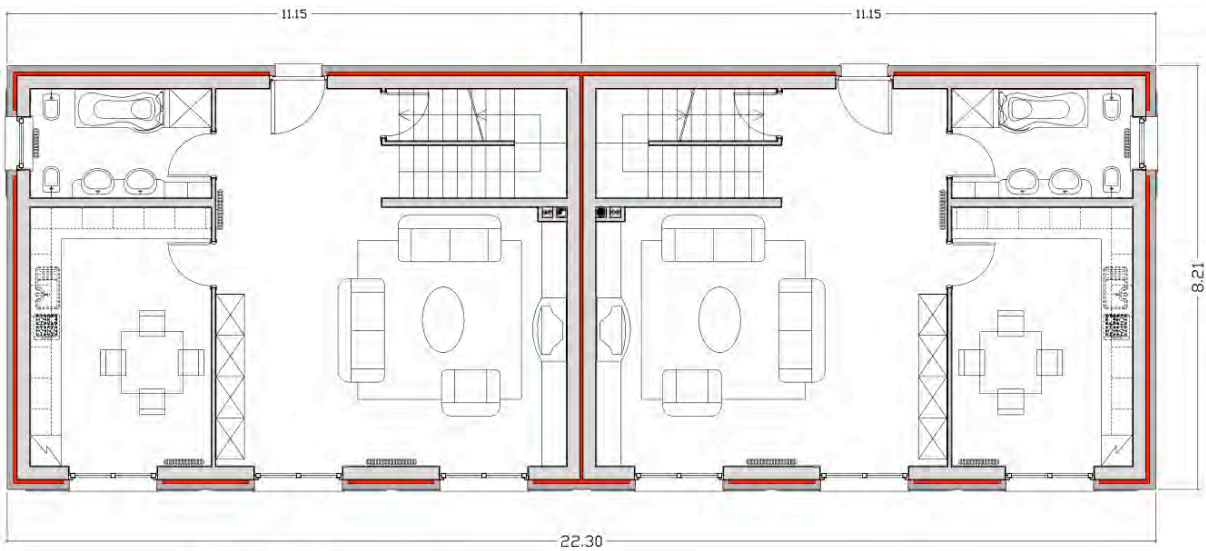


Figura 414 - Bifamiliare 6: quadro riassuntivo - archivio personale

13.7.7 Gli involucri degli edifici bifamiliare a confronto

Con la progettazione degli edifici bifamiliari appena eseguita si è potuto notare quanta importanza abbia l'isolamento degli edifici nell'abbattimento dei consumi e dei costi delle bollette. Facciamo quindi un riassunto grafico degli edifici appena realizzati per vedere quanto e come l'isolamento incide sul fabbisogno finale di energia utile per il riscaldamento. Nella nostra analisi includiamo anche l'impianto di areazione forzata con recupero di calore in quanto fortemente legato alla progettazione ed alla riduzione delle perdite per ventilazione (e conseguentemente alla riduzione del fabbisogno di energia utile per il riscaldamento).

Nelle sezioni evidenzieremo in rosso lo spessore ed il posizionamento degli isolanti mentre nei grafici dei bilanci energetici riporteremo le dispersioni di calore di ogni componente dell'involucro (pareti, tetto, serramenti ecc).

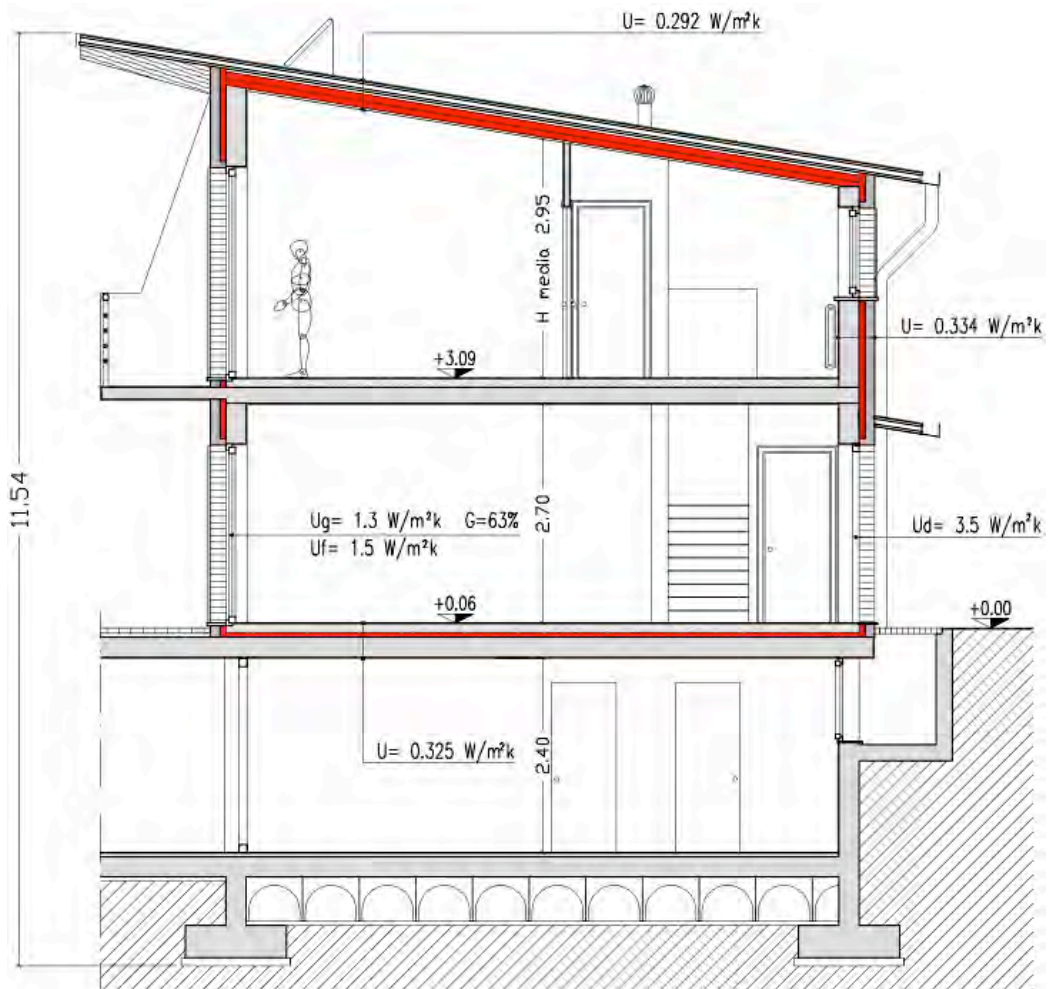


PIANTA P.T.

SUP. NETTA RISCALDATA: 296,30 mq
 SUP. LORDA INVOLUCRO TERMICO: 389,70 mq
 PERMEABILITA' ALL'ARIA DELL'INVOLUCRO EDILIZIO: MEDIO-BASSA (n50: 3,5/h)
 VOL. NETTO RISCALDATA: 834,30 mc
 VOL. LORDO INVOLUCRO TERMICO: 1.294,0 mc

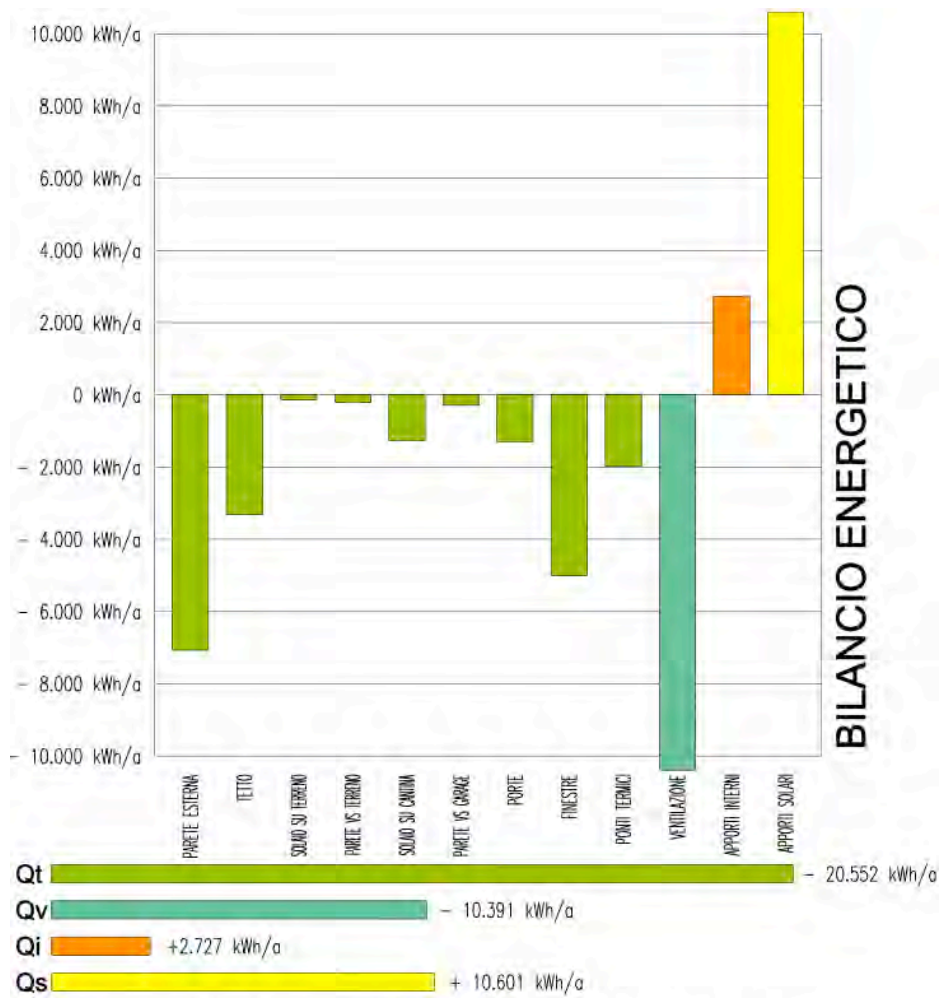


Figura 415 - *Bifamiliare 1: involucro termico P.T.* - archivio personale



SEZIONE A-A

Figura 416 - *Bifamiliare 1: involucro termico sezione A-A.* - archivio personale



FABBISOGNO ENERGETICO: 60 kWh/m²a

Figura 417 - *Bifamiliare 1*: grafico del fabbisogno energetico - archivio personale

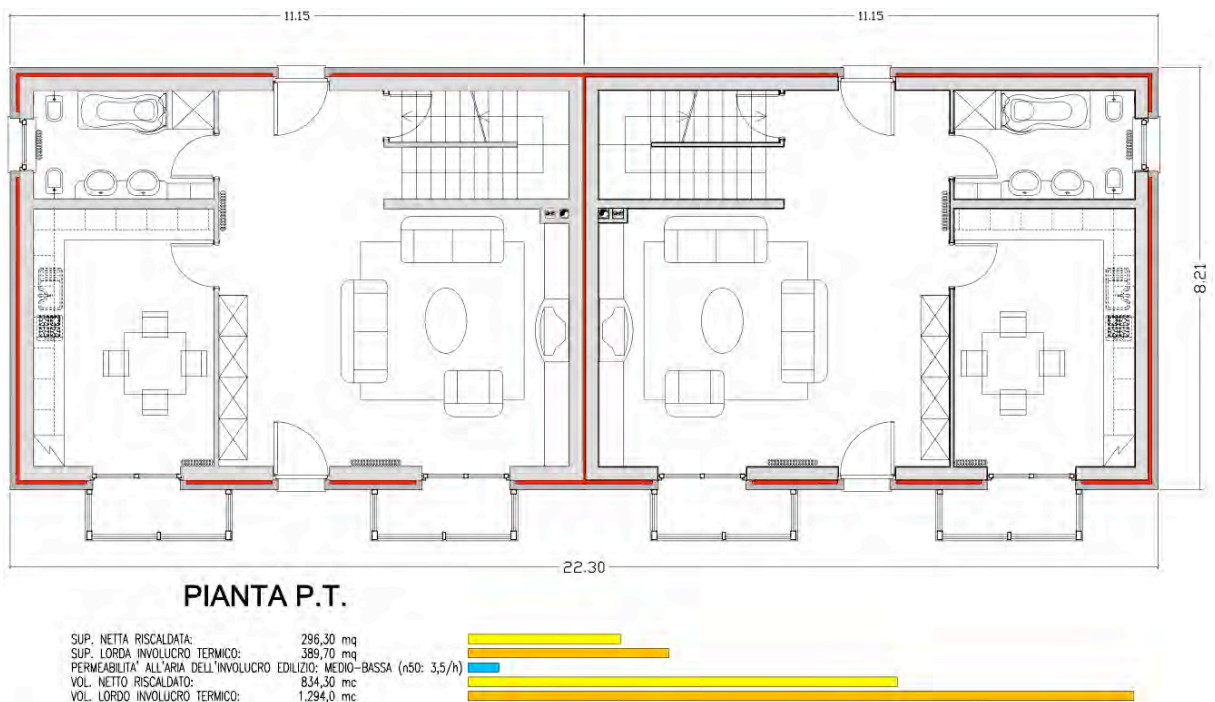


Figura 418 - *Bifamiliare 2*: involucro termico P.T. - archivio personale

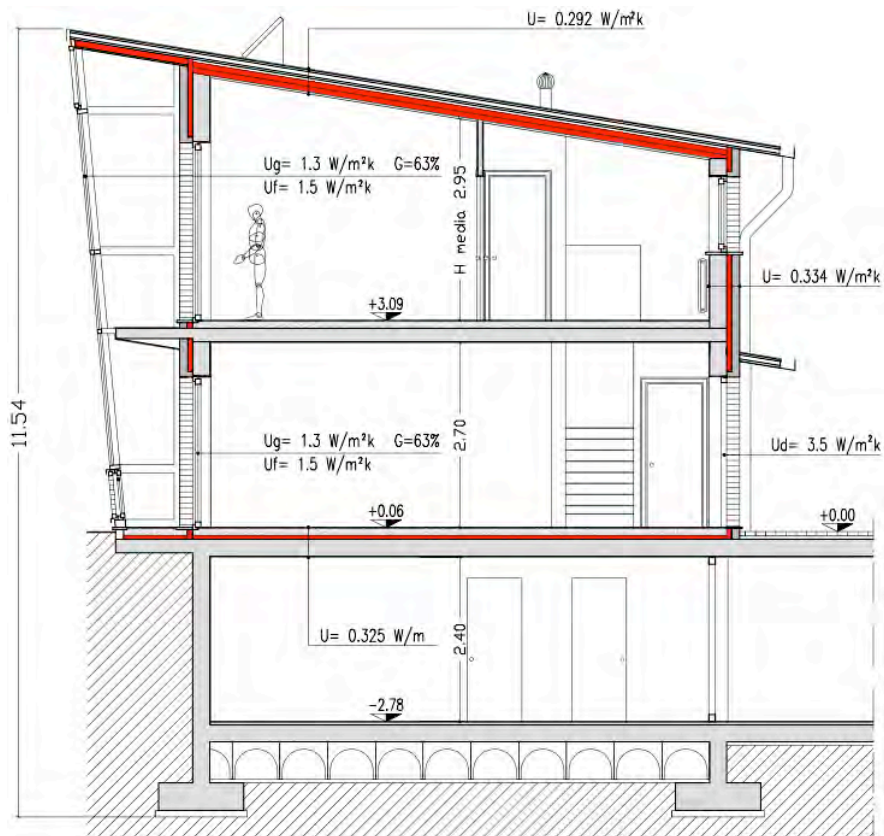
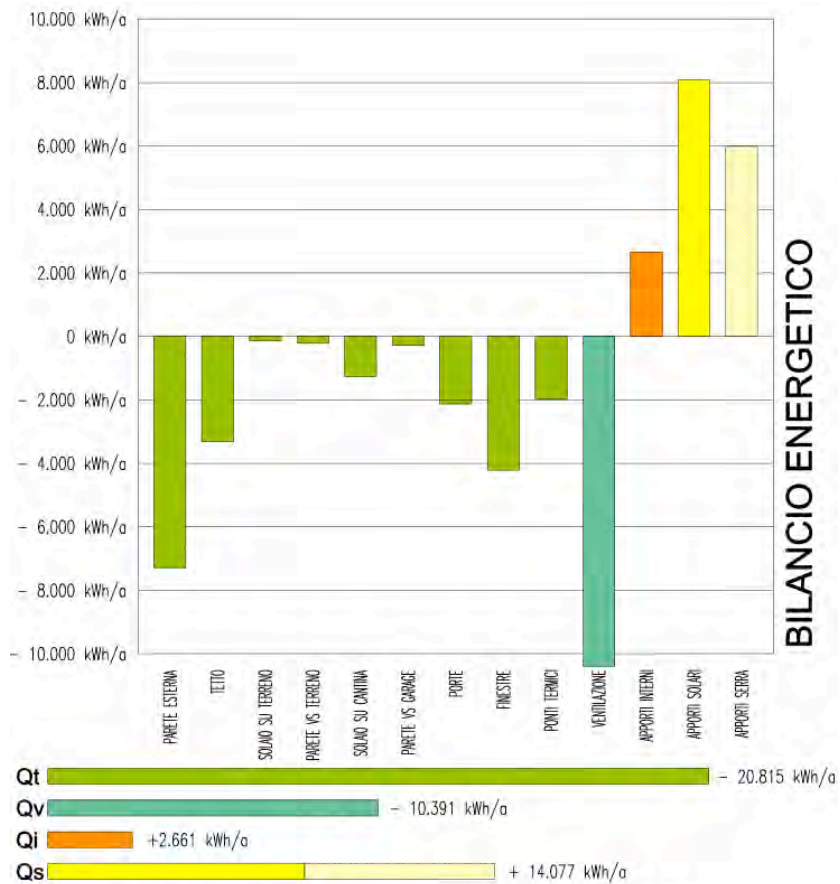
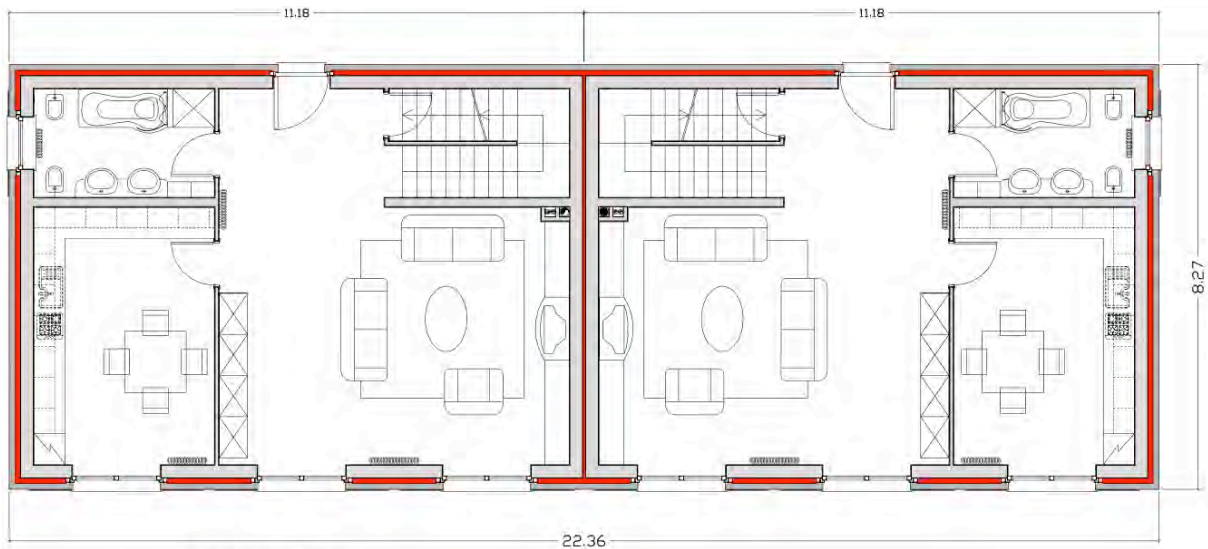


Figura 419 - Bifamiliare 2: involucro termico sezione A-A. - archivio personale



FABBISOGNO ENERGETICO: 54 kWh/m²a

Figura 420 - Bifamiliare 2: grafico del fabbisogno energetico - archivio personale

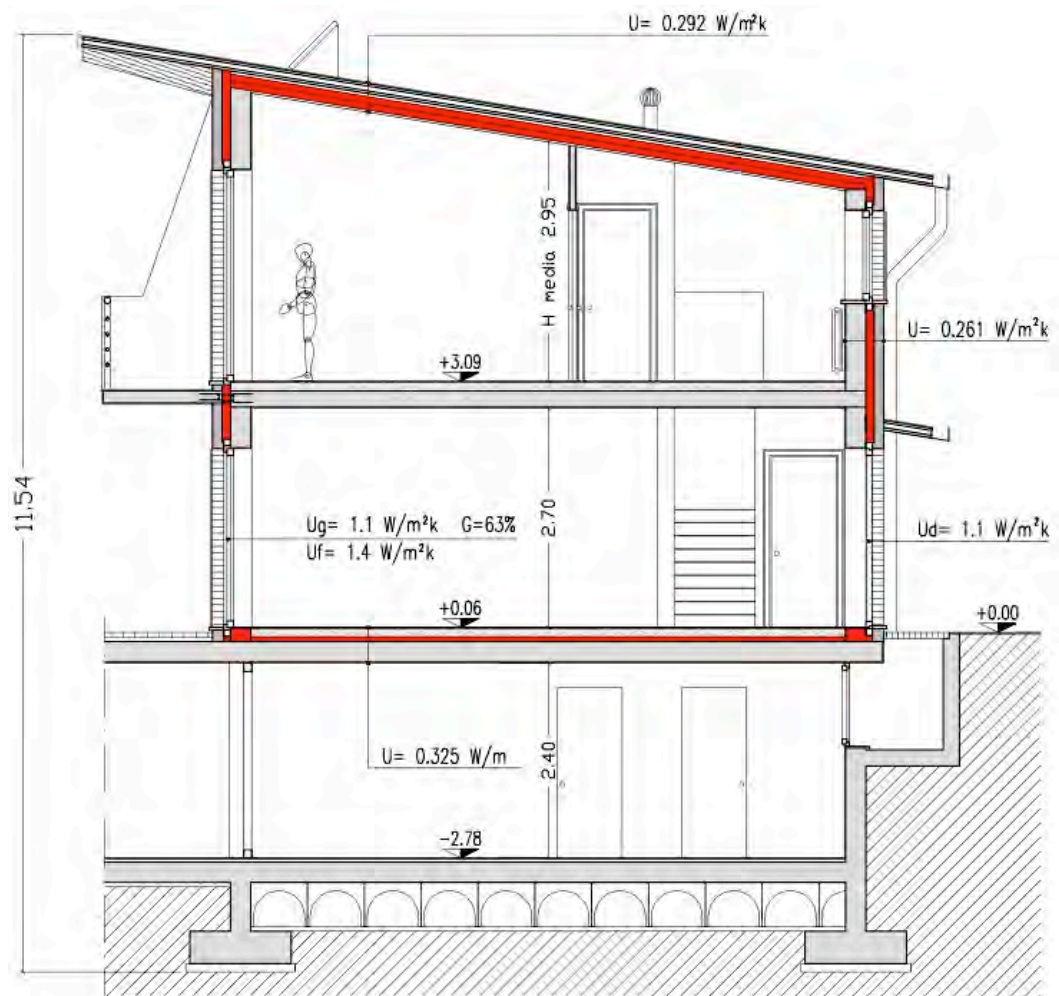


PIANTA P.T.

SUP. NETTA RISCALDATA:	296,30 mq
SUP. LORDA INVOLUCRO TERMICO:	393,50 mq
PERMEABILITA' ALL'ARIA DELL'INVOLUCRO EDILIZIO: MEDIA (n50: 2/h)	
VOL. NETTO RISCALDATA:	834,30 mc
VOL. LORDO INVOLUCRO TERMICO:	1.306,5 mc

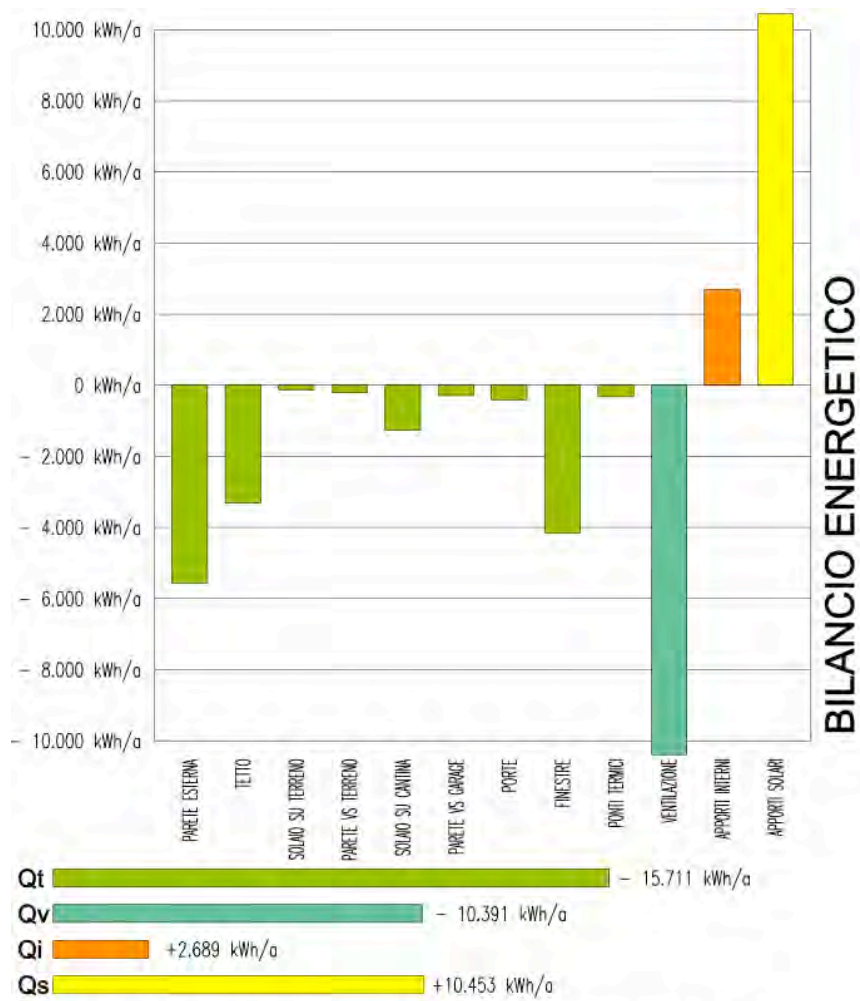


Figura 421 - *Bifamiliare 3: involucro termico P.T.* - archivio personale



SEZIONE A-A

Figura 422 - *Bifamiliare 3: involucro termico sezione A-A.* - archivio personale



FABBISOGNO ENERGETICO: 45 kWh/m²a

Figura 423 - *Bifamiliare 3*: grafico del fabbisogno energetico - archivio personale

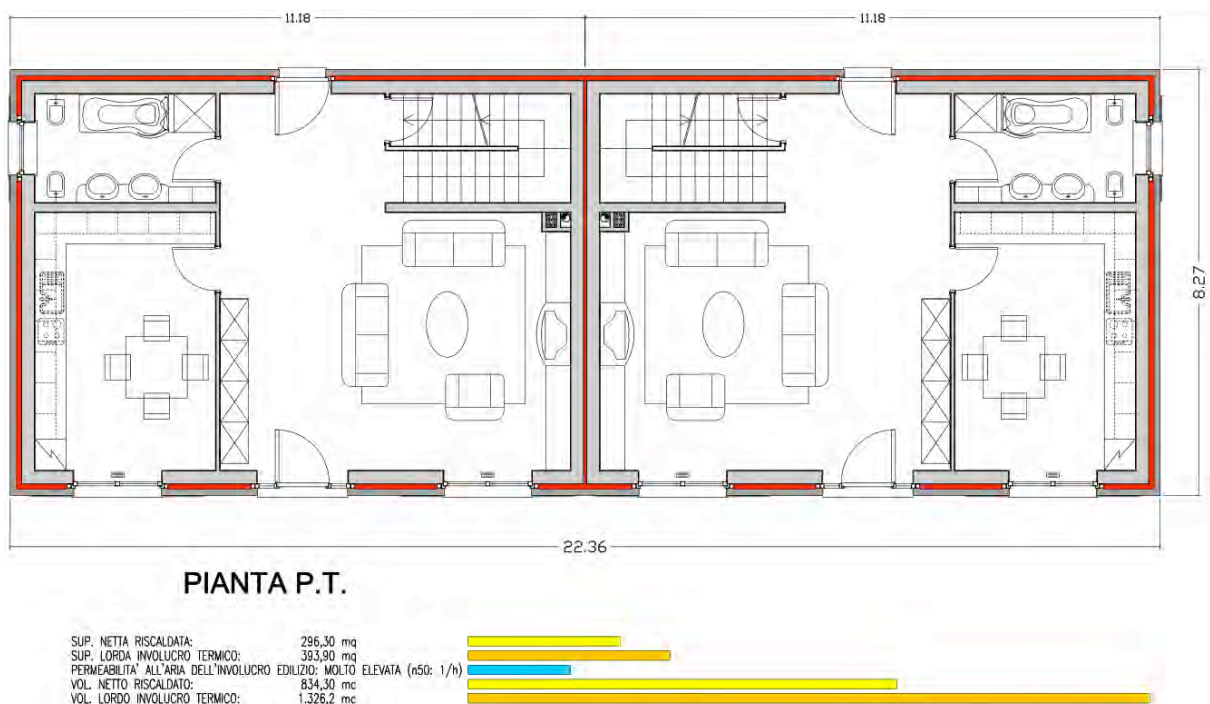


Figura 424 - *Bifamiliare 4 e 6*: involucro termico P.T. - archivio personale

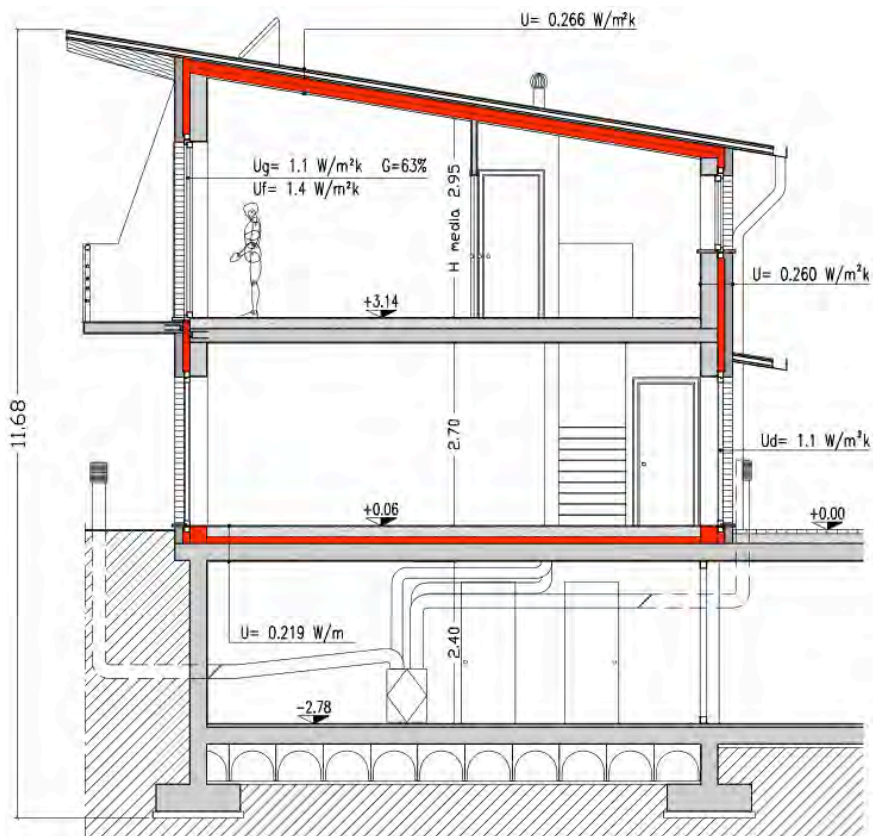
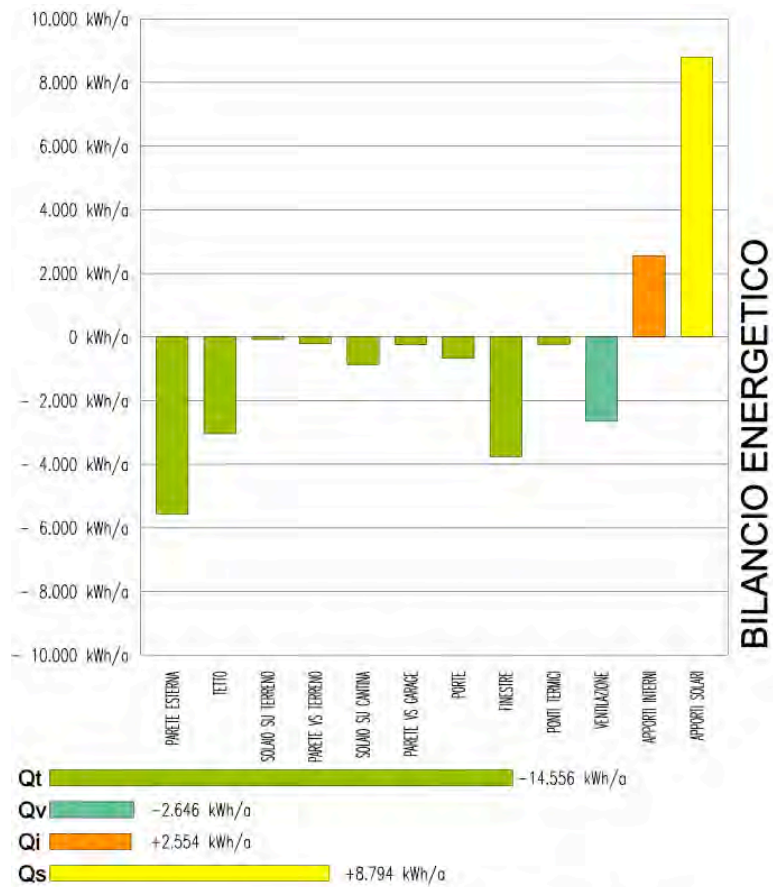
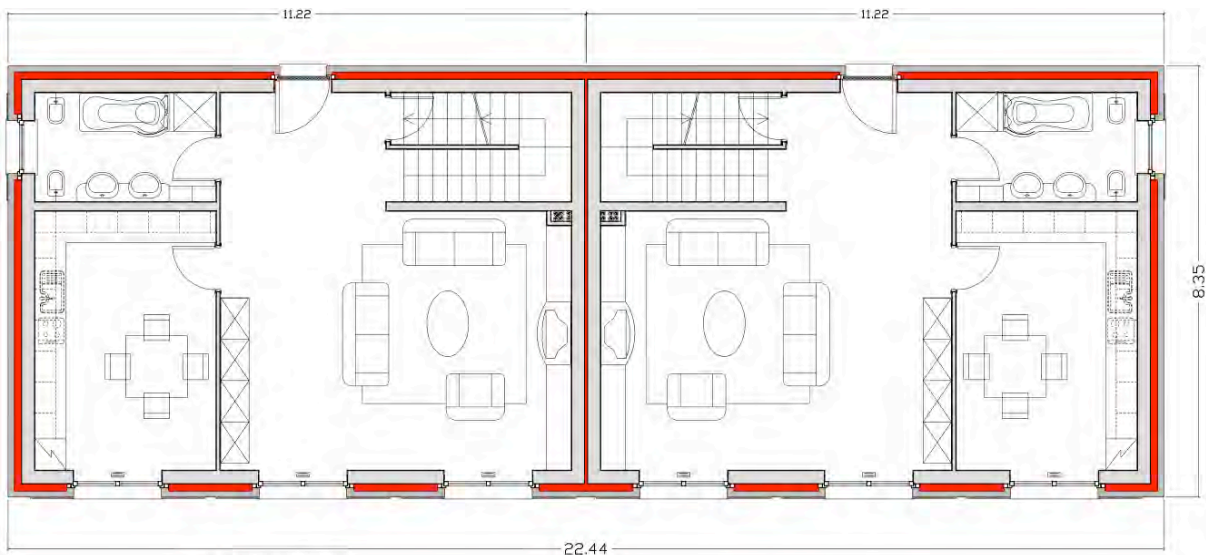


Figura 425 - Bifamiliare 4 e 6: involucro termico sezione A-A. - archivio personale



FABBISOGNO ENERGETICO: 21 kWh/m²a

Figura 426 - Bifamiliare 4 e 6: grafico del fabbisogno energetico - archivio personale

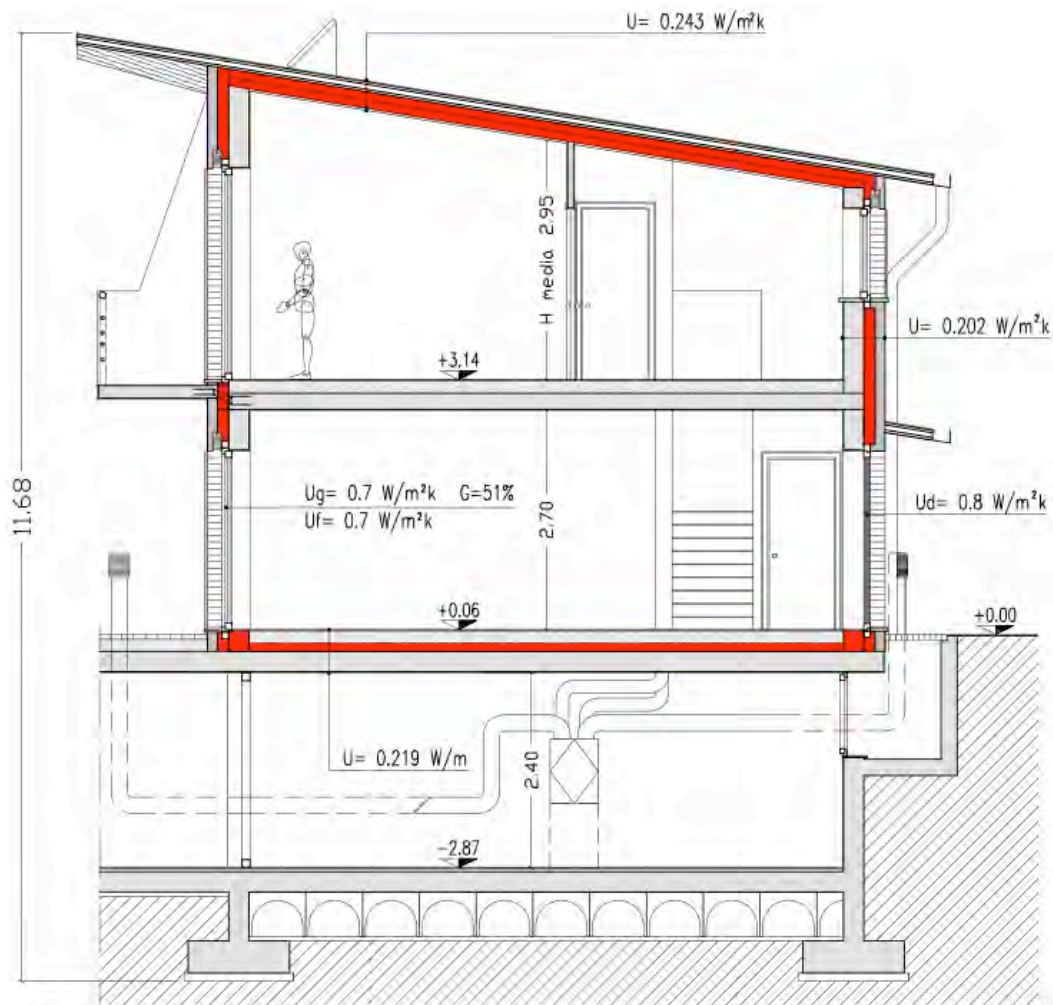


PIANTA P.T.

SUP. NETTA RISCALDATA: 296,30 mq
 SUP. LORDA INVOLUCRO TERMICO: 399,20 mq
 PERMEABILITA' ALL'ARIA DELL'INVOLUCRO EDILIZIO: OTTIMA (n50: 0,6/h)
 VOL. NETTO RISCALDATO: 834,30 mc
 VOL. LORDO INVOLUCRO TERMICO: 1.343,8 mc



Figura 427 - *Bifamiliare 5: involucro termico P.T.* - archivio personale



SEZIONE A-A

Figura 428 - *Bifamiliare 5: involucro termico sezione A-A.* - archivio personale

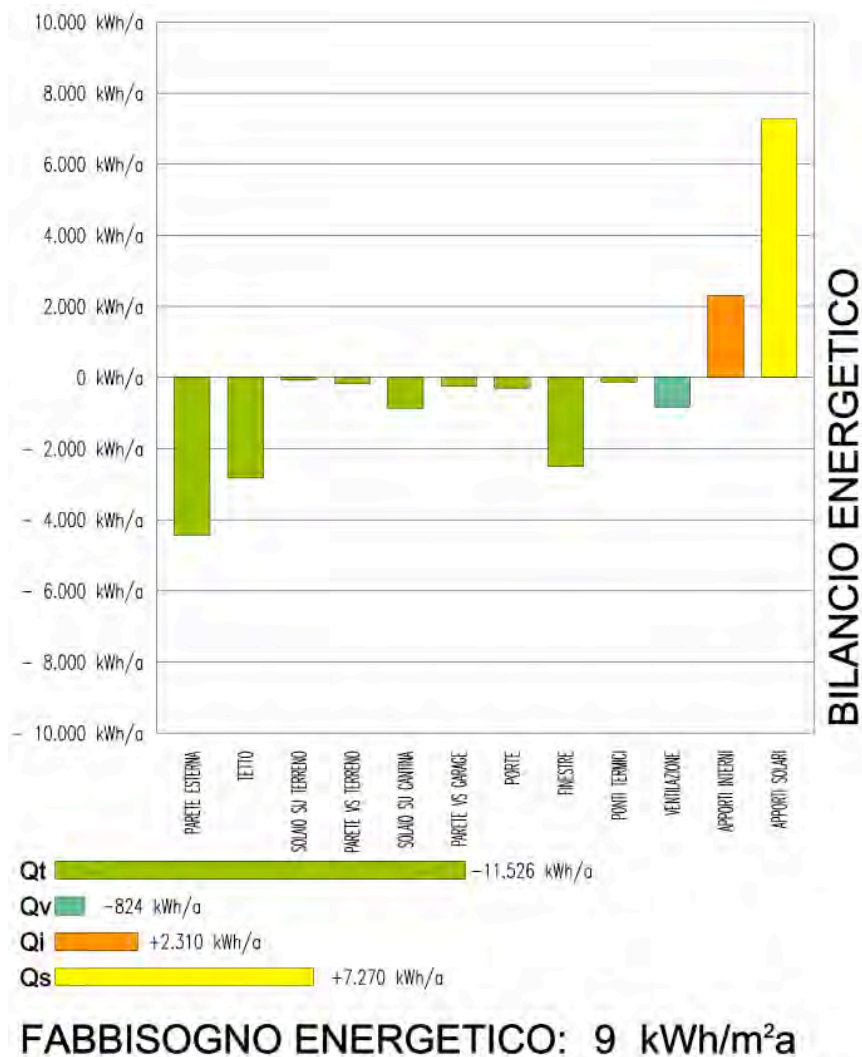


Figura 429 - *Bifamiliare 5: grafico del fabbisogno energetico* - archivio personale

13.7.8 La villa singola n.1 - edificio base

Per proseguire il confronto tra gli edifici a risparmio energetico progettiamo adesso la prima villa singola, quella “a norma di legge”. Per non discostarci troppo dalle ville bifamiliari proseguiamo con l’utilizzo della tecnologia costruttiva tradizionale, ovvero muri in mattoni, solai in laterocemento e tetto in legno con travi a vista. Per l’isolamento utilizziamo questa volta un cappotto esterno con finitura ad intonaco realizzato in lana di vetro (un altro isolante di origine naturale) e polistirene estruso (XPS) dove necessario. Nelle scelte progettuali avevamo deciso di non realizzare questo edificio bioclimatico, ma se questo è possibile nell’edificio base negli edifici certificati la cosa non sarebbe credibile, difficilmente infatti troveremo un edificio certificato Passivhaus, Minergie o CasaClima A che non cerchi in

nessun modo di sfruttare i benefici effetti del sole. Optiamo quindi per un compromesso, organizziamo la disposizione interna dei locali e la disposizione delle finestre secondo i canoni dell'edilizia bioclimatica ma realizziamo l'edificio con dei soffitti molto alti, in modo da avere un maggiore volume d'aria da scaldare.



Figura 430 - *Villa singola 1: fronte est* - archivio personale

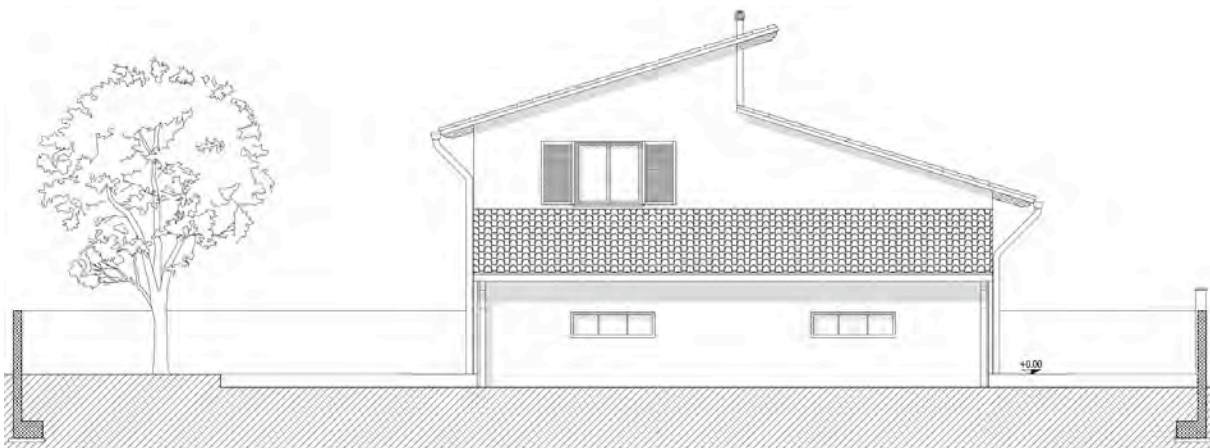


Figura 431 - *Villa singola 1: fronte ovest* - archivio personale



Figura 432 - *Villa singola 1: fronte sud* - archivio personale

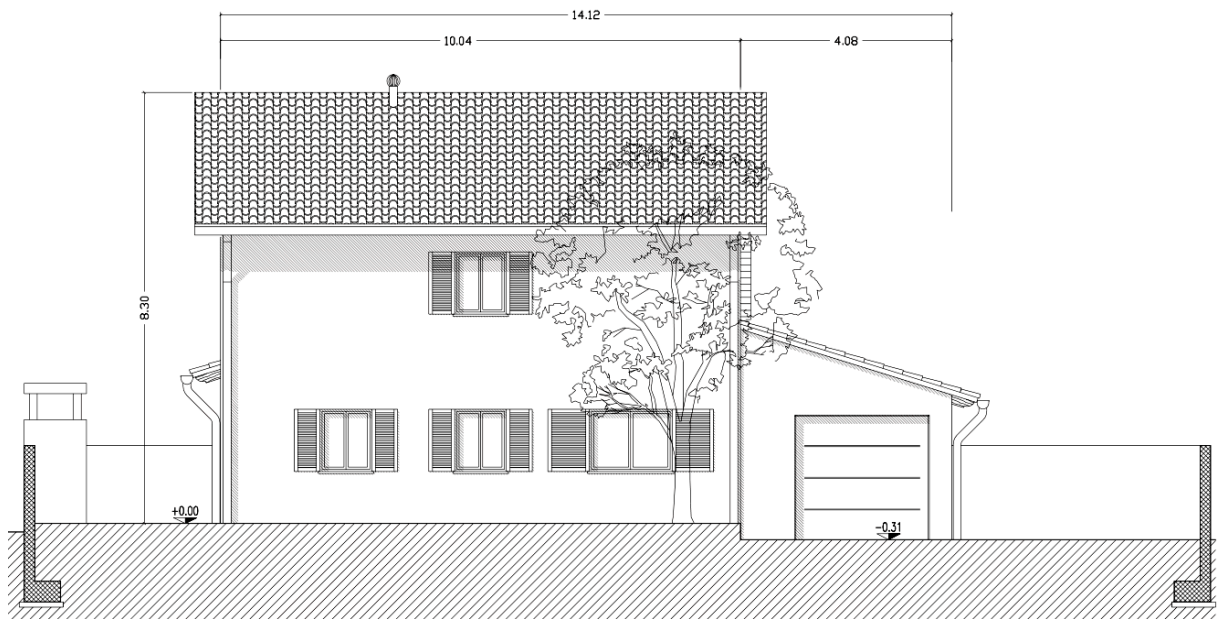


Figura 433 - Villa singola 1: fronte nord - archivio personale

Come già abbiamo fatto per le ville bifamiliari optiamo per i pluviali e le persiane esterne, in modo da eliminare i ponti termici che si portano dietro, ma optiamo per l'inserimento dei termosifoni nelle nicchie. Non avendo questa volta problemi di spazio, portiamo all'esterno dell'involucro termico la scala che conduce in cantina.

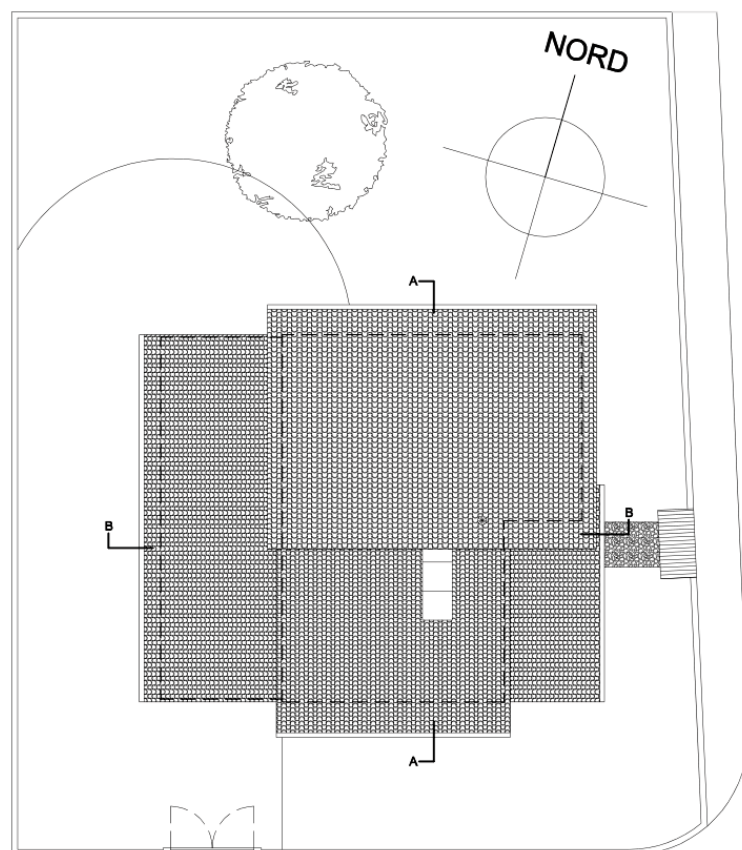


Figura 434 - Villa singola 1: pianta copertura - archivio personale

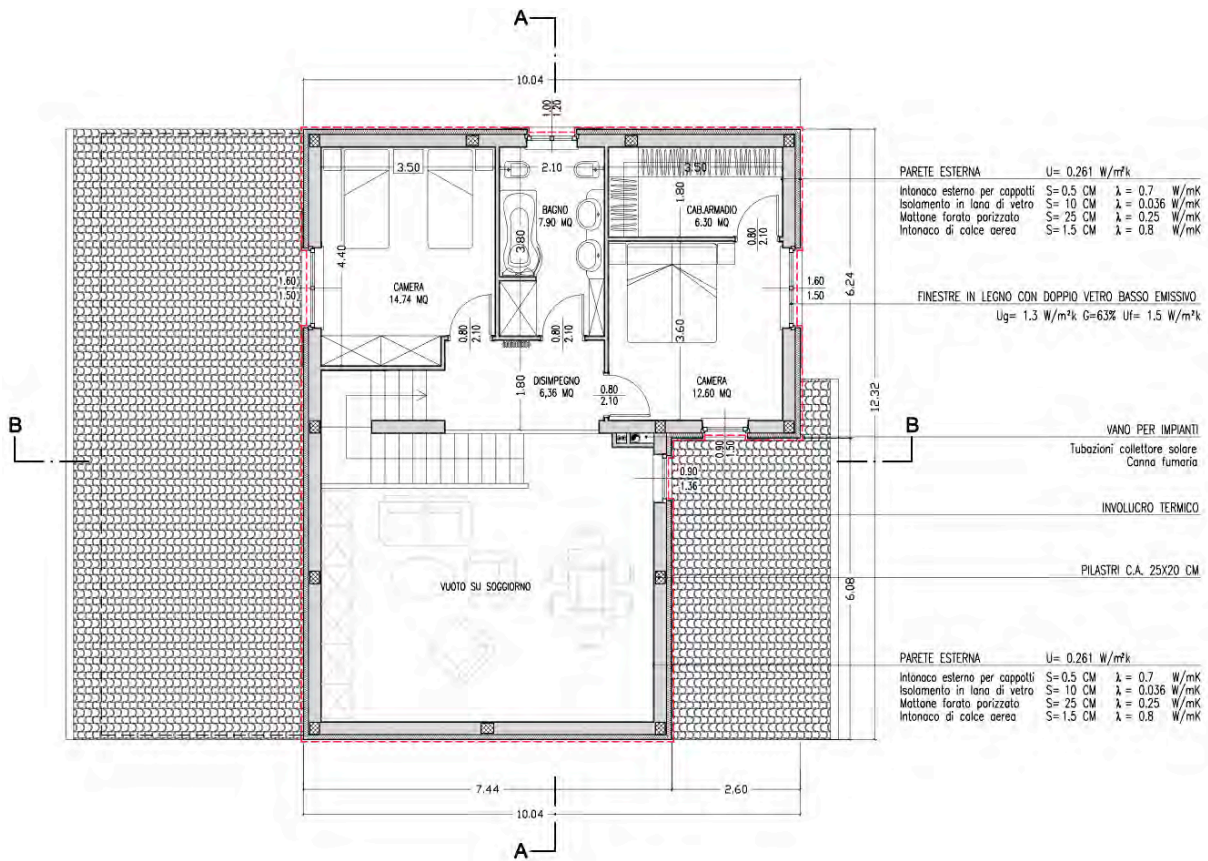


Figura 435 - Villa singola 1: pianta P.1 - archivio personale

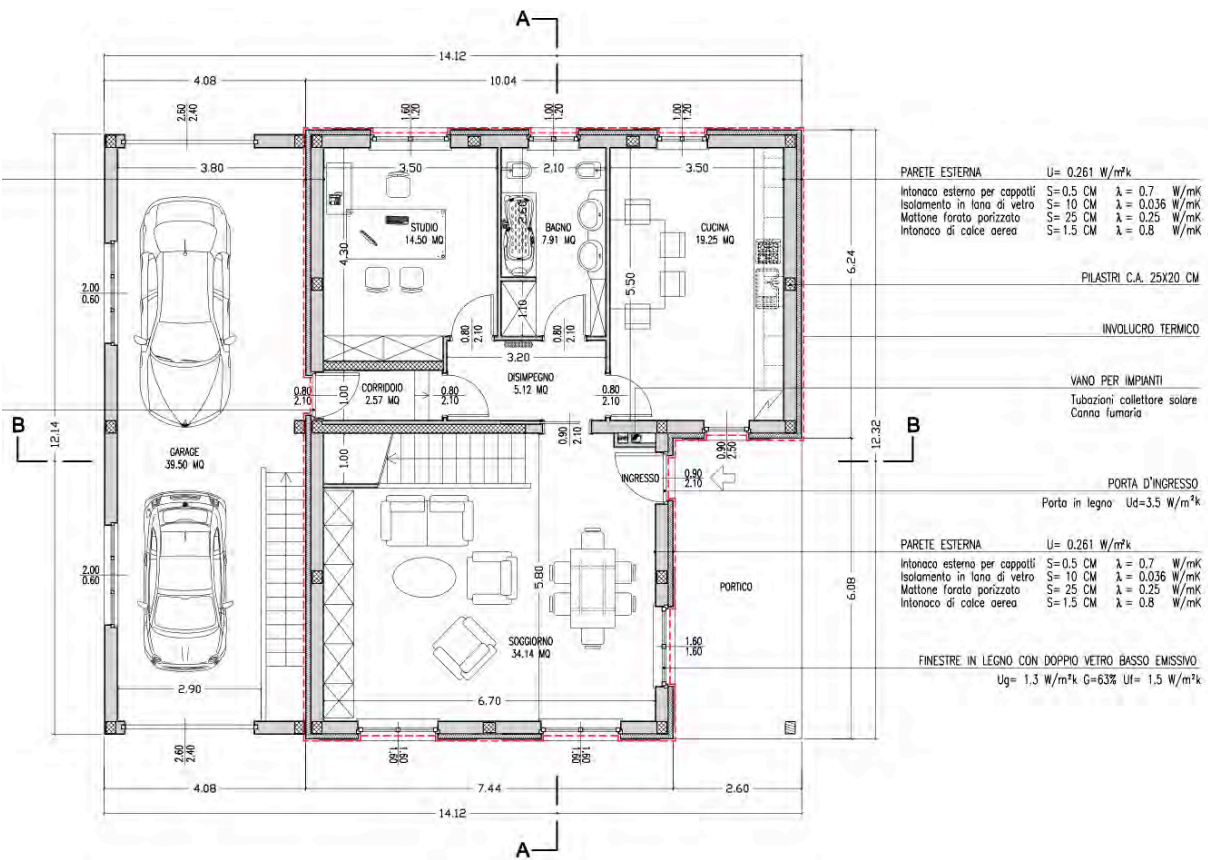


Figura 436 - Villa singola 1: pianta P.T - archivio personale

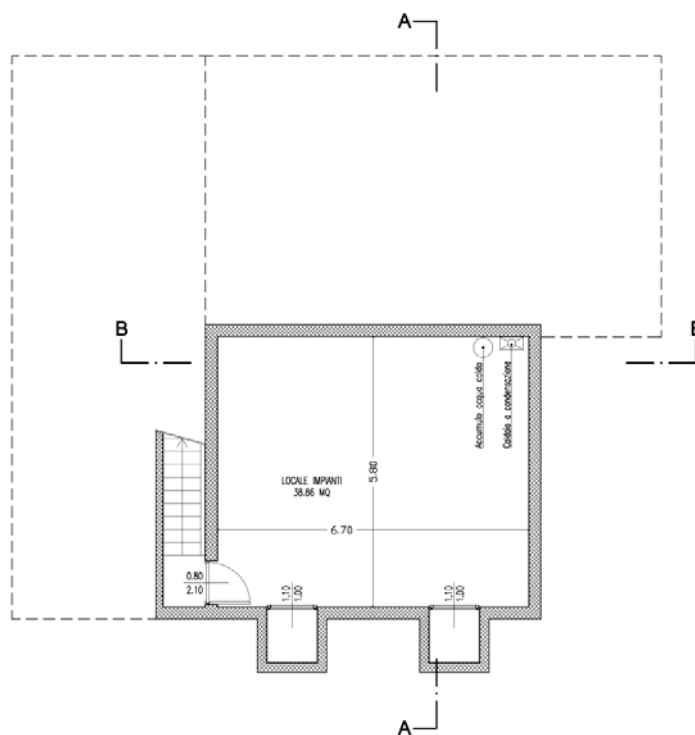


Figura 437 - Villa singola 1: pianta interrato - archivio personale

La procedura di calcolo è sempre la stessa, inseriamo nel software le dimensioni dell'edificio e la località (Vigevano), ricavando così i gradi giorno (2544 GG), il rapporto superficie/volume (0,72) e l'EPi limite (85 kWh/m²a).

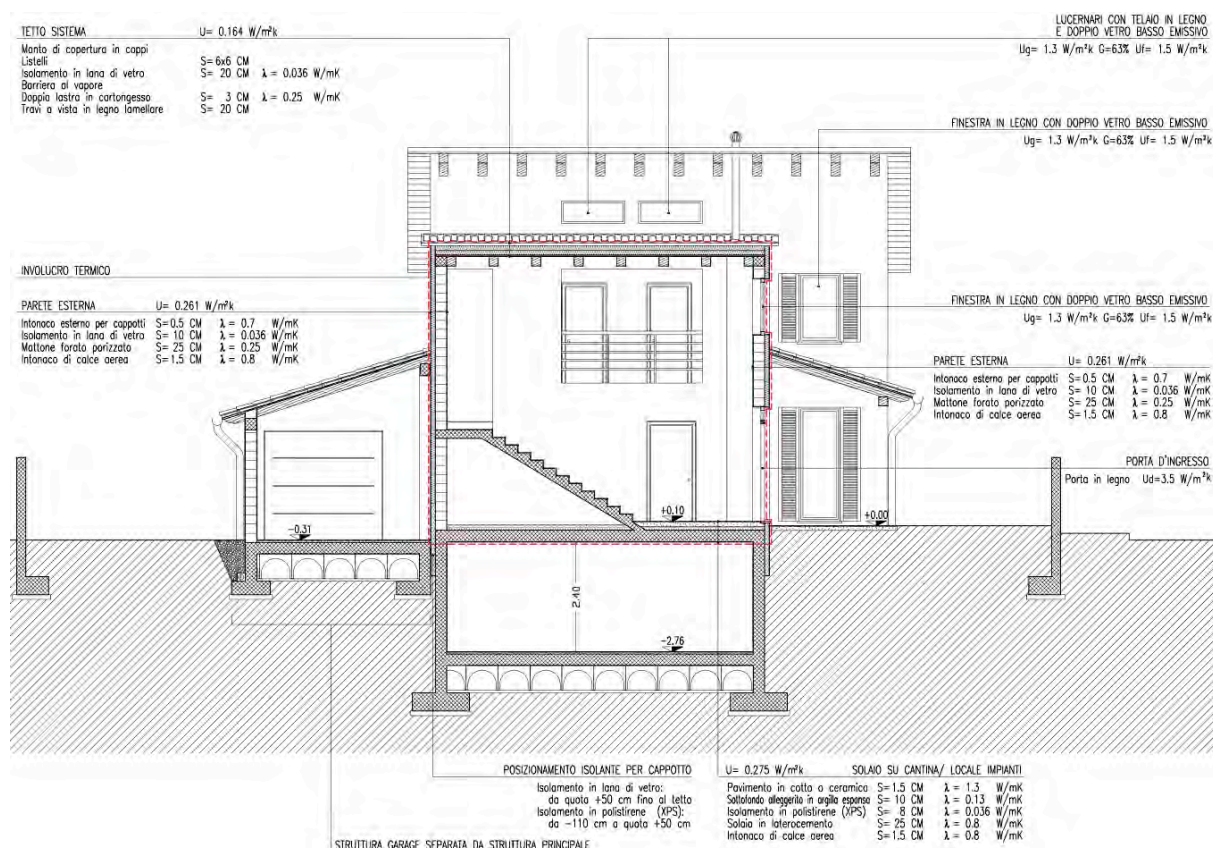


Figura 438 - Villa singola 1: sezione B-B - archivio personale

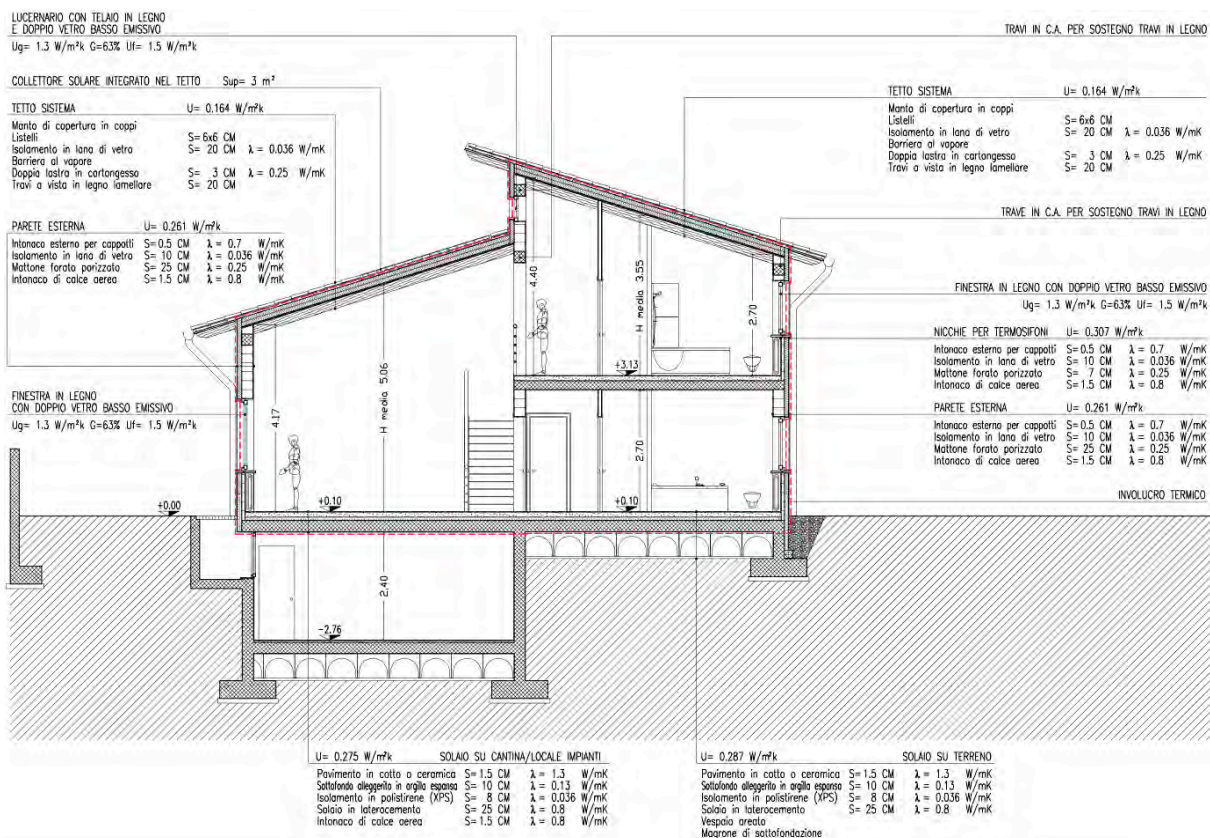


Figura 439 - Villa singola 1: sezione A-A - archivio personale

Inseriamo le principali componenti dell'involucro termico:

- Parete esterna $U = 0,261 \text{ W/m}^2\text{K}$

Strato 1	Intonaco esterno per cappotti	$S = 0,5 \text{ cm}$	$\lambda = 0,700 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di vetro	$S = 10 \text{ cm}$	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 3	Mattone forato porizzato	$S = 25 \text{ cm}$	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 3	Pilastro in c.a. 25x20	$S = 25 \text{ cm}$	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 4	Intonaco di calce aerea	$S = 1,5 \text{ cm}$	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Parete verso garage $U = 0,255 \text{ W/m}^2\text{K}$

Strato 1	Intonaco esterno per cappotti	$S = 0,5 \text{ cm}$	$\lambda = 0,700 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di vetro	$S = 10 \text{ cm}$	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 3	Mattone forato porizzato	$S = 25 \text{ cm}$	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 3	Pilastro in c.a. 25x20	$S = 25 \text{ cm}$	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$

Strato 4	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
----------	-------------------------	------------	--------------------------------

- Nicchie per termosifoni $U = 0,307 \text{ W/m}^2\text{K}$

Strato 1	Intonaco esterno per cappotti	S = 0,5 cm	$\lambda = 0,700 \text{ W/mK}$
----------	-------------------------------	------------	--------------------------------

Strato 2	Isolamento in lana di vetro	S = 10 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
----------	-----------------------------	-----------	--------------------------------

Strato 3	Mattone forato porizzato	S = 7 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
----------	--------------------------	----------	--------------------------------

Strato 4	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
----------	-------------------------	------------	--------------------------------

- Tetto sistema $U = 0,164 \text{ W/m}^2\text{K}$

----- Manto di copertura in coppi

----- Intercapedine ventilata S = 6 cm

Strato 1	Isolamento in lana di vetro	S = 20 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
----------	-----------------------------	-----------	--------------------------------

----- Barriera al vapore

Strato 2	Doppia lastra di cartongesso	S = 3 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
----------	------------------------------	----------	--------------------------------

----- Travi a vista in legno lamellare

- Solaio su cantina - locale impianti $U = 0,275 \text{ W/m}^2\text{K}$:

Strato 1	Pavimento in cotto o ceramica	S = 1,5 cm	$\lambda = 1,300 \text{ W/mK}$
----------	-------------------------------	------------	--------------------------------

Strato 2	Sottofondo alleggerito	S = 10 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
----------	------------------------	-----------	--------------------------------

Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 8 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
----------	---------------------------------	----------	--------------------------------

Strato 4	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
----------	-------------------------	-----------	--------------------------------

Strato 5	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
----------	-------------------------	------------	--------------------------------

- Solaio su vespaio areato $U = 0,287 \text{ W/m}^2\text{K}$:

Strato 1	Pavimento in cotto o ceramica	S = 1,5 cm	$\lambda = 1,300 \text{ W/mK}$
----------	-------------------------------	------------	--------------------------------

Strato 2	Sottofondo alleggerito	S = 10 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 8 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 4	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
-----	Vespaio areato		

Serramenti in legno con doppio vetro termoisolante:

$$U_g = 1,3 \text{ W/m}^2\text{k} \quad U_f = 1,5 \text{ W/m}^2\text{k} \quad \psi_g = 0,12 \text{ W/mk} \quad G = 63 \%$$

Portoncini d'ingresso: $U_d = 3,5 \text{ W/m}^2\text{k}$

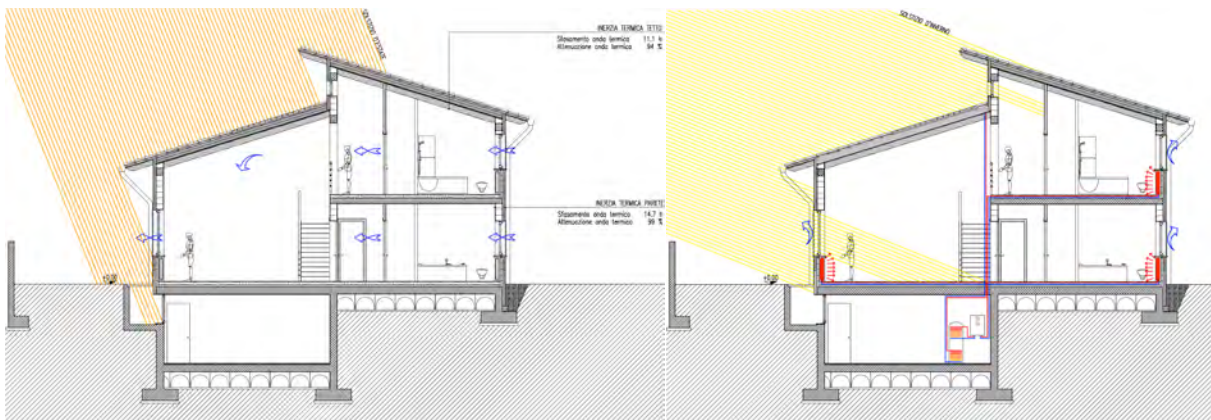


Figura 440 - Villa singola 1: Bilancio energetico estivo (a destra) e invernale (a sinistra) - archivio personale

..... insieme al volume, alla superficie da scaldare, agli ombreggiamenti ecc, per ricavare il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento, che nel nostro caso è di 70 kWh/m²a.

Fatto questo non ci rimane che scegliere il tipo d'impianto con cui scaldare l'edificio. Trattandosi di un edificio "normale" optiamo anche stavolta per un impianto comune, ovvero una caldaia a gas a condensazione per la produzione del calore, termosifoni a parete per la distribuzione del calore e un sistema di regolazione del tipo "climatico + singolo ambiente". Otteniamo così la resa complessiva dell'impianto di riscaldamento (84 %). Dal fabbisogno di energia utile per il riscaldamento e dalla resa complessiva dell'impianto

otteniamo l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EPI) che è di 84 kWh/m²a (inferiore agli 85 kWh/m²a richiesti), i quali certificano l'edificio in classe C (classificazione Cened della Regione Lombardia).

Per la produzione dell'acqua calda optiamo sempre per la caldaia a gas a condensazione che già utilizziamo per il riscaldamento coadiuvata da collettori solari termici di 3 m² che producono il 52% dell'acqua calda sanitaria.

Infine, non avendo l'edificio necessità di essere impermeabilizzato per la tenuta all'aria optiamo per un piano di cottura a gas.

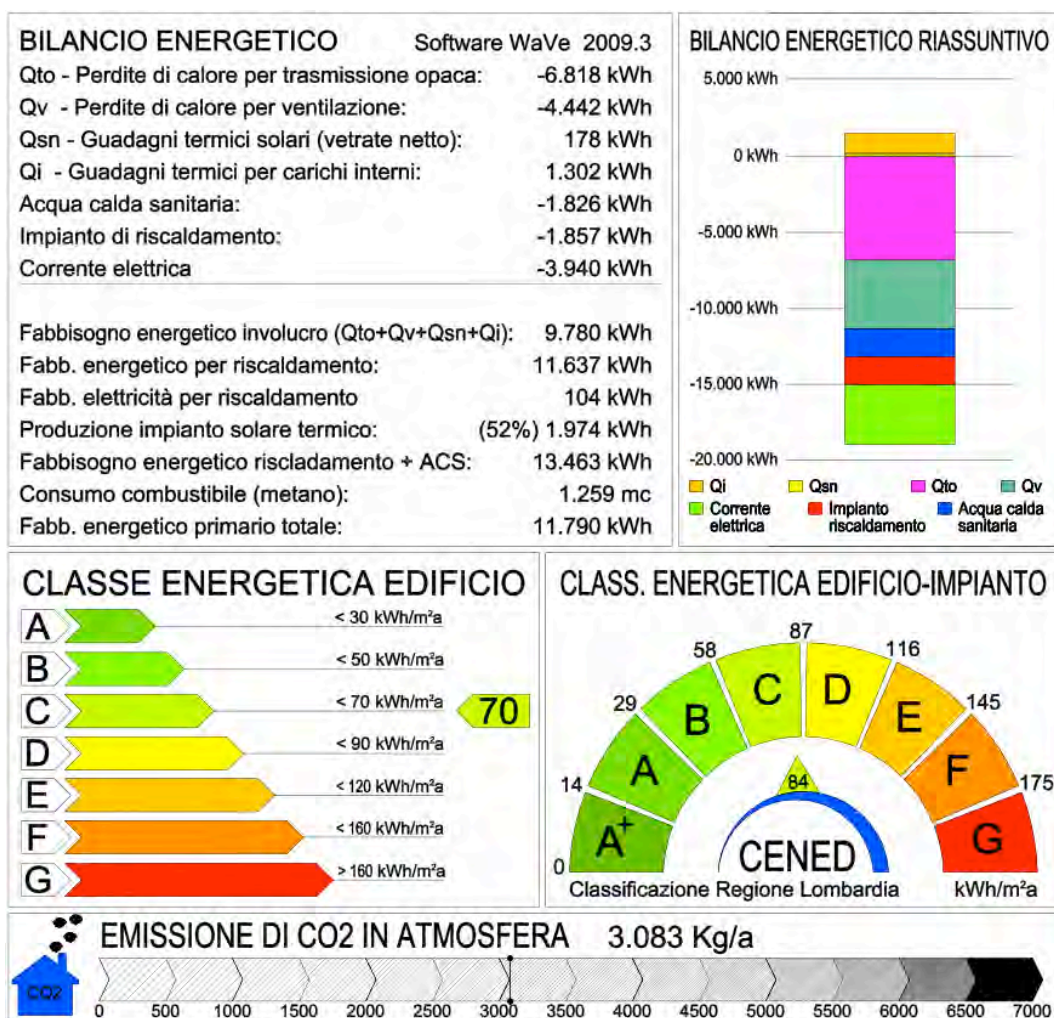


Figura 441 - Villa singola 1: quadro riassuntivo - archivio personale

13.7.9 La villa singola n.2 - standard CasaClima B

Il ragionamento da fare per portare l'edificio base allo standard CasaClima B è lo stesso che abbiamo utilizzato con l'edificio Bifamiliare 3. Modifichiamo quindi lo spessore dell'isolamento fino ad ottenere il risultato desiderato:

- Parete esterna **U = 0,191 W/m²K**

Strato 1	Intonaco esterno per cappotti	S = 0,5 cm	$\lambda = 0,700 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di vetro	S = 15 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 3	Mattone forato porizzato	S = 25 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 3	Pilastro in c.a. 25x20	S = 25 cm	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 4	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Parete verso garage **U = 0,188 W/m²K**

Strato 1	Intonaco esterno per cappotti	S = 0,5 cm	$\lambda = 0,700 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di vetro	S = 15 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 3	Mattone forato porizzato	S = 25 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 3	Pilastro in c.a. 25x20	S = 25 cm	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 4	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Nicchie per termosifoni **U = 0,215 W/m²K**

Strato 1	Intonaco esterno per cappotti	S = 0,5 cm	$\lambda = 0,700 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di vetro	S = 15 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 3	Mattone forato porizzato	S = 7 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 4	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Tetto sistema **U = 0,150 W/m²K**

-----	Manto di copertura in coppi		
-----	Intercapedine ventilata	S = 6 cm	
Strato 1	Isolamento in lana di vetro	S = 22 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
-----	Barriera al vapore		
Strato 2	Doppia lastra di cartongesso	S = 3 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
-----	Travi a vista in legno lamellare		

- Solaio su cantina - locale impianti **U = 0,239 W/m²K:**

Strato 1	Pavimento in cotto o ceramica	S = 1,5 cm	$\lambda = 1,300 \text{ W/mK}$
Strato 2	Sottofondo alleggerito	S = 10 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 10 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 4	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
Strato 5	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Solaio su vespaio areato **U = 0,247 W/m²K:**

Strato 1	Pavimento in cotto o ceramica	S = 1,5 cm	$\lambda = 1,300 \text{ W/mK}$
Strato 2	Sottofondo alleggerito	S = 10 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 10 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 4	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
-----	Vespaio areato		

Serramenti in legno con doppio vetro termoisolante:

$$U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{k} \quad U_f = 1,1 \text{ W/m}^2\text{k} \quad \psi_g = 0,05 \text{ W/mk} \quad G = 63 \%$$

Portoncini d'ingresso: $U_d = 1,1 \text{ W/m}^2\text{k}$

Modificando la tenuta all'aria dell'edificio, l'isolamento della parete esterna, inserendo dei serramenti più performanti, modificando la giunzione dei solai con la parete e l'aggancio delle finestre con la parete (agganciate utilizzando un contro telaio esterno in legno coibentato) otteniamo il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento del nostro edificio a Pavia (49 kWh/m²a). Riportando il nostro edificio a Vigevano otteniamo il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento reale, ovvero 47 kWh/m²a. Optando ancora (come nel Bifamiliare 3) per la scelta economicamente più conveniente utilizziamo di nuovo la caldaia a gas a condensazione per la produzione del calore ed i termosifoni a parete per la distribuzione, con sistema di regolazione del tipo “climatico + singolo ambiente”.

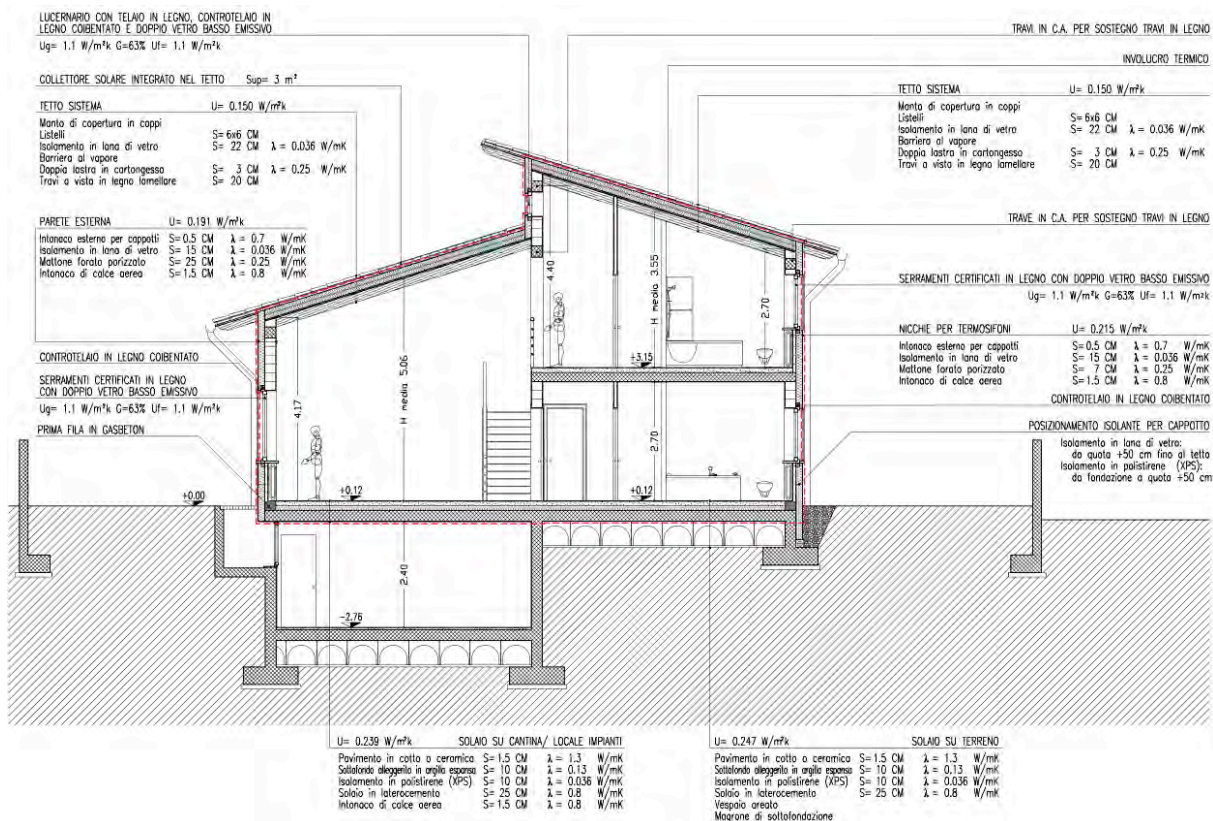


Figura 442 - Villa singola 2: sezione A-A - archivio personale

Dal fabbisogno di energia utile per il riscaldamento (47 kWh/m²a) e dalla resa complessiva dell'impianto di riscaldamento (84%) otteniamo l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EPi) di 56 kWh/m²a, i quali certificano l'edificio in classe B (classificazione Cened della Regione Lombardia). Ovviamente, non modificando l'impianto

di riscaldamento non modifichiamo neanche l'impianto per la produzione dell'acqua calda, che sarà ancora formato da una caldaia a gas a condensazione coadiuvata da collettori solari termici di 3 m² che produrranno il 52% di acqua calda sanitaria.

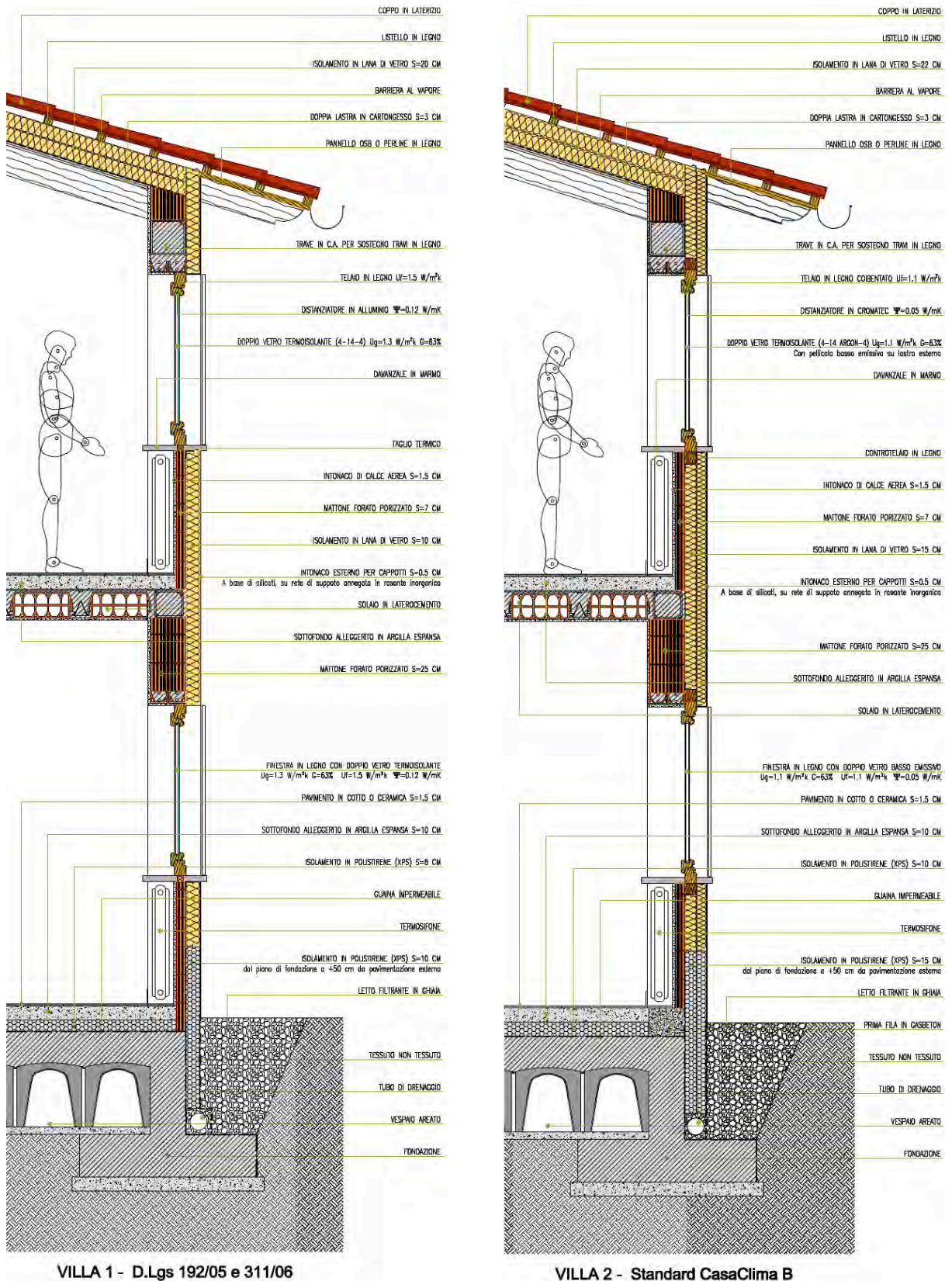


Figura 443 - Particolari costruttivi della Villa Singola 1 e 2 a confronto- archivio personale



Figura 444 - Villa singola 2: quadro riassuntivo - archivio personale

13.7.10 La villa singola n.3 - standard CasaClima A

Per passare dallo standard CasaClima B allo standard CasaClima A apportiamo all'edificio le stesse modifiche che abbiamo effettuato per passare da uno standard all'altro nelle Bifamiliari. Realizziamo quindi un condotto interrato di almeno 42 m di lunghezza per il preriscaldamento dell'aria, installiamo in cantina l'impianto di areazione forzata con recupero di calore, aumentiamo lo spessore dei sottofondi per la posa delle tubazioni dell'aria (optiamo ancora per le bocchette di mandata a pavimento e le bocchette di aspirazione a soffitto), predisponiamo i solai per ospitare l'impianto di riscaldamento a pavimento, aggiungiamo alla copertura una guaina per la tenuta all'aria (ricordandoci di far sigillare nelle murature tutti i fori utilizzati dagli impianti nell'attraversare l'involucro termico) ed eliminiamo le ormai inutili nicchie per i termosifoni.

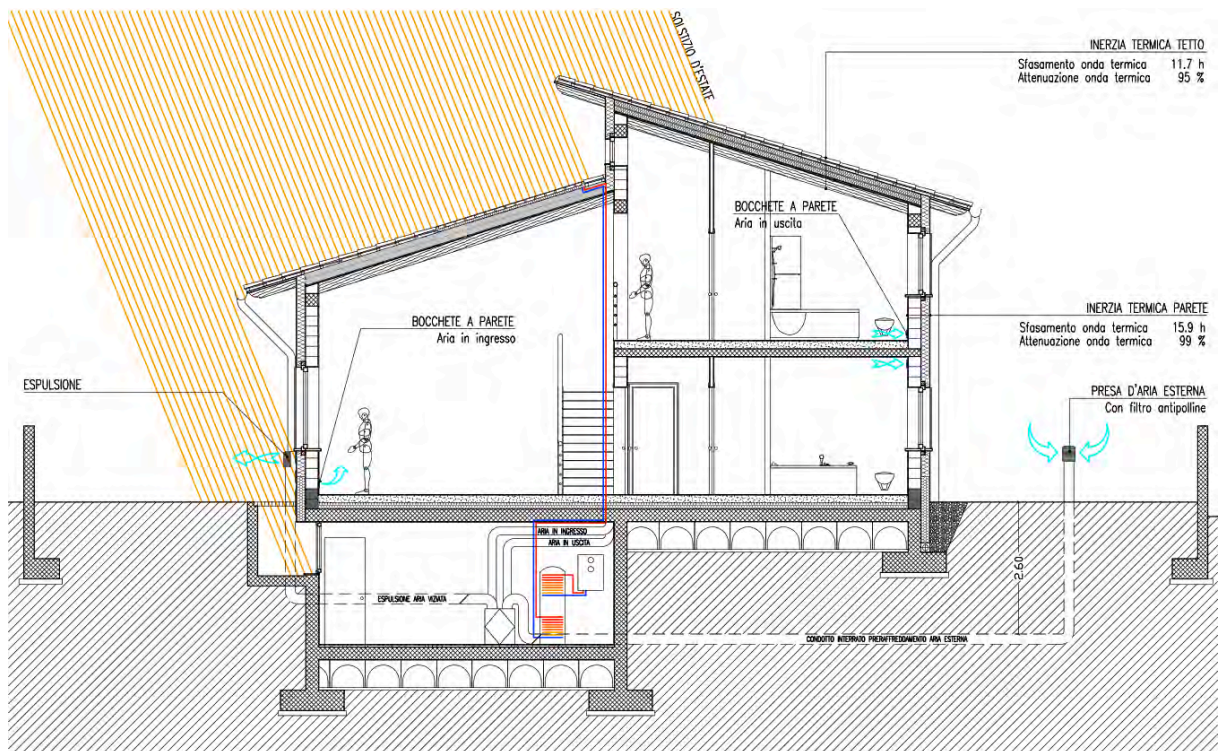


Figura 445 - Villa singola 3: Bilancio energetico estivo - archivio personale

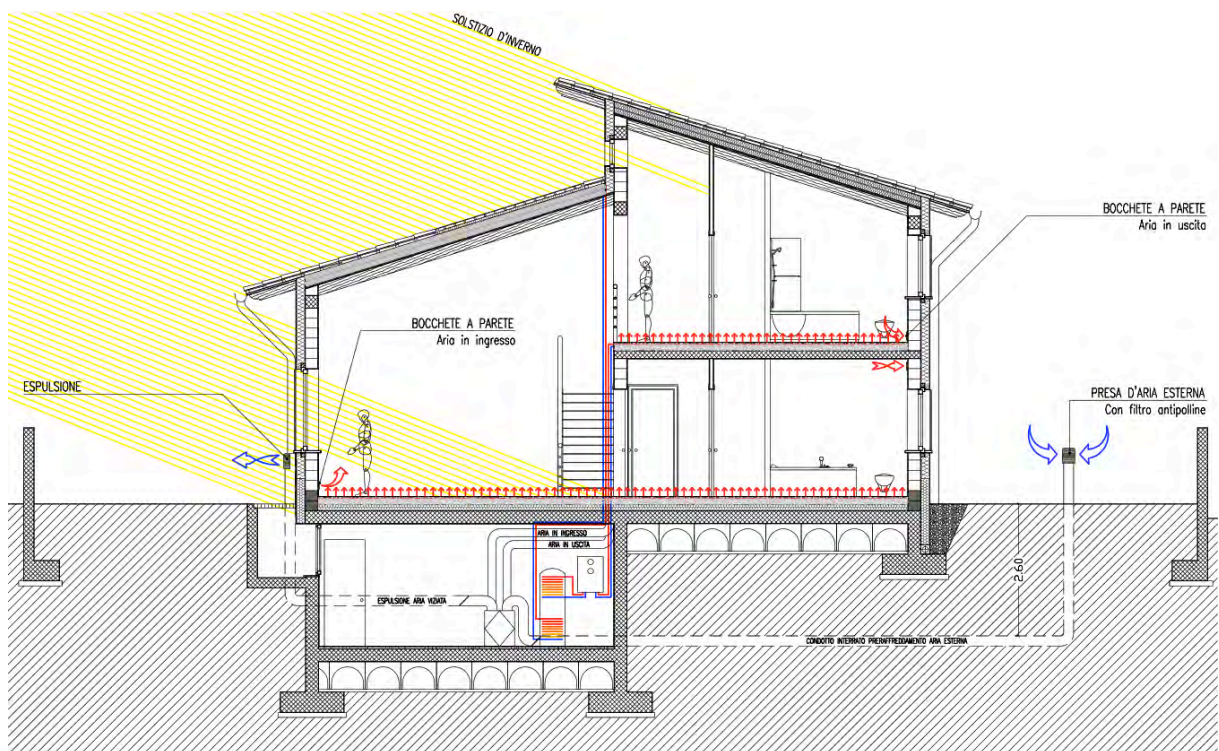


Figura 446 - Villa singola 3: Bilancio energetico invernale - archivio personale

Procediamo quindi con la modifica dell'involucro termico:

- Parete esterna

$$U = 0,165 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Strato 1 Intonaco esterno per cappotti $S = 0,5 \text{ cm}$ $\lambda = 0,700 \text{ W/mK}$

Strato 2 Isolamento in lana di vetro $S = 18 \text{ cm}$ $\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$

Strato 3	Mattone forato porizzato	S = 25 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 3	Pilastro in c.a. 25x20	S = 25 cm	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 4	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Parete verso garage

U = 0,162 W/m²K

Strato 1	Intonaco esterno per cappotti	S = 0,5 cm	$\lambda = 0,700 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di vetro	S = 18 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 3	Mattone forato porizzato	S = 25 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 3	Pilastro in c.a. 25x20	S = 25 cm	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 4	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Tetto sistema

U = 0,150 W/m²K

-----	Manto di copertura in coppi		
-----	Intercapedine ventilata	S = 6 cm	
-----	Guaina per la tenuta al vento		
Strato 1	Isolamento in lana di vetro	S = 22 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
-----	Barriera al vapore		
Strato 2	Doppia lastra di cartongesso	S = 3 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
-----	Travi a vista in legno lamellare		

- Solaio su cantina - locale impianti

U = 0,195 W/m²K:

Strato 1	Pavimento in cotto o ceramica	S = 1,5 cm	$\lambda = 1,300 \text{ W/mK}$
Strato 2	Sottofondo alleggerito	S = 10 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 12 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 4	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

Strato 5	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
----------	-------------------------	------------	--------------------------------

- Solaio su vespaio areato

U = 0,201 W/m²K:

Strato 1	Pavimento in cotto o ceramica	S = 1,5 cm	$\lambda = 1,300 \text{ W/mK}$
----------	-------------------------------	------------	--------------------------------

Strato 2	Sottofondo alleggerito	S = 10 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
----------	------------------------	-----------	--------------------------------

Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 12 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
----------	--	------------------	--------------------------------

Strato 4	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
----------	-------------------------	-----------	--------------------------------

-----	Vespaio areato		
-------	----------------	--	--

Serramenti in legno con doppio vetro termoisolante:

$U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{k}$ $U_f = 1,1 \text{ W/m}^2\text{k}$ $\psi_g = 0,05 \text{ W/mk}$ $G = 63 \%$

Portoncini d'ingresso: $U_d = 1,1 \text{ W/m}^2\text{k}$

Inserendo nel software le modifiche appena descritte otteniamo un fabbisogno di energia utile per il riscaldamento del nostro edificio a Pavia di 23 kWh/m²a. Riportando il nostro edificio a Vigevano otteniamo il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento reale, ovvero 21 kWh/m²a. Avendo già deciso di utilizzare un impianto di distribuzione a pannelli radianti a pavimento ed essendo economicamente sempre valida la scelta della caldaia a condensazione, non ci rimane altro da fare che calcolare la resa complessiva dell'impianto di riscaldamento (85%) e calcolare l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (E_{Pi}), che in questo caso è di 29 kWh/m²a, i quali certificano l'edificio in classe A (classificazione Cened della Regione Lombardia). Per la produzione dell'acqua calda utilizziamo la solita caldaia a gas a condensazione coadiuvata dai collettori solari termici di 3 m² per ogni unità immobiliare che produrranno il 52% di acqua calda sanitaria.



Figura 447 - Villa singola 3: quadro riassuntivo - archivio personale

13.7.11 La villa singola n.4 - standard Passivhaus

Come già visto per rientrare nello standard Passivhaus dobbiamo riuscire ad ottenere il più alto livello di comfort interno, riscaldando e raffrescando l'edificio con l'impianto di ventilazione forzata. Prendiamo quindi la Villa singola n.3 e cominciamo a ridurre il più possibile i ponti termici iniziando dalla giunzione dei solai con la parete inserendo nei primi due filari dei mattoni in Ytong. Sostituiamo i controtelai in legno coibentato con dei controtelai in purenite e sostituiamo i serramenti fino ad ora utilizzati con serramenti certificati Passivhaus. Fatto questo inseriamo le modifiche nel software e utilizzando i dati climatici di Vigevano aumentiamo gli spessori dell'isolante fino ad ottenere un fabbisogno di energia utile per il riscaldamento inferiore ai 15 kWh/m²a.

- Parete esterna **U = 0,151 W/m²K**

Strato 1	Intonaco esterno per cappotti	S = 0,5 cm	$\lambda = 0,700 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di vetro	S = 20 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 3	Mattone forato porizzato	S = 25 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 3	Pilastro in c.a. 25x20	S = 25 cm	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 4	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Parete verso garage **U = 0,149 W/m²K**

Strato 1	Intonaco esterno per cappotti	S = 0,5 cm	$\lambda = 0,700 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di vetro	S = 20 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 3	Mattone forato porizzato	S = 25 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 3	Pilastro in c.a. 25x20	S = 25 cm	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 4	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Tetto sistema **U = 0,138 W/m²K**

-----	Manto di copertura in coppi		
-----	Intercapedine ventilata	S = 6 cm	
-----	Guaina per la tenuta al vento		
Strato 1	Isolamento in lana di vetro	S = 24 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
-----	Barriera al vapore		
Strato 2	Doppia lastra di cartongesso	S = 3 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
-----	Travi a vista in legno lamellare		

- Solaio su cantina - locale impianti **U = 0,195 W/m²K:**

Strato 1	Pavimento in cotto o ceramica	S = 1,5 cm	$\lambda = 1,300 \text{ W/mK}$
----------	-------------------------------	------------	--------------------------------

Strato 2	Sottofondo alleggerito	S = 10 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 12 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 4	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
Strato 5	Intonaco di calce aerea	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$

- Solaio su vespaio areato $U = 0,201 \text{ W/m}^2\text{K}$:

Strato 1	Pavimento in cotto o ceramica	S = 1,5 cm	$\lambda = 1,300 \text{ W/mK}$
Strato 2	Sottofondo alleggerito	S = 10 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 12 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 4	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
-----	Vespaio areato		

Serramenti in legno con triplo vetro termoisolante:

$$U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{k} \quad U_f = 0,7 \text{ W/m}^2\text{k} \quad \psi_g = 0,05 \text{ W/mk} \quad G = 51 \%$$

Portoncini d'ingresso: $U_d = 0,8 \text{ W/m}^2\text{k}$

Apportando le suddette modifiche otteniamo un fabbisogno di energia utile per il riscaldamento di $14 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Per la produzione di calore utilizziamo un impianto di areazione forzata coadiuvato da una pompa di calore aria-aria integrati nella produzione di acqua calda sanitaria da collettori solari termici di $1,5 \text{ m}^2$. Calcolando infine la resa complessiva dell'impianto di riscaldamento (88 %) otteniamo l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (EPI) di questo edificio, ovvero $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, valore che ci permette di certificare l'edificio in classe A (classificazione Cened della Regione Lombardia).



Figura 448 - Villa singola 4: quadro riassuntivo - archivio personale

13.7.12 La villa singola n.5 - standard Minergie

Sapendo già (almeno in linea teorica) che la Villa singola n.3 rispetta tutti i requisiti richiesti per ottenere la certificazione Minergie, procediamo immediatamente con la verifica dell'indice energetico ponderato finale:

- 1) Dal fabbisogno di energia utile per il riscaldamento (21 kWh/m^2), l'efficienza della caldaia (95%) ed il fattore di ponderazione dei combustibili fossili (1) calcoliamo *l'energia finale ponderata per il riscaldamento* = $21 : 0,95 \times 1 = 22,1 \text{ kWh/m}^2$;
- 2) Sapendo che l'impianto di areazione a recupero di calore consuma $3,3 \text{ kWh/m}^2$, e che l'indice di ponderazione per l'elettricità è 2, calcoliamo *l'energia finale ponderata per l'impianto di areazione* = $3,3 \times 2 = 6,6 \text{ kWh/m}^2$;

3) Sommando 22,1 kWh/m² con 6,6 kWh/m² otteniamo *l'energia finale ponderata per il riscaldamento e l'areazione (*Eh)*;

4) Avendo un fabbisogno di 13,1 kWh/m² per la produzione di acqua calda (1.826 kWh : 139,48 m²), conoscendo l'efficienza della caldaia nello scaldare l'acqua (92%) ed il fattore di ponderazione dei combustibili fossili (1) calcoliamo *l'energia finale ponderata per l'acqua calda (*Eww)* = $13,1 : 0,92 \times 1 = 14,23 \text{ kWh/m}^2$;

5) Calcolo *l'indice energetico ponderato finale* = $*Eh + *Eww = 28,7 + 14,2 = 42,9 \text{ kWh/m}^2$.

Il valore ottenuto è però troppo alto, in quanto lo standard MINERGIE per le abitazioni prevede un indice energetico ponderato finale massimo di 38 kWh/m².

Proviamo allora a ridurre i consumi per l'acqua calda sanitaria aumentando la superficie dei collettori solari da 3 m² (52%) a 4 m² (69%) ed a ricalcolare l'energia finale ponderata per l'acqua calda.

1) Calcoliamo il nuovo fabbisogno energetico per l'acqua calda = $1.168 \text{ kWh} : 139,48 \text{ m}^2 = 8,4 \text{ kWh/m}^2$;

2) Calcoliamo l'energia finale ponderata per l'acqua calda $*Eww = 8,4 : 0,92 \times 1 = 9,13 \text{ kWh/m}^2$;

3) Calcoliamo *l'indice energetico ponderato finale* = $*Eh + *Eww = 28,7 + 9,13 = 37,8 \text{ kWh/m}^2$.

Il nostro edificio possiede adesso tutti i requisiti per ricevere la certificazione Minergie.



Figura 449 - Villa singola 5: fronte sud - archivio personale

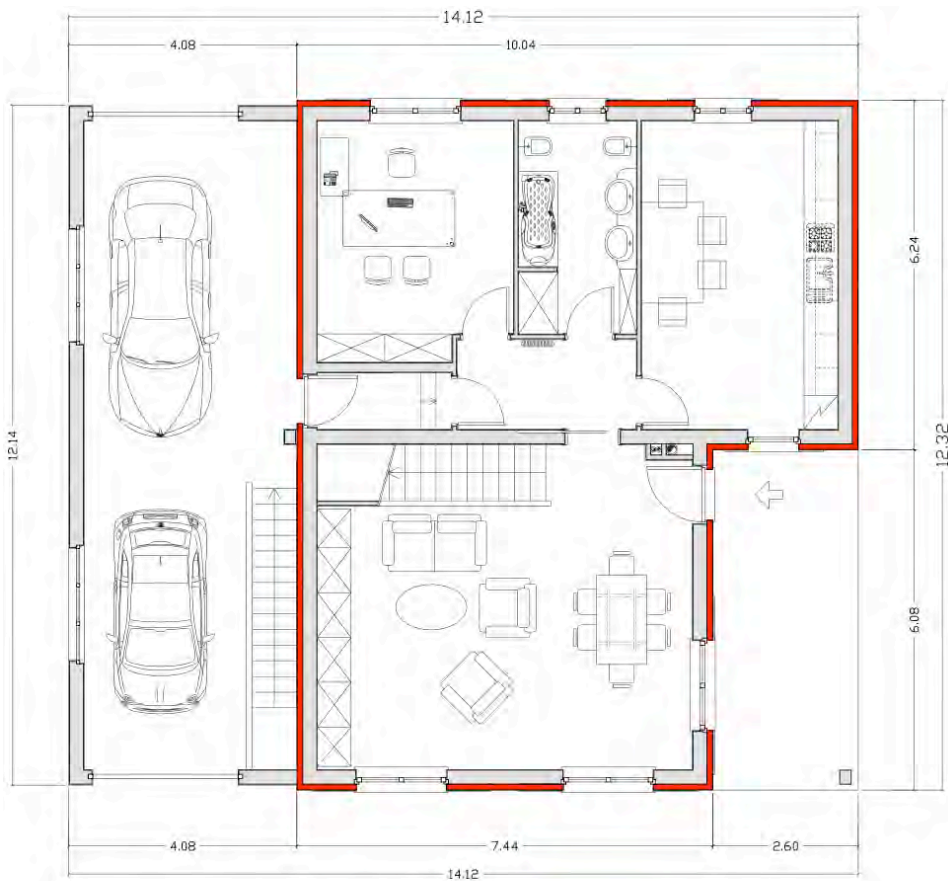


Figura 450 - Villa singola 5: quadro riassuntivo - archivio personale

13.7.13 Gli involucri delle ville singole a confronto

Come per gli edifici bifamiliari facciamo un riassunto grafico degli edifici appena realizzati per vedere quanto e come l'isolamento incide sul fabbisogno finale di energia utile per il riscaldamento. Anche qui includiamo nella nostra analisi l'impianto di areazione forzata con recupero di calore in quanto, come già detto, esso è fortemente legato alla progettazione ed alla riduzione delle perdite per ventilazione (e conseguentemente alla riduzione del fabbisogno di energia utile per il riscaldamento).

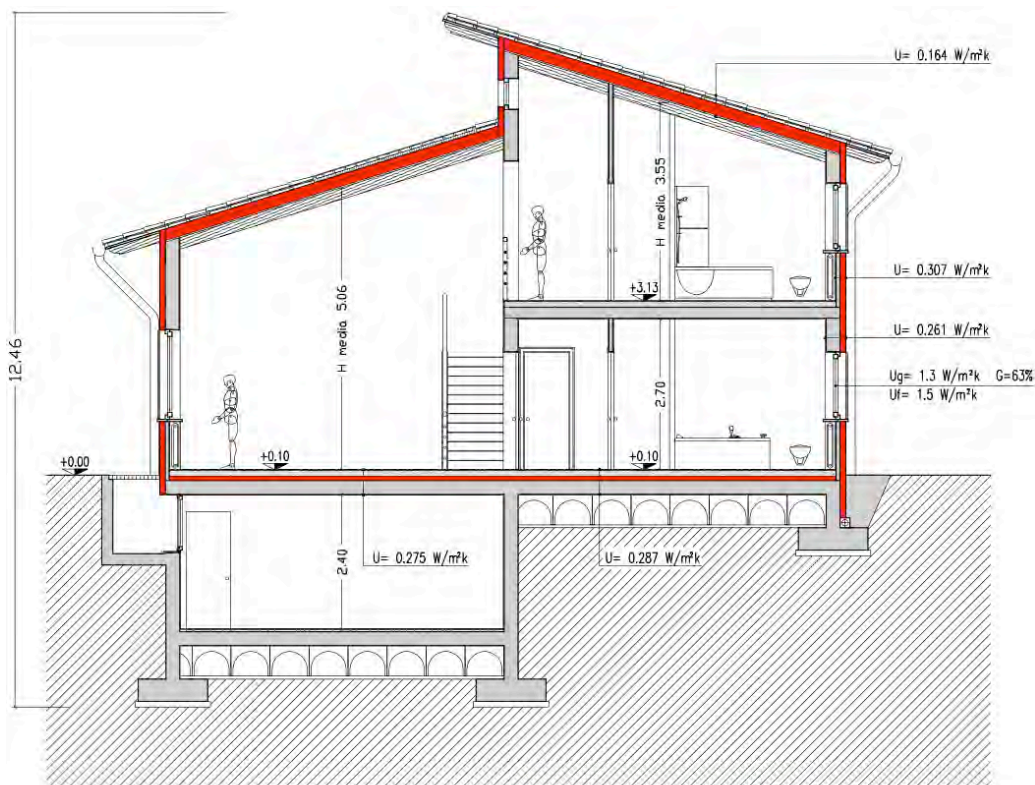
Come fatto prima nelle piante e nelle sezioni evidenzieremo in rosso lo spessore ed il posizionamento degli isolanti mentre nei grafici dei bilanci energetici riporteremo le dispersioni di calore di ogni componente dell'involucro (pareti, tetto, serramenti ecc).



PIANTA P.T.

SUP. NETTA RISCALDATA: 139,48 mq
 SUP. LORDA INVOLUCRO TERMICO: 169,40 mq

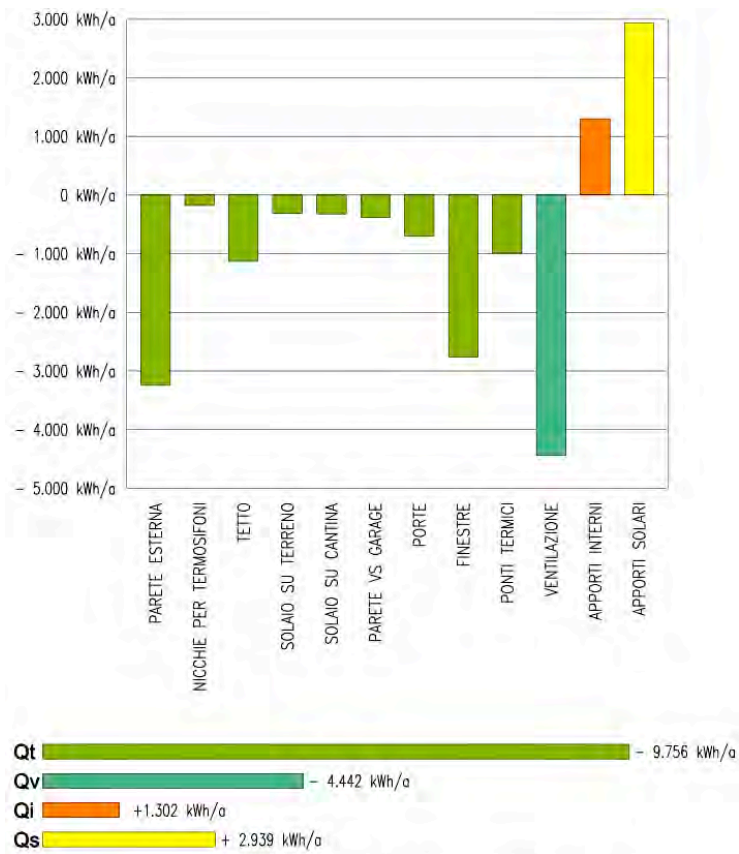
Figura 451 - Villa singola 1: pianta P.T. - archivio personale



SEZIONE A-A

VOL. NETTO RISCALDATO: 504,80 mc
 VOL. LORDO INVOLUCRO TERMICO: 705,60 mc
 PERMEABILITA' ALL'ARIA DELL'INVOLUCRO EDILIZIO: MEDIO-BASSA (n50: 3/h)

Figura 452 - Villa singola 1: involucro termico sezione A-A. - archivio personale



FABBISOGNO ENERGETICO: 70 kWh/m²a

Figura 453 - Villa singola 1: grafico del fabbisogno energetico - archivio personale

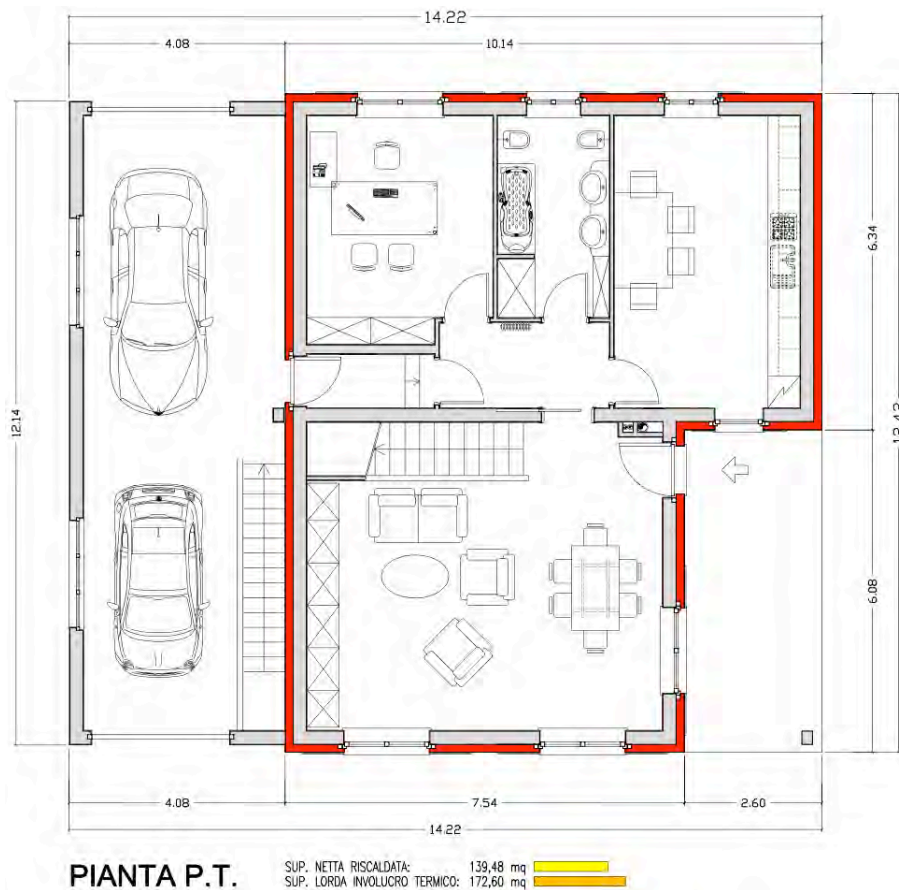
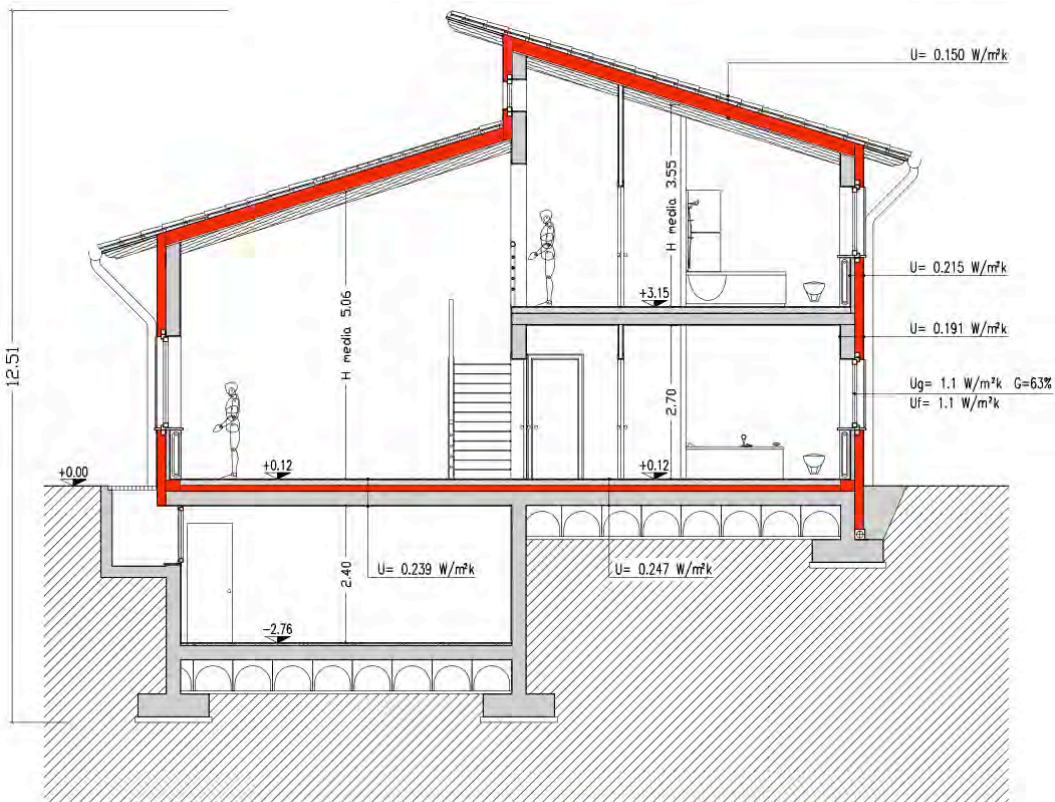


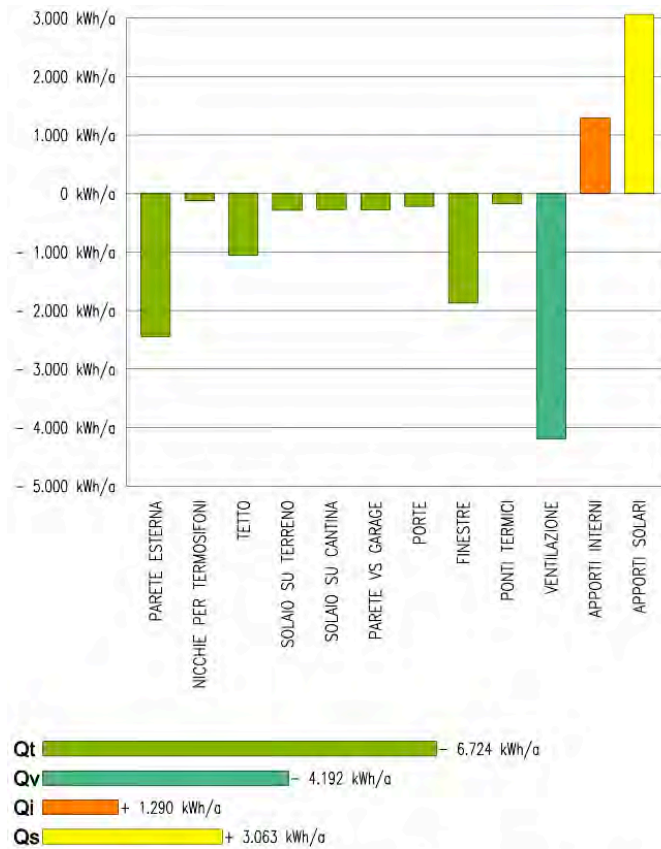
Figura 454 - Villa singola 2: pianta P.T. - archivio personale



SEZIONE A-A

VOL. NETTO RISCALDATO: 504,80 mc
 VOL. LORDO INVOLUCRO TERMICO: 727,80 mc
 PERMEABILITA' ALL'ARIA DELL'INVOLUCRO EDILIZIO: MEDIA (n50: 2/h)

Figura 455 - Villa singola 2: involucro termico sezione A-A. - archivio personale



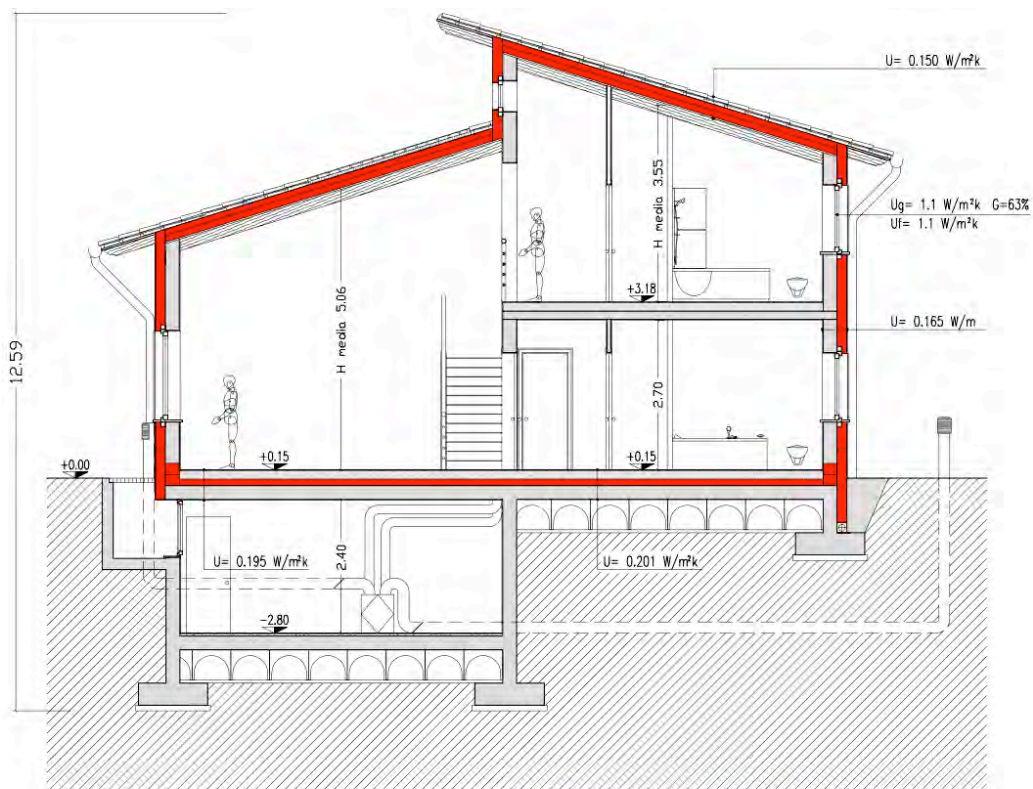
FABBISOGNO ENERGETICO: 47 kWh/m²a

Figura 456 - Villa singola 2: grafico del fabbisogno energetico - archivio personale



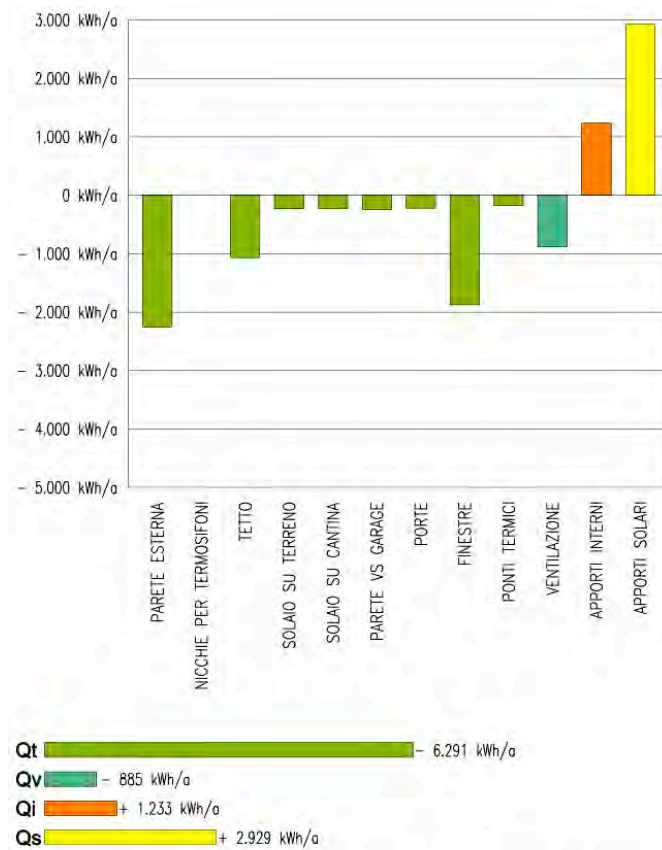
PIANTA P.T. SUP. NETTA RISCALDATA: 139,48 mq
 SUP. LORDA INVOLUCRO TERMICO: 173,00 mq

Figura 457 - Ville singole 3 e 5: pianta P.T. - archivio personale



SEZIONE A-A VOL. NETTO RISCALDATO: 504,80 mc
 VOL. LORDO INVOLUCRO TERMICO: 734,30 mc
 PERMEABILITA' ALL'ARIA DELL'INVOLUCRO EDILIZIO: MOLTO ELEVATA (n50: 1/h)

Figura 458 - Ville singole 3 e 5: involucro termico sezione A-A. - archivio personale



FABBISOGNO ENERGETICO: 21 kWh/m²a

Figura 459 - Ville singole 3 e 5: grafico del fabbisogno energetico - archivio personale

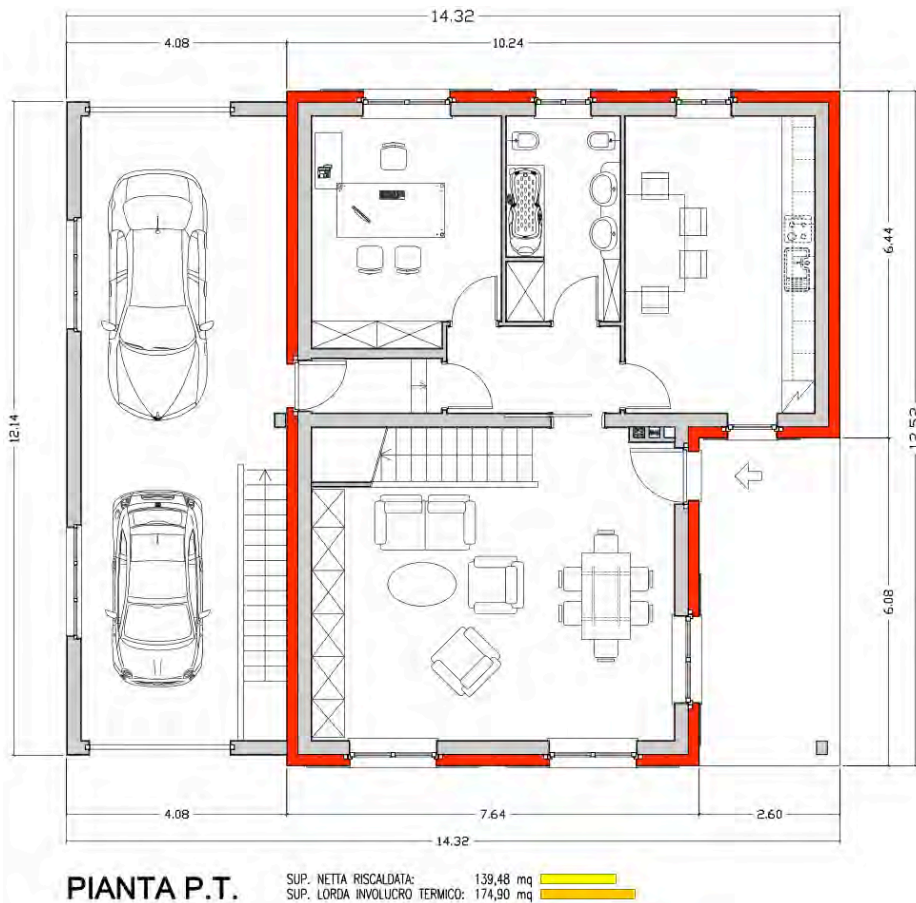


Figura 460 - Villa singola 4: pianta P.T. - archivio personale

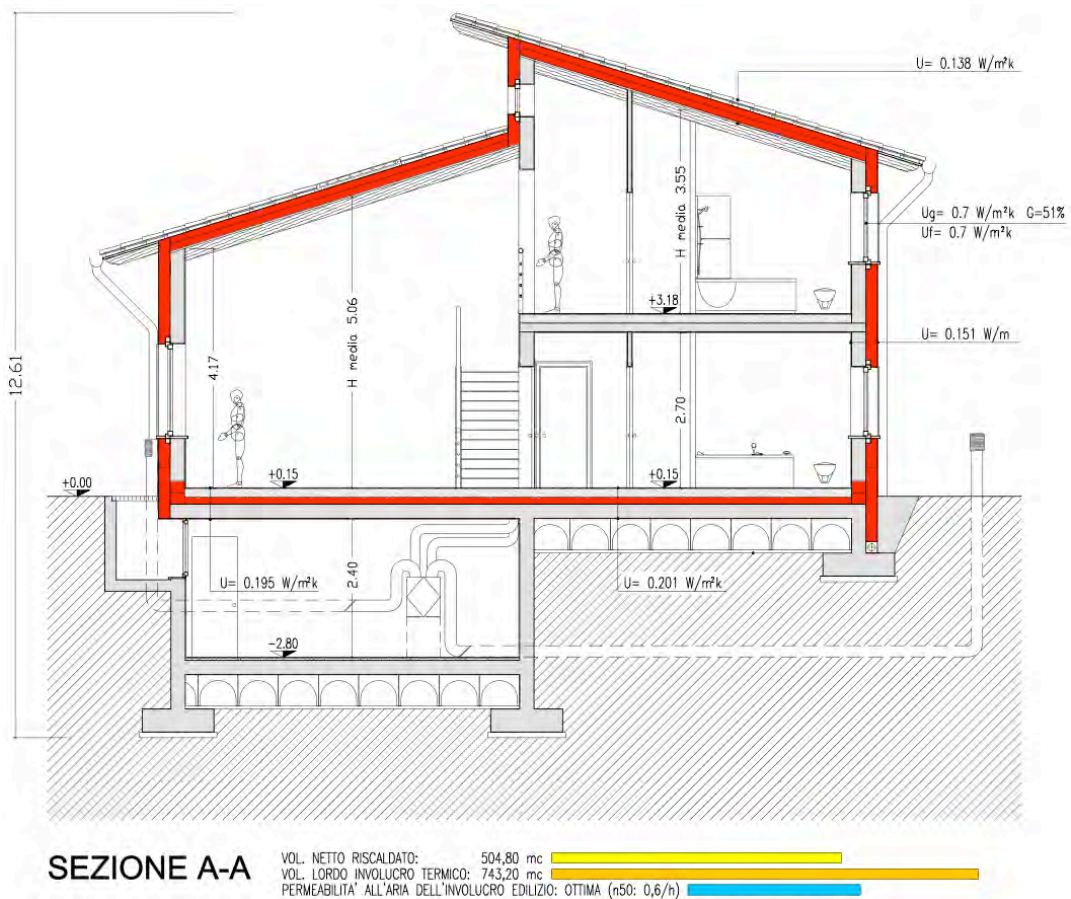
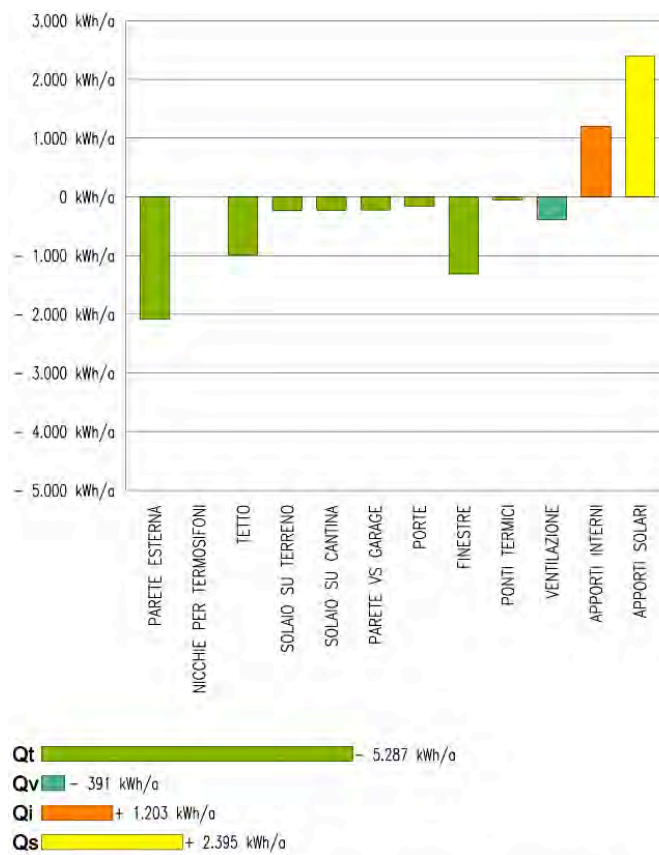


Figura 461 - Villa singola 4: involucro termico sezione A-A. - archivio personale



FABBISOGNO ENERGETICO: 14 kWh/m²a

Figura 462 - Villa singola 4: grafico del fabbisogno energetico - archivio personale

13.8 La palazzina a destinazione mista

Per concludere la progettazione degli edifici all'interno della nostra lottizzazione, non ci rimane che progettare la nostra palazzina a destinazione mista (residenziale e terziaria). Avendo una destinazione sia terziaria che residenziale dobbiamo fare una doppia verifica. Nelle residenze dobbiamo verificare l'Epi in kWh/m²a (tabella 31 pag. 297) e negli uffici in kWh/m³a (tabella 32 pag. 297). In parole povere, nelle residenze si calcola il consumo sulla superficie pavimentata dell'appartamento mentre negli uffici e nei negozi si calcola il consumo in base al volume d'aria da scaldare. Avendo realizzato fino ad ora un edificio per ogni standard energetico, proviamo adesso a realizzarne uno che li rispetti tutti. Puntando quindi alla massima efficienza energetica decidiamo di privilegiare la destinazione terziaria alla commerciale, in quanto le porte spesso sempre aperte dei negozi mal si abbinano ad un impianto di ventilazione forzata con recupero di calore.

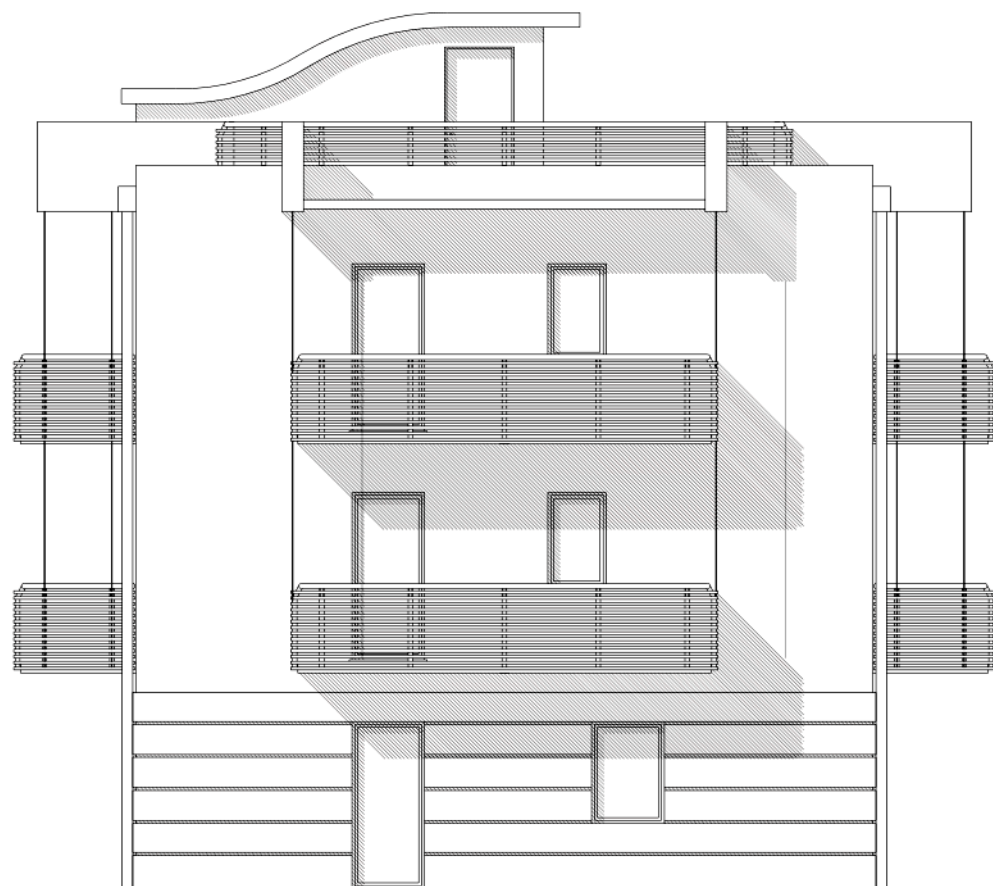


Figura 463 - Palazzina: fronti est ed ovest - archivio personale

Come tecnologia costruttiva decidiamo di realizzare la palazzina “a secco”, ovvero con una intelaiatura portante in travi d'acciaio e con le pareti di tamponamento del tipo a “sandwich” (vedi villa Canellini pag. 278). Per i box interrati e le cantine utilizziamo invece la tecnologia tradizionale.



Figura 464 - Palazzina: *fronte sud* - archivio personale



Figura 465 - Palazzina: *fronte nord* - archivio personale

Avendo a disposizione solamente 3 piani, inseriamo al piano terra uno studio dentistico ed un studio legale, mentre ai piani superiori realizziamo quattro appartamenti (due per piano). Avendo la scala comune nella mezzeria dell'edificio, decidiamo di dividere l'impianto in due,

uno per il lato destro ed uno per il lato sinistro (la procedura di calcolo è sempre la stessa, si calcola la potenza richiesta all'impianto e si divide in due).

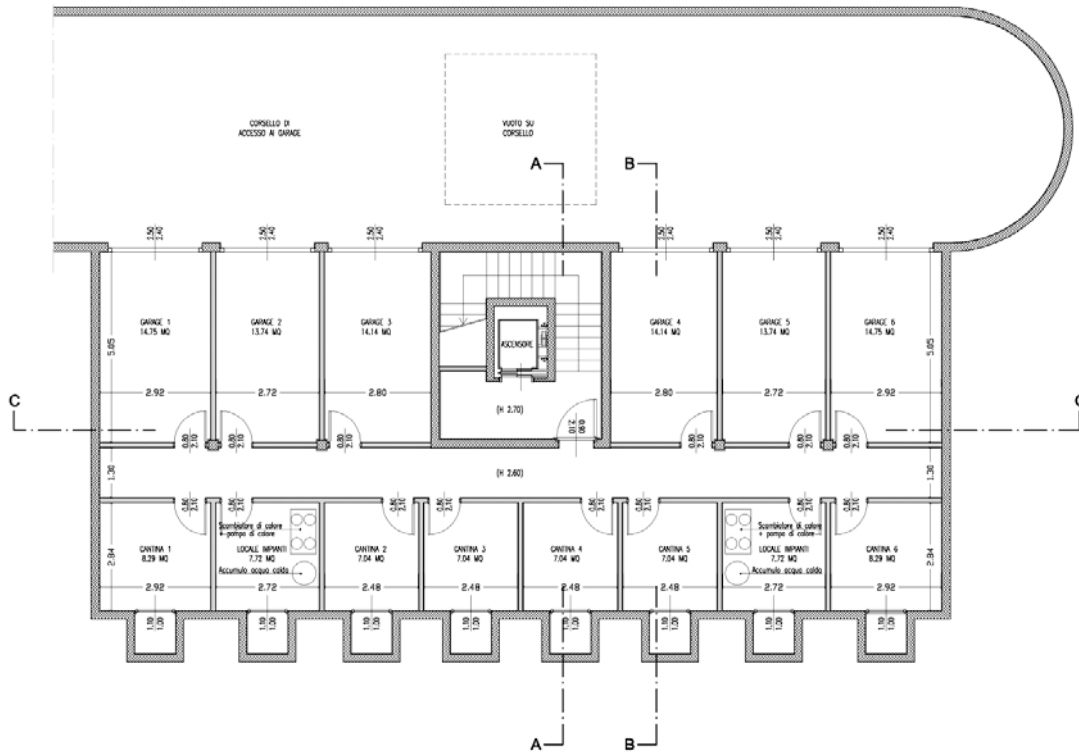


Figura 466 - Palazzina: pianta interrato - archivio personale

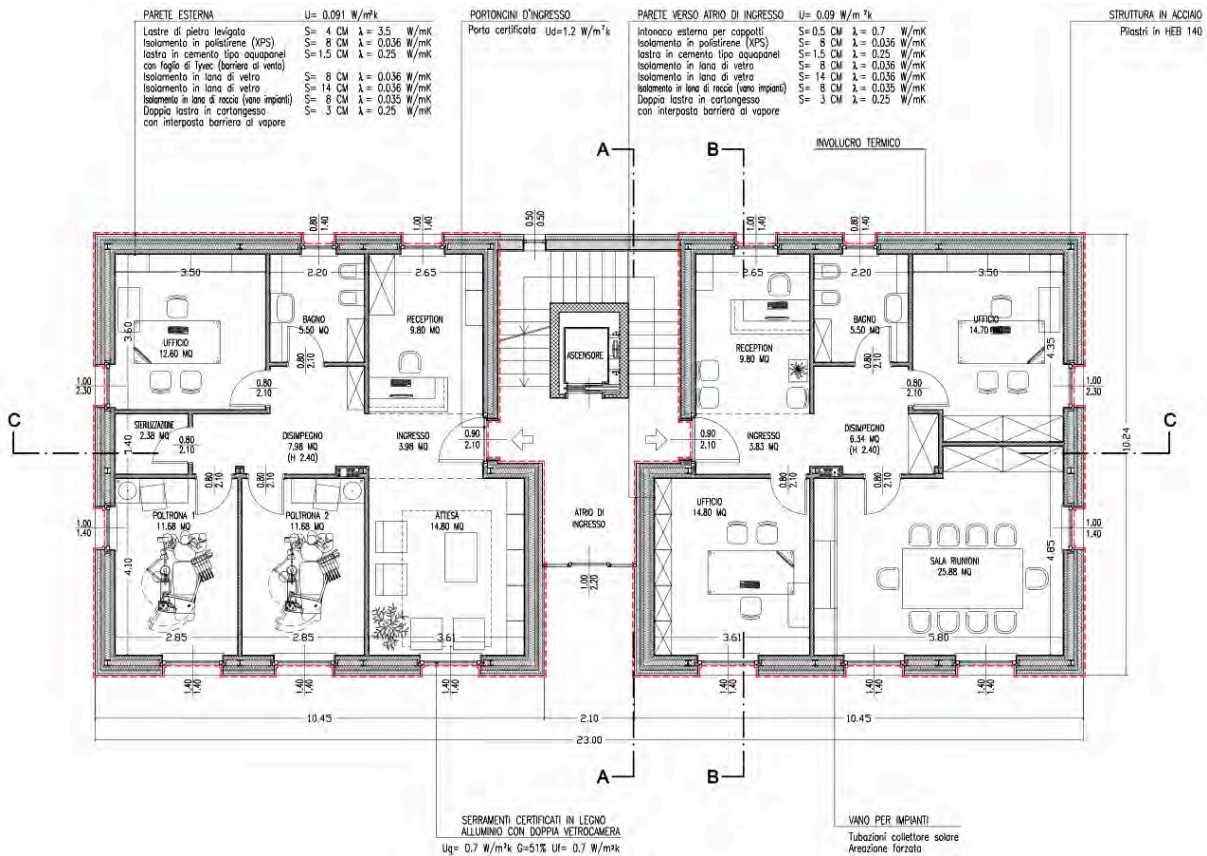


Figura 467 - Palazzina: pianta P.T. - archivio personale

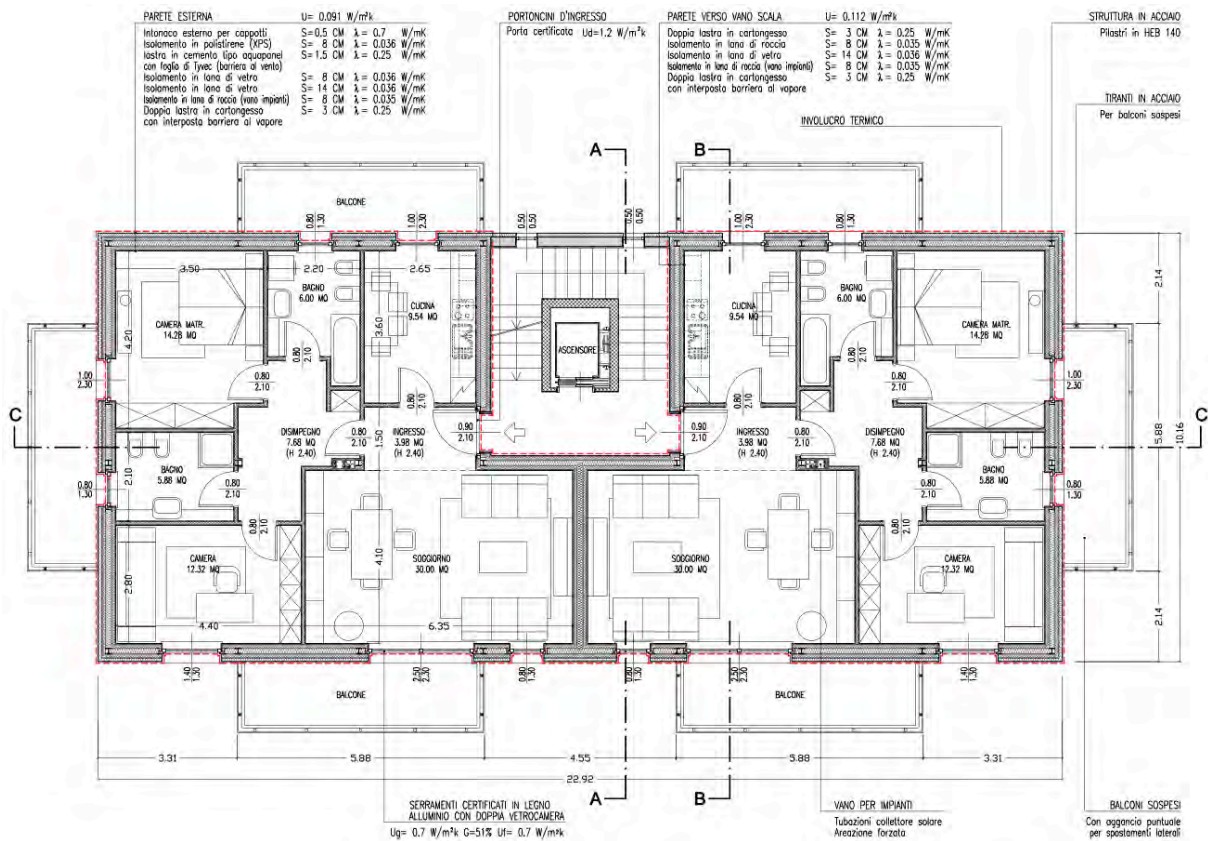


Figura 468 - Palazzina: pianta P.1 e P.2 - archivio personale

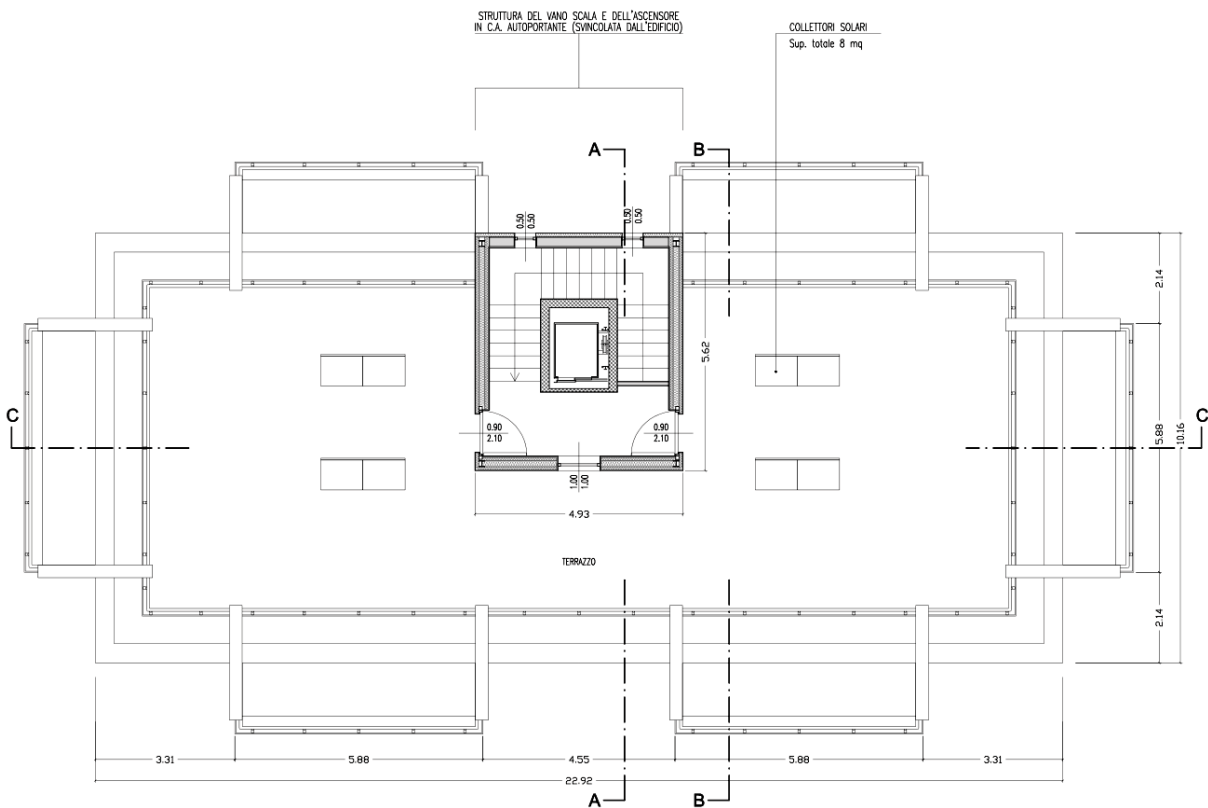


Figura 469 - Palazzina: pianta terrazzo- archivio personale

Per eliminare i ponti termici realizziamo la scala in c.a. autoportante, in modo da tenerla separata dalla struttura della palazzina e appendiamo i balconi, tramite tiranti, a delle travi in

acciaio ancorate al solaio di copertura. Per oscurare e proteggere i serramenti optiamo per delle veneziane esterne inserite in cassonetti esterni di polistirene integrati nell'isolamento a cappotto che riveste l'edificio.

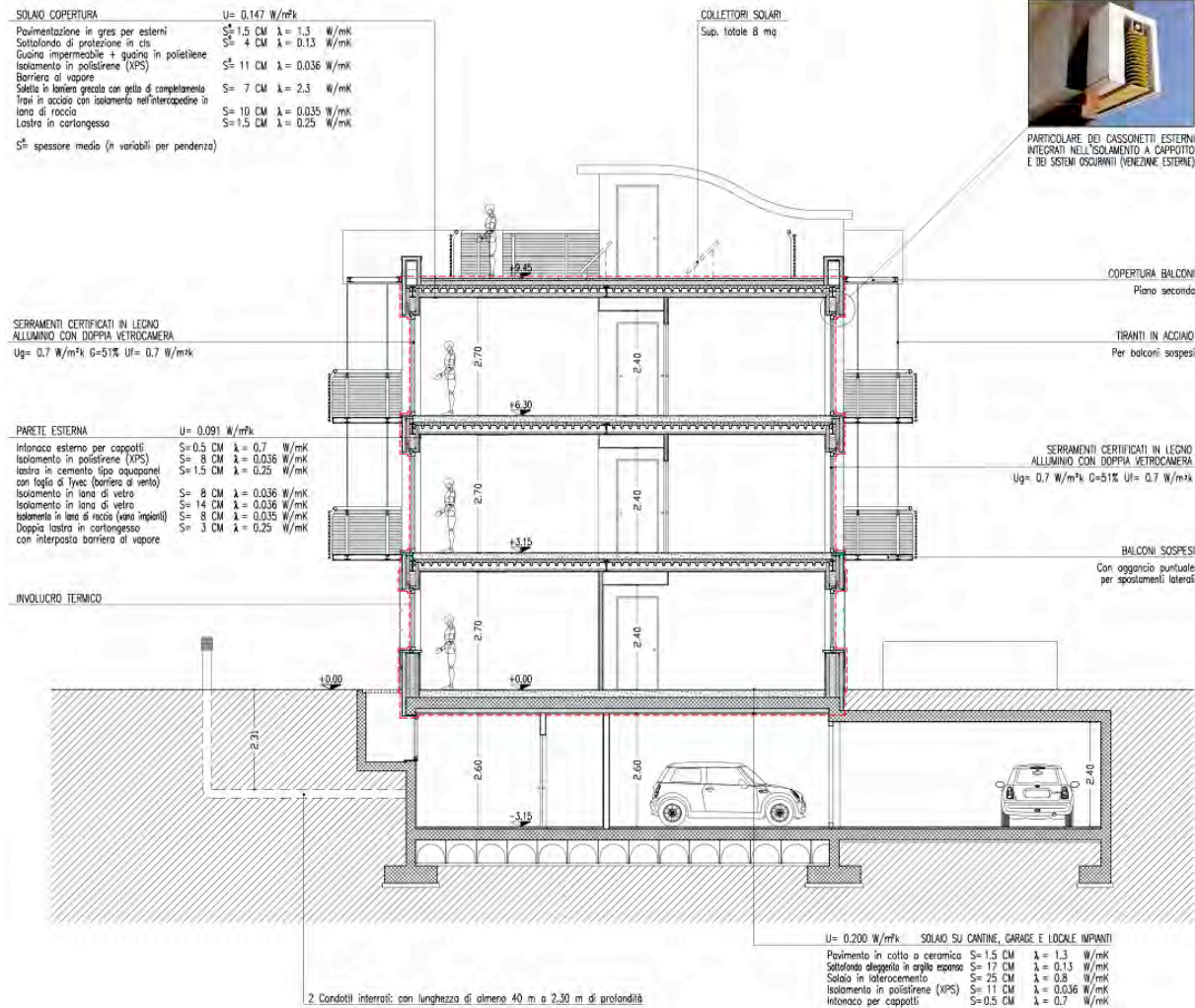


Figura 470 - Palazzina: sezione B-B- archivio personale

Per la produzione e la distribuzione del calore, avendo precedentemente deciso di realizzare la palazzina in tutti gli standard, utilizziamo due impianti di areazione forzata con recupero di calore coadiuvati da due pompe di calore aria-aria. Gli stessi due impianti li utilizzeremo per la produzione dell'acqua calda sanitaria, insieme ai collettori solari termici. Predisponiamo quindi l'edificio per ospitare gli impianti e le canalizzazioni necessarie. Come al solito, optiamo per la massima efficienza, quindi utilizzeremo le bocchette a pavimento per l'immissione dell'aria e le bocchette a soffitto per l'espulsione dell'aria viziata. Iniziamo

quindi ad inserire nel software i dati geometrici (superfici, volumi ecc) e la località per calcolare gli Epi limite del commerciale (19 kWh/m³a) e del residenziale (83 kWh/m²a).

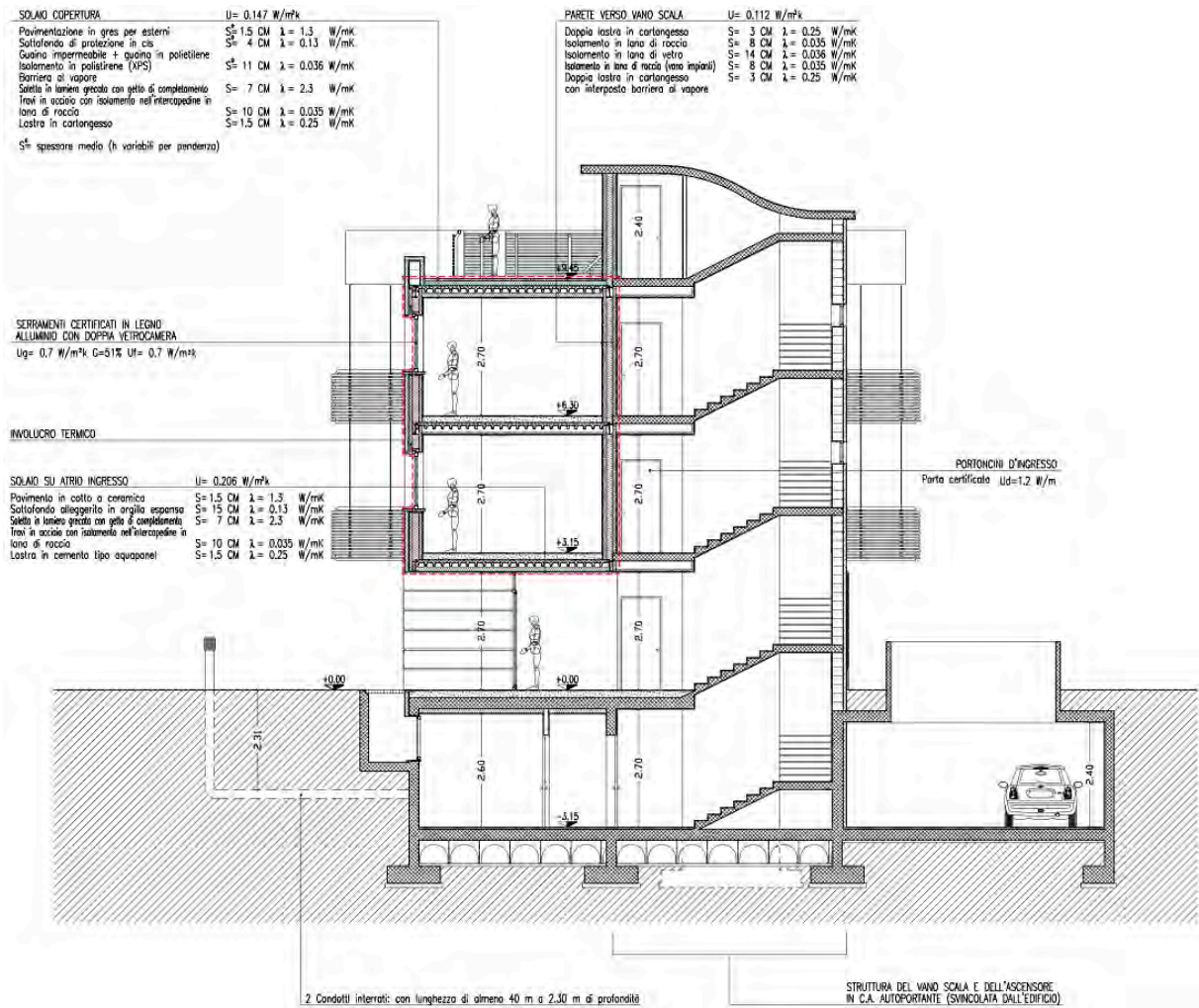


Figura 471 - Palazzina: sezione A-A- archivio personale

Procediamo inserendo le pareti e le altre parti dell'involucro termico:

- Parete esterna			U = 0,091 W/m ² K
Strato 1	Intonaco esterno per cappotti	S = 0,5 cm	λ = 0,700 W/mK
Strato 2	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 8 cm	λ = 0,036 W/mK
Strato 3	Lastra in cemento tipo aquapanel	S = 1,5 cm	λ = 0,250 W/mK
-----	Foglio di Tyvec (barriera al vento)		
Strato 4	Isolamento in lana di vetro	S = 8 cm	λ = 0,036 W/mK
Strato 5	Isolamento in lana di vetro	S = 14 cm	λ = 0,036 W/mK
Strato 5	Pilastri HEB 140	S = 14 cm	λ = 50,00 W/mK

Strato 6	Isolamento in lana di roccia	S = 8 cm	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
-----	Barriera al vapore		
Strato 7	Doppia lastra di cartongesso	S = 3 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$

- Parete verso vano scala $U = 0,112 \text{ W/m}^2\text{K}$

Strato 1	Doppia lastra di cartongesso	S = 3 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di roccia	S = 8 cm	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento in lana di vetro	S = 14 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 3	Pilastrini HEB 140	S = 14 cm	$\lambda = 50,00 \text{ W/mK}$
Strato 4	Isolamento in lana di roccia	S = 8 cm	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
Strato 5	Intonaco esterno per cappotti	S = 0,5 cm	$\lambda = 0,700 \text{ W/mK}$
-----	Barriera al vapore		
Strato 6	Doppia lastra di cartongesso	S = 3 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$

- Parete verso vano di ingresso $U = 0,090 \text{ W/m}^2\text{K}$

Strato 1	Intonaco esterno per cappotti	S = 0,5 cm	$\lambda = 0,700 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 8 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 3	Lastra in cemento tipo aquapanel	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 4	Isolamento in lana di vetro	S = 8 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 5	Isolamento in lana di vetro	S = 14 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 5	Pilastrini HEB 140	S = 14 cm	$\lambda = 50,00 \text{ W/mK}$
Strato 6	Isolamento in lana di roccia	S = 8 cm	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
-----	Barriera al vapore		
Strato 7	Doppia lastra di cartongesso	S = 3 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$

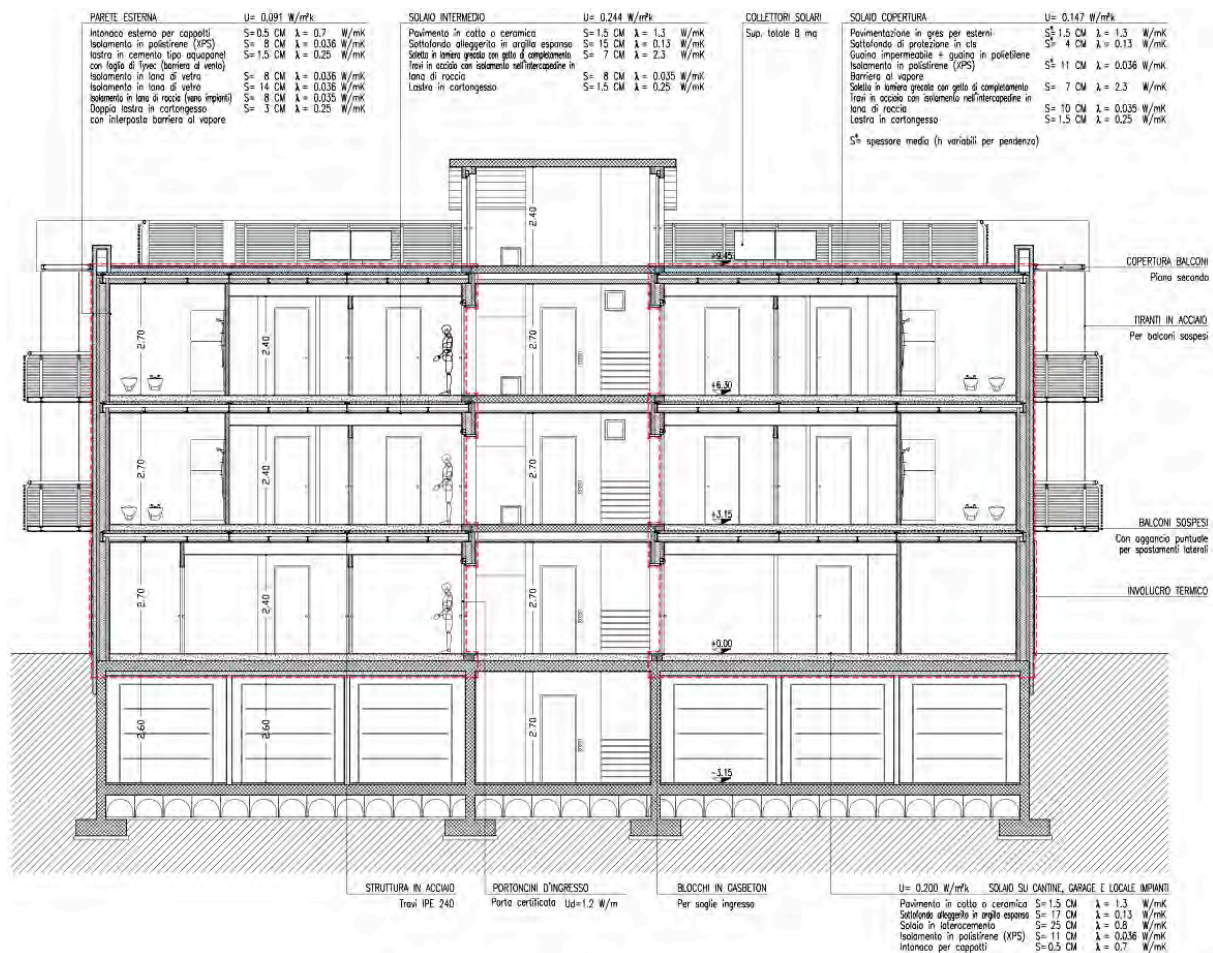


Figura 472 - Palazzina: sezione C-C- archivio personale

- Parete divisoria $U = 0,112 \text{ W/m}^2\text{K}$

Strato 1	Doppia lastra di cartongesso	$S = 3 \text{ cm}$	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$
Strato 2	Isolamento in lana di roccia	$S = 8 \text{ cm}$	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
Strato 3	Isolamento in lana di vetro	$S = 14 \text{ cm}$	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 3	Pilastri HEB 140	$S = 14 \text{ cm}$	$\lambda = 50,00 \text{ W/mK}$
Strato 4	Isolamento in lana di roccia	$S = 8 \text{ cm}$	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
Strato 5	Doppia lastra di cartongesso	$S = 3 \text{ cm}$	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$

- Solaio intermedio $U = 0,244 \text{ W/m}^2\text{K}$

Strato 1	Pavimento in cotto o ceramica	$S = 1,5 \text{ cm}$	$\lambda = 1,300 \text{ W/mK}$
Strato 2	Sottofondo alleggerito	$S = 15 \text{ cm}$	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
Strato 3	Soletta in lamiera con getto in c.a.	$S = 7 \text{ cm}$	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$

Strato 4	Isolamento in lana di roccia	S = 8 cm	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
Strato 4	Travi in acciaio	S = 8 cm	$\lambda = 50,00 \text{ W/mK}$
Strato 5	Lastra di cartongesso	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$

- Solaio di copertura $U = 0,147 \text{ W/m}^2\text{K}$:

Strato 1	Pavimento in gres per esterni	S = 1,5 cm	$\lambda = 1,300 \text{ W/mK}$
Strato 2	Sottofondo in cls	S = 4 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
-----	Guaina impermeabile + guaina in polietilene		
Strato 3	Isolamento in polistirene (XPS)	$S_{\text{medio}} = 11 \text{ cm}$	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 4	Soletta in lamiera con getto in c.a.	S = 7 cm	$\lambda = 2,300 \text{ W/mK}$
Strato 5	Isolamento in lana di roccia	S = 8 cm	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
Strato 5	Travi in acciaio	S = 8 cm	$\lambda = 50,00 \text{ W/mK}$
-----	Barriera al vapore		
Strato 5	Lastra di cartongesso	S = 1,5 cm	$\lambda = 0,250 \text{ W/mK}$

- Solaio su cantina - locale impianti $U = 0,200 \text{ W/m}^2\text{K}$:

Strato 1	Pavimento in cotto o ceramica	S = 1,5 cm	$\lambda = 1,300 \text{ W/mK}$
Strato 2	Sottofondo alleggerito	S = 17 cm	$\lambda = 0,130 \text{ W/mK}$
Strato 3	Solaio in laterocemento	S = 25 cm	$\lambda = 0,800 \text{ W/mK}$
Strato 4	Isolamento in polistirene (XPS)	S = 11 cm	$\lambda = 0,036 \text{ W/mK}$
Strato 5	Intonaco per cappotti	S = 0,5 cm	$\lambda = 0,700 \text{ W/mK}$

Serramenti in legno con triplo vetro termoisolante:

$$U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{k} \quad U_f = 0,7 \text{ W/m}^2\text{k} \quad \psi_g = 0,05 \text{ W/mk} \quad G = 51 \%$$

Portoncini d'ingresso: $U_d = 1,2 \text{ W/m}^2\text{k}$

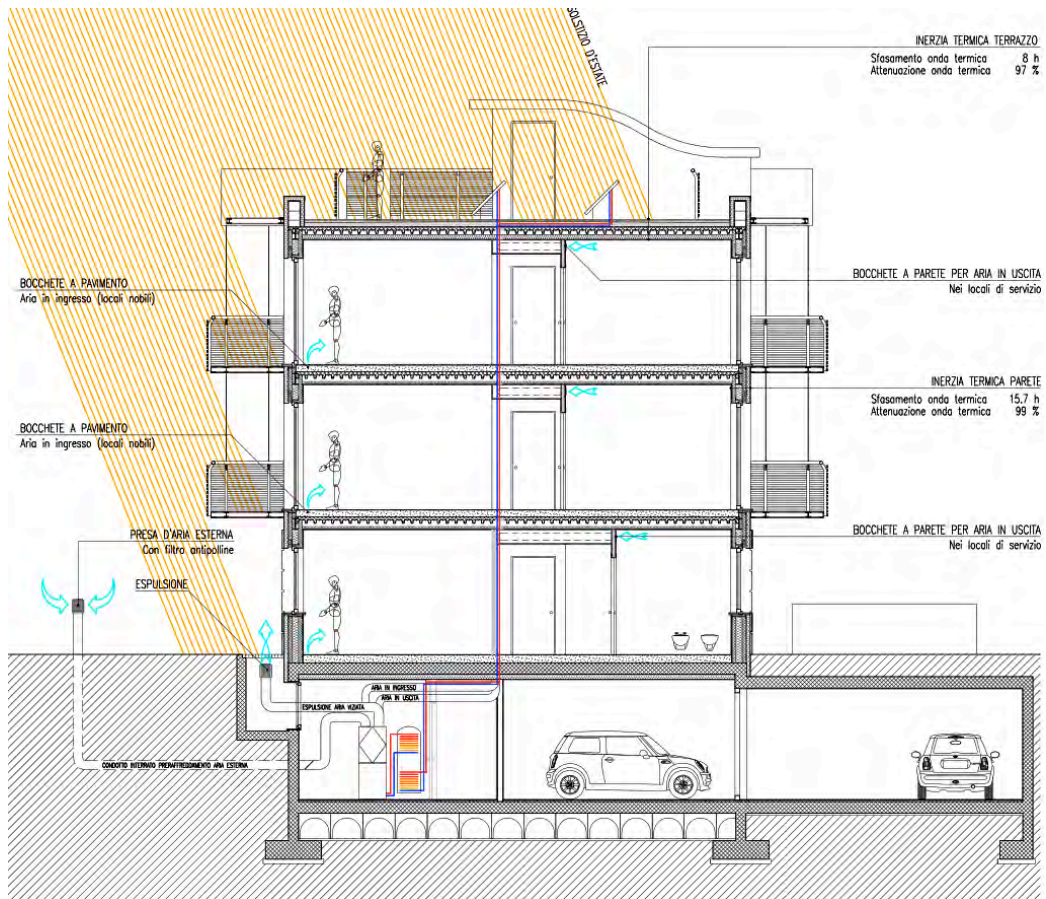


Figura 473 - Palazzina: Bilancio energetico estivo - archivio personale- archivio personale

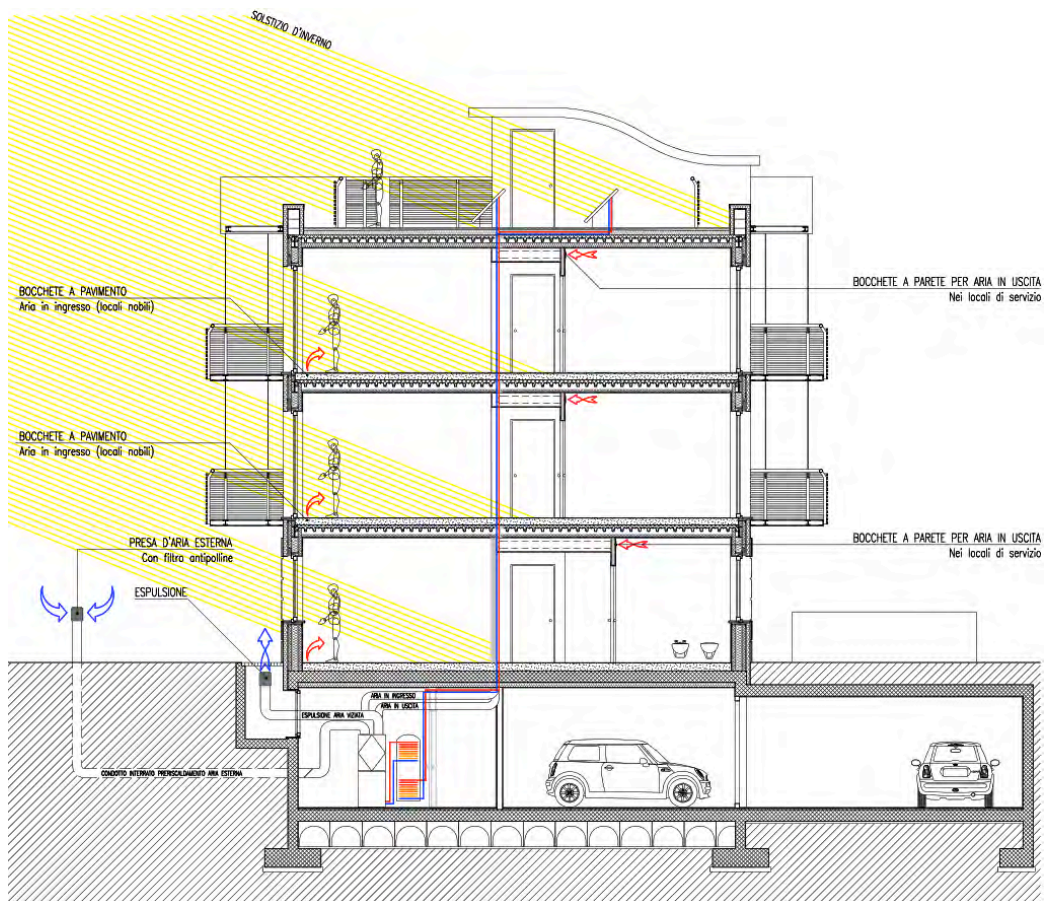


Figura 474 - Palazzina: Bilancio energetico invernale - archivio personale- archivio personale

... e ricaviamo il fabbisogno di energia utile per il riscaldamento, che nel nostro caso è di 4 kWh/m²a. Inseriamo adesso la resa complessiva dell'impianto di riscaldamento (88%) per ottenere gli indici di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (1,7 kWh/m³a per lo studio legale e dentistico e 7 kWh/m²a per gli appartamenti).



Figura 475 - Palazzina: quadro riassuntivo - archivio personale

Concluso l'ultimo edificio non ci rimane altro da fare che inserirli tutti nell'area di progetto e dare uno sguardo d'insieme a quanto realizzato.

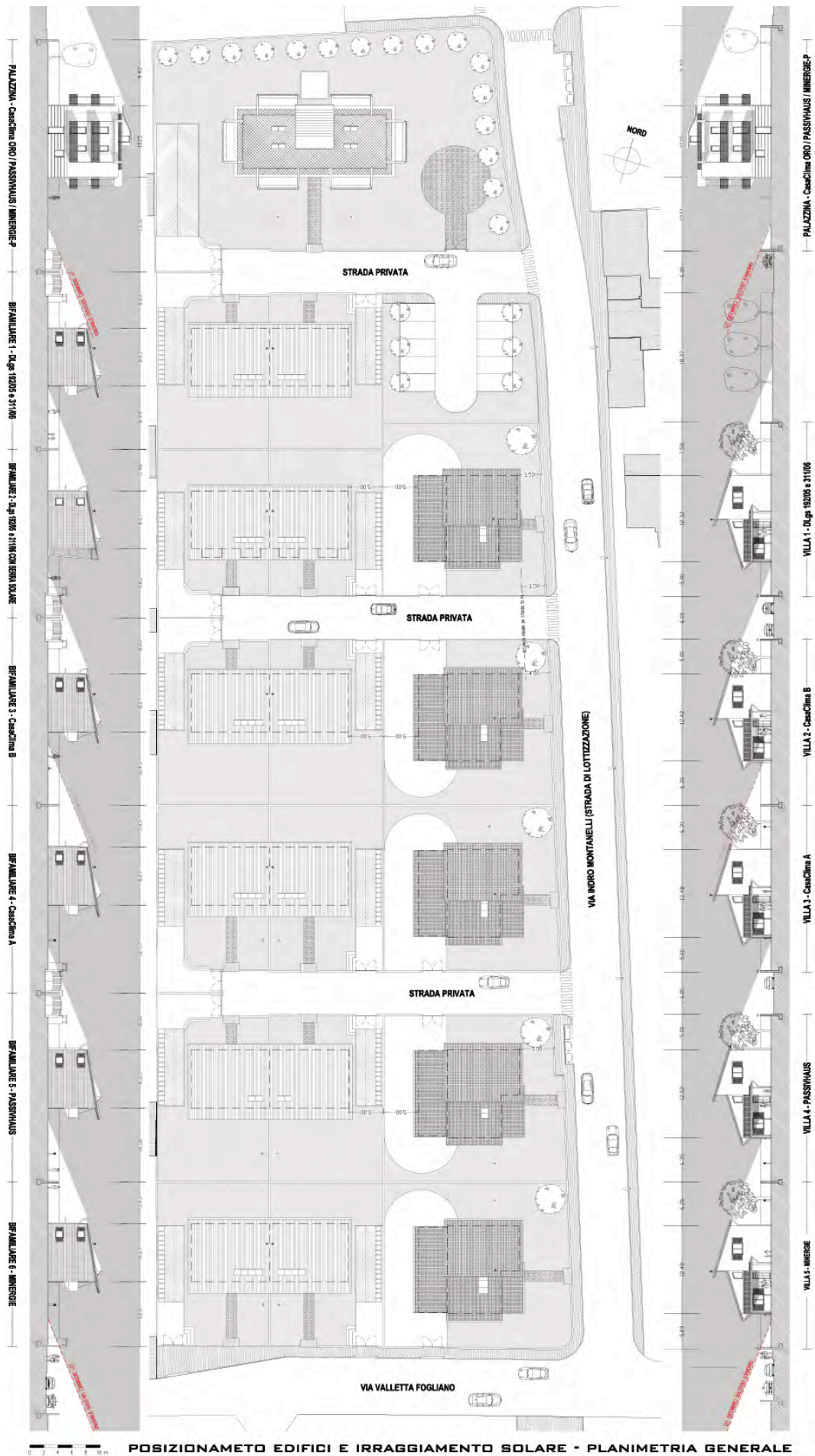


Figura 476 - Vista generale dell'area di progetto - archivio personale

ANALISI DEGLI EDIFICI PROGETTATI E CONCLUSIONI

14.1 Il calcolo della S.U.L e dei bonus volumetrici

Nel capitolo precedente (pag. 286) abbiamo visto che la legge della Regione Lombardia n. 33 del 2007 elimina dal calcolo della superficie utile: "I muri perimetrali portanti e di tamponamento, nonché i solai che costituiscono involucro esterno di nuove costruzioni (con riferimento alla sola parte eccedente i 30 centimetri e fino ad un massimo di ulteriori 25 centimetri per gli elementi verticali e di copertura e di 15 centimetri per quelli orizzontali intermedi) ... che riducano di almeno il 10% l'indice di prestazione energetica dell'edificio stesso". La legge della Regione Lombardia n. 39 del 2004 elimina invece: "Le serre bioclimatiche e le logge addossate o integrate all'edificio ... che dimostrino, attraverso i necessari calcoli energetici, la loro funzione di riduzione dei consumi di combustibile fossile per riscaldamento invernale, attraverso lo sfruttamento passivo e attivo dell'energia solare o la funzione di spazio intermedio". Vediamo quindi che possiamo da subito eliminare dal calcolo della superficie utile lorda le serre bioclimatiche della bifamiliare n.2. Per gli altri edifici dobbiamo invece calcolare lo spessore dei muri ed eliminare la parte eccedente i 30 cm se l'EPi dell'edificio è inferiore di almeno il 10% rispetto all'EPi limite. Sapendo che l'EPi limite delle bifamiliari è di 78 kWh/m²a, che l'EPi limite della palazzina è di 83 kWh/m²a e che l'EPi limite delle ville singole è di 85 kWh/m²a calcoliamo i valori EPi ridotti del 10% che sono:

- Bifamiliari = $78/100 \times 90 = 70,2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

- Palazzina = $83/100 \times 90 = 74,7 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

- Ville singole = $85/100 \times 90 = 76,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

Confrontando questi valori con l'EPi dei nostri edifici notiamo come solo la bifamiliare e la villa singola n.1 non hanno i requisiti richiesti dalla legge della Regione Lombardia n. 33 del 2007.

- c) 22,4 m² di extra isolamento per la bifamiliare CasaClima A;
- d) 27,3 m² di extra isolamento per la bifamiliare Passivhaus;
- e) 22,4 m² di extra isolamento per la bifamiliare Minergie;
- f) 7,8 m² di extra isolamento per la villa singola CasaClima B;
- g) 9,8 m² di extra isolamento per la villa singola CasaClima A;
- h) 11,1 m² di extra isolamento per la villa singola Passivhaus;
- i) 9,8 m² di extra isolamento per la villa singola Minergie;
- j) 24,3 m² di extra isolamento per la palazzina CasaClima Oro, Minergie-p e Passivhaus;

Per un totale di 170,10 m² di superficie di extra isolamento delle pareti e 26,4 m² di superficie per la realizzazione delle serre bioclimatiche. In pratica abbiamo abbastanza S.U.L per realizzare un altro edificio. Se poi decidessimo di utilizzare anche il bonus del 5% di S.U.L per gli interventi MBE (vedi Art. 7.04 delle Norme Tecniche di Attuazione a pag. 289) potremmo incrementare la nostra superficie utile lorda di altri $(3.819,96 \text{ m}^2 : 100 \times 5 =) 191 \text{ m}^2$. Dall'analisi delle superfici possiamo quindi concludere che abbiamo più interesse, come imprenditori o costruttori diretti, a realizzare edifici energeticamente più parsimoniosi che non a rimanere ai limiti imposti dalla normativa e che tutti gli edifici realizzati negli standard CasaClima, Minergie e Passivhaus godono appieno degli incentivi nazionali per la diffusione degli edifici energeticamente efficienti.

14.2 Il calcolo degli extra costi

Cerchiamo adesso di dare risposta al quesito che tutti si pongono quando devono realizzare un edificio a risparmio energetico, ovvero: “Quanto mi costa in più rispetto ad una casa normale?” ed “In quanto tempo ammortizzo l'eventuale investimento?”

Per farlo, avendo volutamente realizzato una struttura di base identica, analizziamo gli elementi che li differenziano, ovvero gli impianti, i serramenti e l'isolamento.

Il calcolo degli extra costi della villa singola n.1

Partiamo dalla villa singola n.1. Questo edificio è stato realizzato con due porte, una d'ingresso e una verso il garage, con una trasmittanza $U_d = 3,5 \text{ W/m}^2\text{k}$, tipica delle normali porte di ingresso reperibili sul mercato a € 1.800. I serramenti hanno invece le seguenti caratteristiche: $U_g = 1,3 \text{ W/m}^2\text{k}$; $U_f = 1,5 \text{ W/m}^2\text{k}$; $\psi_g = 0,12 \text{ W/mk}$; $G = 63\%$, e sono facilmente identificabili con finestre dal telaio in legno, doppio vetro termoisolante (4 - 14 - 4) e distanziatore in alluminio. Reperibili sul mercato di Vigevano ad € 350/m².

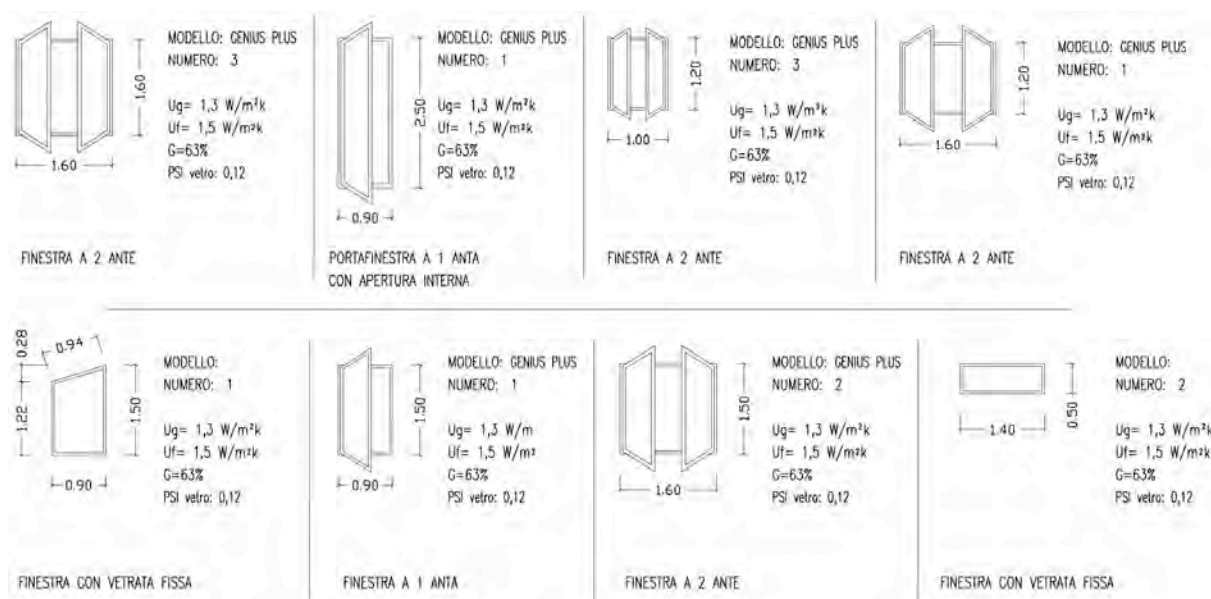


Figura 478 - Abaco serramenti della villa singola n.1 - archivio personale

Calcoliamo quindi il costo delle finestre in ($24,224 \text{ m}^2 \times 350,00 \text{ €} =$) 8.478,40 €.

Per l'isolamento abbiamo utilizzato isolante in lana di vetro, prendiamo quindi il prezzario della ditta Isover e vediamo che per le pareti il materiale più idoneo è il pannello Capp8 con un costo di: 6,45 € per ogni pannello da 0,6 x 1,2 metri con spessore da 4 cm; 12,91 € per ogni pannello da 0,6 x 1,2 metri con spessore da 8 cm e 25,79 € per ogni pannello da 0,6 x 1,2 metri con spessore⁶⁹ da 16 cm. Possiamo quindi affermare che l'isolamento della parete costa 2,2 € al m² al cm di spessore (utilizziamo lo stesso prezzo per il polistirene). Per la copertura utilizziamo invece il pannello E60 S dal costo di 2,21 € per ogni pannello da 0,6 x 1,2 metri

⁶⁹ Abbiamo tralasciato i prezzi dei pannelli intermedi.

con spessore da 4 cm e 3,27 € per ogni pannello da 0,6 x 1,2 metri con spessore da 6 cm, da cui ricaviamo un costo per l'isolamento del tetto di 0,76 € al m² al cm di spessore⁷⁰.

Calcoliamo il costo dell'isolamento utilizzato.

Parete esterna	=	230,10 m ² x 10 cm x 2,20 €	= 5.062,20 €;
Parete verso garage	=	50,4 m ² x 10 cm x 2,20 €	= 1.108,80 €;
Nicchie per termosifoni	=	9,50 m ² x 10 cm x 2,20 €	= 209,00 €;
Tetto sistema	=	112,90 m ² x 20 cm x 0,76 €	= 1.716,08 €;
Solaio su cantina	=	47,40 m ² x 8 cm x 2,20 €	= 834,24 €;
Solaio su vespaio areato	=	59,60 m ² x 8 cm x 2,20 €	= 1.048,96 €;
Totale isolamento			= 9.979,28 €

Per gli impianti ci affidiamo invece al Prezziario delle Opere Edili della Provincia di Pavia dai quali calcoliamo che la fornitura e posa di:

Impianto di riscaldamento (caldaia + termosifoni)	=	705,60 m ³ x 17,00 €/m ³	= 11.995,20 €
Assistenza muraria alla posa (30%)	=	11.995,20 : 100 x 30	= 3.598,66 €
Collettore solare da 3 m ² per circuito solare chiuso a circolazione forzata			= 3.500,00 €
Assistenza alla posa (50%)	=	3.500,00 : 100 x 50	= 1.750,00 €
Impianto di condizionamento (4 split interni)	=	1200 €/split x 4	= 4.800,00 €
Assistenza muraria alla posa (50%)	=	4.800,00 : 100 x 50	= 2.400,00 €

Il calcolo degli extra costi della villa singola n.2

Passando alla villa singola n.2 notiamo che sono cambiati i serramenti, gli spessori degli isolanti, ed il primo filare di mattoni che ora è in Gasbeton. Partiamo dai serramenti che hanno adesso le seguenti caratteristiche: $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{k}$; $U_f = 1,1 \text{ W/m}^2\text{k}$; $\psi_g = 0,05 \text{ W/mk}$;
 $G = 63\%$;

⁷⁰ I prezzi degli isolanti hanno uno sconto del 30% sul prezzo di listino, sconto offerto dalla Isover per la fornitura dell'isolamento negli edifici da noi progettati.

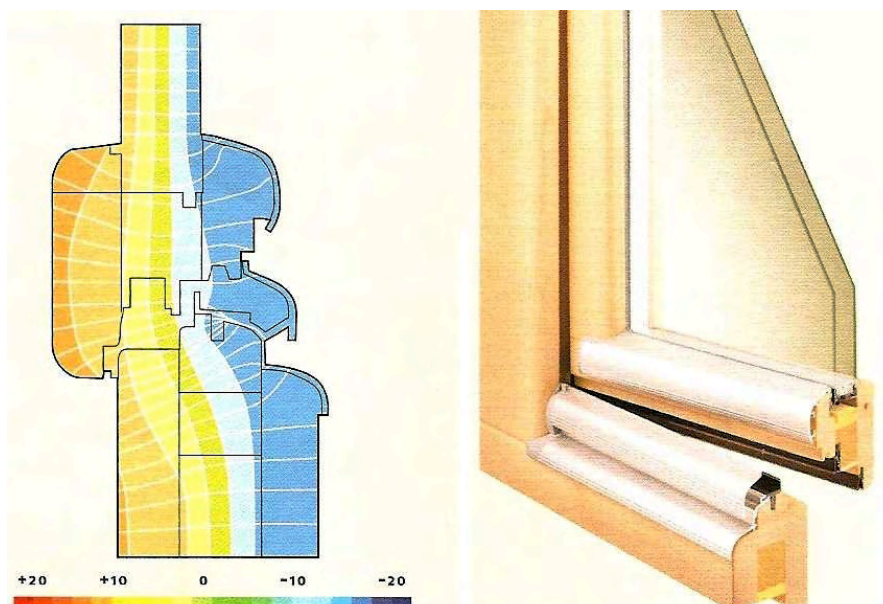


Figura 479 - Serramenti certificati CasaClima "Genius Plus" - fonte Sudtirol Fenster

La trasmittanza dei portoncini d'ingresso passa invece a $U_d = 1,1 \text{ W/m}^2\text{k}$. Facendo una ricerca dai vari produttori scopriamo che il nostro serramento viene prodotto dalla ditta Sudtirol Fenster col nome di Genius Plus. Chiediamo quindi un preventivo e scopriamo che i nostri serramenti costano 12.534,62 € a cui vanno aggiunti 518,70 € di falsi telai, per un totale di 13.053,32 €. (538,86 €/m² corrispondente ad un aumento di prezzo del 53,96 %). I portoncini costano invece 2.700 € per quello d'ingresso e 2.200 € per quello che da sul garage.

Calcoliamo adesso il costo dell'isolamento:

Parete esterna	=	230,10 m ² x 15 cm x 2,20 €	= 7.593,30 €;
Parete verso garage	=	50,4 m ² x 15 cm x 2,20 €	= 1.663,20 €;
Nicchie per termosifoni	=	9,50 m ² x 15 cm x 2,20 €	= 313,50 €;
Tetto sistema	=	112,90 m ² x 22 cm x 0,76 €	= 1.887,69 €;
Solaio su cantina	=	47,40 m ² x 10 cm x 2,20 €	= 1.042,80 €;
Solaio su vespaio areato	=	59,60 m ² x 10 cm x 2,20 €	= 1.251,80 €;
Totale isolamento			= 13.752,29 €

La sostituzione del primo filare di mattoni con elementi in Gasbeton porta ad un aumento di circa 300,00 €, aumento annullato dall'equivalente diminuzione di circa 300,00 € nel costo dell'impianto, dovuto ai termosifoni leggermente più piccoli.

14.2.3 Il calcolo degli extra costi della villa singola n.3

Passando alla villa singola n.3 notiamo che sono rimasti gli stessi serramenti della villa precedente, che sono sparite le nicchie dei termosifoni e che è stata aggiunta una guaina per la tenuta al vento. Il cambiamento maggiore l'ha però subito l'impianto di riscaldamento che adesso è a pavimento e lavora assieme ad un impianto di areazione forzata con recupero di calore munito di un condotto interrato per il pre riscaldamento/raffrescamento dell'aria.

Partiamo dal costo dell'isolamento:

Parete esterna	=	239,60 m ² x 18 cm x 2,20 €	= 9.488,16 €;
Parete verso garage	=	50,4 m ² x 18 cm x 2,20 €	= 1.995,84 €;
Tetto sistema	=	112,90 m ² x 22 cm x 0,76 €	= 1.887,69 €;
Guaina per tenuta al vento	=	112,90 m ² x 9,60 €/m ²	= 1.083,84 €;
Solaio su cantina	=	47,40 m ² x 12 cm x 2,20 €	= 1.251,36 €;
Solaio su vespaio areato	=	59,60 m ² x 12 cm x 2,20 €	= 1.573,44 €;
Totale isolamento			= 17.280,33 €

e concludiamo con la sostituzione dei primi due filari di mattoni con elementi in Gasbeton, che porta ad un aumento di circa 500,00 €. Passiamo ora agli impianti. La fornitura e posa dell'impianto di ventilazione forzata con recupero di calore, condotto interrato compreso ha un costo⁷¹ di circa 10.000,00 €, ma ci permette di eliminare, grazie anche al forte isolamento dell'edificio, l'impianto di condizionamento con un risparmio di 7.200,00 €. La sostituzione dell'impianto di distribuzione del calore a termosifoni con uno a pavimento radiante ha un costo di 17.493,86 € posa e assistenza compresa.

⁷¹ Fonte CasaClima.

14.2.4 Il calcolo degli extra costi della villa singola n.5

La villa singola n.3 e la villa n.5 sono identiche, eccezion fatta per la possa dei serramenti e per il collettore solare che adesso è più grande (4 m² invece di 3 m²).

Calcoliamo quindi l'incremento di costo:

Collettore solare da 4 m ² per circuito solare chiuso a circolazione forzata	= 4.000,00 €
Assistenza alla posa (50%)	= 4.000,00 : 100 x 50 = 2.000,00 €

Abbiamo un aumento del costo del collettore di 750,00 €.

Posando i serramenti non più sull'isolamento ma di nuovo sulla muratura possiamo però risparmiare i 518,70 € dei falsi telai, riducendo l'aumento a 231,30 €.

14.2.5 Il calcolo degli extra costi della villa singola n.4

Passando alla villa singola n.4 notiamo che sono cambiati ancora i serramenti, che sono aumentati gli spessori dell'isolamento, che gli elementi in gasbeton sono stati sostituiti da elementi in Ytong, che è sparito l'impianto di riscaldamento a pavimento e che all'impianto di areazione forzata con recupero di calore munito di condotto interrato è stata aggiunta una pompa di calore aria-aria (con la conseguente riduzione del collettore solare a 1,5 m²).



Figura 480 - Depliant dei blocchi Clima Plus - fonte Ytong

I serramenti della villa singola n.4 hanno adesso le seguenti caratteristiche: $U_d = 0,8 \text{ W/m}^2 \text{ k}$
 $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2 \text{ k}$; $U_f = 0,7 \text{ W/m}^2 \text{ k}$; $\psi_g = 0,05 \text{ W/mk}$; $G = 51\%$. Si tratta di serramenti ad alte

prestazioni certificati dal Passivhausinstitut di Darmstadt. Facciamo di nuovo la nostra ricerca di mercato e vediamo che la ditta Sudtirool Fenster già utilizzata ha i serramenti che cerchiamo sotto il nome di Activa. Chiediamo quindi un preventivo e scopriamo che i nostri serramenti costano la bellezza di 21.943,82 € a cui vanno aggiunti 928,50 € di falsi telai, per un totale di 22.872,32 €. (944,20 €/m²). I portoncini costano invece 3.200 € quello d'ingresso e 2.700 € quello che da sul garage.



Figura 481 - Serramenti certificati Passivhaus "Activa" - fonte Sudtirool Fenster

Calcoliamo adesso il costo dell'isolamento:

Parete esterna	=	239,60 m ² x 20 cm x 2,20 €	=	10.542,40 €;
Parete verso garage	=	50,4 m ² x 20 cm x 2,20 €	=	2.217,60 €;
Tetto sistema	=	112,90 m ² x 24 cm x 0,76 €	=	2.059,30 €;
Guaina per tenuta al vento	=	112,90 m ² x 9,60 €/m ²	=	1.083,84 €;
Solaio su cantina	=	47,40 m ² x 12 cm x 2,20 €	=	1.251,36 €;
Solaio su vespaio areato	=	59,60 m ² x 12 cm x 2,20 €	=	1.573,44 €;
Totale isolamento			=	18.727,94 €

e concludiamo con la sostituzione dei primi due filari di mattoni con elementi in Ytong, che porta ad un aumento di circa 800,00 € rispetto alla villa singola n.1. Passiamo ora agli

impianti. La fornitura e posa dell'impianto di ventilazione forzata con recupero di calore (condotto interrato compreso), come sappiamo, ha un costo di circa 10.000,00 €, ai quali vanno aggiunti altri 10.000,00 per la pompa di calore aria-aria.

Passiamo adesso ai risparmi. Eliminando in toto l'impianto di riscaldamento risparmiamo gli iniziali 15.593,86 € mentre riducendo le dimensioni del collettore risparmiamo:

Collettore solare da 1,5 m² per circuito solare chiuso a circolazione forzata = 1.750,00 €

Assistenza alla posa (50%) = 1.750,00 : 100 x 50 = 875,00 €

Abbiamo un costo del collettore di 2.625,00 € con un risparmio su quello base di 2.625,00 €.

Gli extra costi delle ville singole a confronto

Conclusi i nostri calcoli riassumiamo il tutto e vediamo che succede:

Villa singola n.1	
Serramenti	€ 12.078,40
Isolamento	€ 9.979,28
Impianti	€ 28.043,86
Totale € 50.101,54	

Villa singola n.2	
Serramenti	€ 17.953,32
Isolamento	€ 14.052,29
Impianti	€ 27.743,86
Totale € 59.749,47 (+ 9.647,93 €)	

Villa singola n.3	
Serramenti	€ 17.953,32
Isolamento	€ 17.780,33
Impianti	€ 32.743,86
Totale € 68.477,51 (+ 18.375,97 €)	

Villa singola n.4	
Serramenti	€ 28.772,32
Isolamento	€ 19.527,94
Impianti	€ 22.625,00
Totale € 70.925,26 (+ 20.823,72 €)	

Villa singola n.5	
Serramenti	€ 17.953,32
Isolamento	€ 17.780,33
Impianti	€ 32.743,86
Totale € 68.708,81 (+ 18.607,27 €)	

Tabella 35 - *Extra costi delle ville singole a confronto*

Possiamo notare che l'extra costo varia dai 9.647,93 € della villa CasaClima B fino ai 20.823,72 € della villa Passivhaus. Sapendo inoltre che la superficie da scaldare è sempre di 139,48 m² possiamo calcolare l'incidenza al m² dell'extra costo, ovvero:

Villa singola n.2 9.647,93 € : 139,48 m² = 69,17 €/m²

Villa singola n.3 18.375,97 € : 139,48 m² = 131,75 €/m²

Villa singola n.4 20.823,72 € : 139,48 m² = 149,29 €/m²

Villa singola n.5 18.607,27 € : 139,48 m² = 133,40 €/m²

Il calcolo degli extra costi della bifamiliare n.1

Questo edificio è stato realizzato con due porte d'ingresso e due porte verso il garage che hanno una trasmittanza $U_d = 3,5 \text{ W/m}^2\text{k}$, tipica delle normali porte di ingresso reperibili sul mercato a € 1.800. I serramenti hanno invece le seguenti caratteristiche: $U_g = 1,3 \text{ W/m}^2\text{k}$; $U_f = 1,5 \text{ W/m}^2\text{k}$; $\psi_g = 0,12 \text{ W/mk}$; $G = 63\%$, e sono facilmente identificabili con finestre dal telaio in legno, doppio vetro termoisolante (4 - 14 - 4) e distanziatore in alluminio. Reperibili sul mercato di Vigevano ad € 350/m². Calcoliamo quindi il costo delle finestre in (55,56 m² x 350,00 € =) 19.446,00 €.

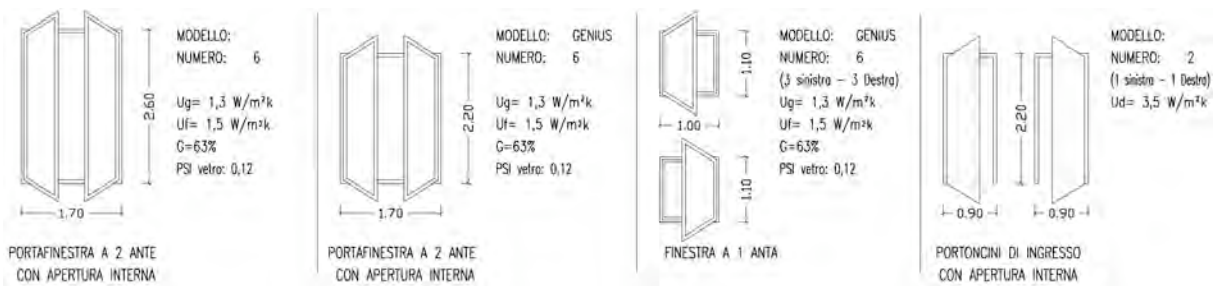


Figura 482 - Abaco serramenti della bifamiliare n,1 - archivio personale

Per l'isolamento abbiamo utilizzato isolante in lana di roccia, prendiamo quindi il prezzario della ditta Rockwool e vediamo che per le pareti il materiale più idoneo è il pannello 226 con un costo di: 2,76 € per ogni pannello da 0,6 x 1,2 metri con spessore da 4 cm e 6,21 € per ogni pannello da 0,6 x 1,2 metri con spessore da 10 cm. Possiamo quindi affermare che l'isolamento della parete costa 0,87 € al m² al cm di spessore. Per la copertura utilizziamo invece il pannello 234 dal costo di 2,22 € per ogni pannello da 0,6 x 1,2 metri con spessore da 4 cm e 3,25 € per ogni pannello da 0,6 x 1,2 metri con spessore da 6 cm, da cui ricaviamo un costo per l'isolamento del tetto di 0,76 € al m² al cm di spessore⁷². Per i solai e le pareti contro terra utilizziamo ancora il polistirene a 2,20 € al m² al cm di spessore.

Calcoliamo il costo dell'isolamento utilizzato.

Parete esterna	=	406,40 m ² x 7 cm x 0,87 €	= 2.474,98 €;
Parete verso cantina	=	37,50 m ² x 8 cm x 2,20 €	= 660,00 €;
Parete verso terreno	=	21,70 m ² x 10 cm x 2,20 €	= 477,40 €;
Tetto ventilato	=	185,50 m ² x 16 cm x 0,76 €	= 2.255,68 €;
Solaio su cantina	=	159,50 m ² x 6 cm x 2,20 €	= 2.105,40 €;
Solaio su terreno	=	23,60 m ² x 10 cm x 2,20 €	= 519,20 €;
Totale isolamento			= 8.492,66 €

Per gli impianti ci affidiamo invece al Prezzario delle Opere Edili della Provincia di Pavia dai quali calcoliamo che la fornitura e posa di:

⁷² I prezzi degli isolanti hanno uno sconto del 30% sul prezzo di listino, sconto offerto dalla Rockwool per la fornitura dell'isolamento negli edifici da noi progettati.

2 impianti di riscaldamento (caldaia + termosifoni)	= 1294,00 m ³ x 17,00 €/m ³	= 21.998,00 €
Assistenza muraria alla posa (30%)	= 21.998,00 : 100 x 30	= 6.599,40 €
2 collettori solari da 3 m ² per circuito solare chiuso a circolazione forzata		= 7.000,00 €
Assistenza alla posa (50%)	= 7.000,00 : 100 x 50	= 3.500,00 €
2 impianti di condizionamento da 4 split interni	= 1.200 €/split x 8	= 9.600,00 €
Assistenza muraria alla posa (50%)	= 9.600 : 100 x 50	= 4.800,00 €

Il calcolo degli extra costi della bifamiliare n.2

La bifamiliare n.2 si differenzia dalla precedente per la riduzione della superficie dei balconi (risparmio di circa 3.000,00 €) e l'inserimento sulla facciata di 4 serre bioclimatiche, la sostituzione di due portefinestre da 1,70 x 2,20 con 2 portoncini d'ingresso e la sostituzione di 2 portefinestre da 1,70 x 2,60 per due finestre da 1,70 x 1,60.

Calcoliamo quindi il costo dei serramenti = (6 porte da 1.800 €) + (44,68 m² x 350,00 €) = 10.800,00 + 15.638,00 = 26.438,00 € ed il costo delle quattro serre bioclimatiche che ricoprono la facciata sud = 152,80 m² x 270 €/m² = 41.256,00 €

Il costo delle serre viene in piccola parte compensato dalla diminuzione di circa 600,00 € nel costo degli impianti, dovuto ai termosifoni leggermente più piccoli.

Il calcolo degli extra costi della bifamiliare n.3

Come forma la bifamiliare n.3 è del tutto identica alla n.1, cambiano però i serramenti, gli spessori degli isolanti, la giunzione del balcone col solaio ed il primo filare di mattoni che ora è in Gasbeton. Partiamo dai serramenti che hanno adesso le seguenti caratteristiche:

Finestre: $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{k}$; $U_f = 1,4 \text{ W/m}^2\text{k}$; $\psi_g = 0,05 \text{ W/mk}$; $G = 63\%$; Porte: $U_d = 1,1 \text{ W/m}^2\text{k}$

Controllando i prodotti della già utilizzata ditta Sudtirol Fenster, scopriamo che anche stavolta hanno i serramenti da noi utilizzati, prodotti col nome di Genius. Chiediamo quindi un preventivo e scopriamo che i nostri serramenti costano:

- portafinestra 1,70 x 2,60 = 1.714,12 € al pezzo (1.714,12 x 6 pezzi = 10.284,72 €)
 - portafinestra 1,70 x 2,20 = 1.409,42 € al pezzo (1.409,42 x 6 pezzi = 8.456,52 €)
 - finestra 1,00 x 1,10 = 536,50 € al pezzo (536,50 x 6 pezzi = 3.219,00 €)
- a cui vanno aggiunti 865,20 € di falsi telai (7,00 €/m), per un totale di 22.825,44 €.

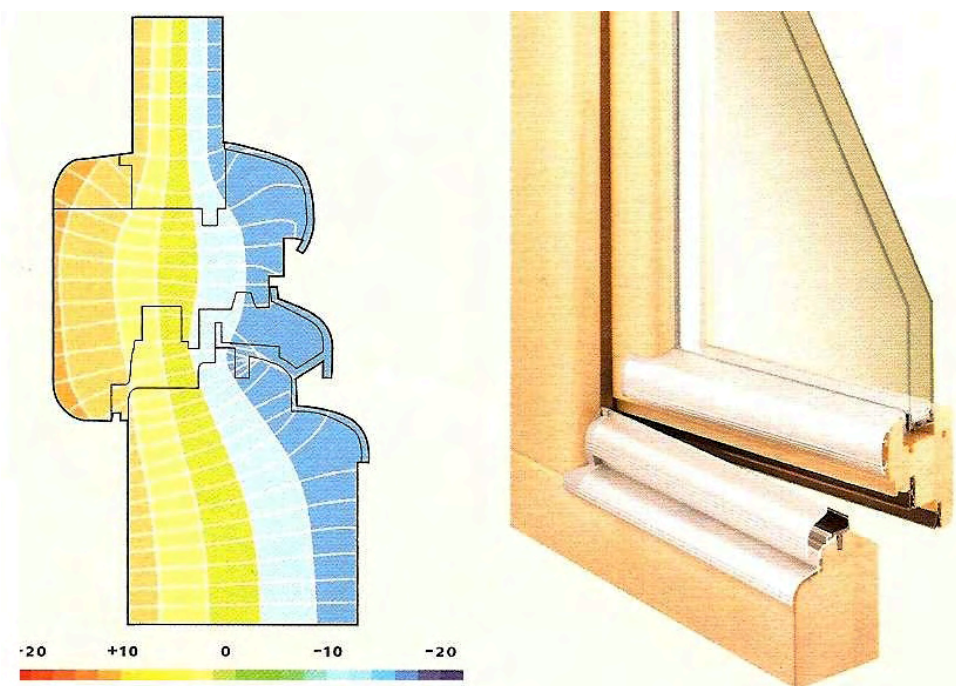


Figura 483 - Serramenti certificati CasaClima "Genius" - fonte Sudtirol Fenster

Il prezzo dei portoncini già lo conosciamo ed è di 2.700 € per quelli d'ingresso e 2.200 € per quelli che danno sul garage. Calcoliamo quindi il costo dell'isolamento:

Parete esterna	=	406,40 m ² x 10 cm x 0,87 €	= 3.535,68 €;
Parete verso cantina	=	37,50 m ² x 8 cm x 2,20 €	= 660,00 €;
Parete verso terreno	=	21,70 m ² x 10 cm x 2,20 €	= 477,40 €;
Tetto ventilato	=	185,50 m ² x 16 cm x 0,76 €	= 2.255,68 €;
Solaio su cantina	=	159,50 m ² x 6 cm x 2,20 €	= 2.105,40 €;
Solaio su terreno	=	23,60 m ² x 10 cm x 2,20 €	= 519,20 €;
Totale isolamento			= 9.553,36 €

La sostituzione del primo filare di mattoni con elementi in Gasbeton porta ad un aumento di circa 400,00 €, mentre l'inserimento dello schock isokorb tra il balcone e il solaio costa 920 €.

Questi aumenti vengono in parte annullati dalla diminuzione di circa 600,00 € nel costo degli impianti, dovuto ai termosifoni leggermente più piccoli.

Il calcolo degli extra costi della bifamiliare n.4

Passando alla bifamiliare n.3 notiamo che sul tetto è stata aggiunta una guaina per la tenuta al vento, che è rimasto lo stesso modello di serramenti della bifamiliare precedente ma che è cambiato il loro numero per l'aggiunta di due porte al posto di due portefinestre, cambiamento dovuto allo spostamento dell'ingresso principale ora sul fronte sud. Il cambiamento maggiore l'ha però subito l'impianto di riscaldamento che adesso è a pavimento e lavora assieme ad un impianto di areazione forzata con recupero di calore munito di un condotto interrato per il pre riscaldamento/raffrescamento dell'aria.

Partiamo dal costo dell'isolamento:

Parete esterna	=	406,40 m ² x 10 cm x 0,87 €	= 3.535,68 €;
Parete verso cantina	=	37,50 m ² x 10 cm x 2,20 €	= 825,00 €;
Parete verso terreno	=	21,70 m ² x 10 cm x 2,20 €	= 477,40 €;
Tetto ventilato	=	185,50 m ² x 18 cm x 0,76 €	= 2.537,64 €;
Guaina per tenuta al vento	=	185,50 m ² x 9,60 €/m ²	= 1.780,80 €;
Solaio su cantina	=	159,50 m ² x 10 cm x 2,20 €	= 3.509,00 €;
Solaio su terreno	=	23,60 m ² x 20 cm x 2,20 €	= 1.038,40 €;
Totale isolamento			= 13.703,92 €

e concludiamo con la sostituzione dei primi due filari di mattoni con elementi in Gasbeton, che porta ad un aumento di circa 700,00 €. Passiamo ora agli impianti. La fornitura e posa dell'impianto di ventilazione forzata con recupero di calore, condotto interrato compreso ha un costo di circa 10.000,00 € l'uno, ma ci permette di eliminare, grazie anche al forte isolamento dell'edificio, l'impianto di condizionamento con un risparmio di 14.400,00 €. La

sostituzione dell'impianto di distribuzione del calore a termosifoni con uno a pavimento radiante ha un costo di 32.397,40 € (posa e assistenza compresa).

Il calcolo degli extra costi della bifamiliare n.6

La bifamiliare n.4 e la bifamiliare n.6 sono identiche, eccezion fatta per la posa dei serramenti e per il collettore solare che adesso è più grande (7 m² invece di 6 m²).

Calcoliamo quindi l'incremento di costo:

2 collettori solari da 3,5 m ² per circuito solare chiuso a circolazione forzata	= 8.150,00 €
Assistenza alla posa (50%)	= 8.150,00 : 100 x 50 = 4.075,00 €

Abbiamo un aumento del costo del collettore di 1.725,00 €.

Posando i serramenti non più sull'isolamento ma di nuovo sulla muratura possiamo però risparmiare i 756,00 € di falsi telai (7,00 €/m) riducendo l'aumento a 969,00 €.

Il calcolo degli extra costi della bifamiliare n.5

Passando alla bifamiliare n.5 notiamo che sono cambiati ancora i serramenti, che sono aumentati gli spessori dell'isolamento, che gli elementi in gasbeton sono stati sostituiti da elementi in Ytong, che è sparito l'impianto di riscaldamento a pavimento e che all'impianto di areazione forzata con recupero di calore munito di condotto interrato è stata aggiunta una pompa di calore aria-aria (con la conseguente riduzione della superficie dei collettori a 3 m²).

I serramenti della bifamiliare n.5 hanno le stesse caratteristiche della villa singola n.4, ovvero:

$U_d = 0,8 \text{ W/m}^2\text{k}$ - $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{k}$; $U_f = 0,7 \text{ W/m}^2\text{k}$; $\psi_g = 0,05 \text{ W/mk}$; $G = 51\%$. Sapendo già che sono i serramenti prodotti dalla ditta Sudtirol Fenster col nome di Activa chiediamo un nuovo preventivo e scopriamo che i nostri serramenti costano 50.892,96 € a cui vanno aggiunti 1.549,50 € di falsi telai, per un totale di 54.442,46 €. (943,89 €/m²). I portoncini costano sempre 3.200 € quelli d'ingresso e 2.700 € quelli che danno sul garage.

Calcoliamo adesso il costo dell'isolamento:

Parete esterna	=	406,40 m ² x 14 cm x 0,87 €	= 4.949,95 €;
Parete verso cantina	=	37,50 m ² x 10 cm x 2,20 €	= 825,00 €;
Parete verso terreno	=	21,70 m ² x 14 cm x 2,20 €	= 668,36 €;
Tetto ventilato	=	185,50 m ² x 20 cm x 0,76 €	= 2.819,60 €;
Guaina per tenuta al vento	=	185,50 m ² x 9,60 €/m ²	= 1.780,80 €;
Solaio su cantina	=	159,50 m ² x 10 cm x 2,20 €	= 3.509,00 €;
Solaio su terreno	=	23,60 m ² x 20 cm x 2,20 €	= 1.038,40 €;
Totale isolamento			= 15.591,11 €

e concludiamo con la sostituzione dei primi due filari di mattoni con elementi in Ytong, che porta ad un aumento di circa 1.050,00 € rispetto alla bifamiliare n.1. Passiamo ora agli impianti. La fornitura e posa degli impianti di ventilazione forzata con recupero di calore (condotto interrato compreso), come sappiamo, costano circa 10.000,00 € l'uno, ai quali vanno aggiunti altri 20.000,00 per le due pompe di calore aria-aria.

Passiamo adesso ai risparmi. Eliminando in toto l'impianto di riscaldamento risparmiamo gli iniziali 28.597,40 € mentre riducendo le dimensioni del collettore risparmiamo:

2 collettori solari da 1,5 m ² per circuito solare chiuso a circolazione forzata	=	3.500,00 €
Assistenza alla posa (50%)	=	3.500,00 : 100 x 50 = 1.750,00 €

Abbiamo un costo del collettore di 5.250,00 € con un risparmio su quello base di 5.250,00 €.

Gli extra costi delle bifamiliari a confronto

Conclusi i nostri calcoli riassumiamo il tutto e vediamo che succede:

Bifamiliare n.1	
Serramenti	€ 26.646,00
Isolamento	€ 8.492,66
Impianti	€ 53.497,40
Totale € 88.636,06	

Bifamiliare n.2	
Serramenti	€ 26.438,00
Isolamento	€ 8.492,66
Serra	€ 38.256,00
Impianti	€ 52.897,40
Totale € 126.084,06 (+ 37.448,00 €)	

Bifamiliare n.3	
Serramenti	€ 32.625,44
Isolamento	€ 10.873,36
Impianti	€ 52.897,40
Totale € 96.396,20 (+ 7.760,14 €)	

Bifamiliare n.4	
Serramenti	€ 35.097,40
Isolamento	€ 15.323,92
Impianti	€ 62.897,40
Totale € 113.318,72 (+ 24.682,66 €)	

Bifamiliare n.5	
Serramenti	€ 66.242,46
Isolamento	€ 17.561,11
Impianti	€ 45.250,00
Totale € 129.053,57 (+ 40.417,51 €)	

Bifamiliare n.6	
Serramenti	€ 34.341,40
Isolamento	€ 15.323,92
Impianti	€ 64.622,40
Totale € 114.287,72 (+ 25.651,66 €)	

Tabella 36 - Extra costi delle bifamiliari a confronto

Possiamo notare che l'extra costo varia dai 7.760,14 € della bifamiliare CasaClima B fino ai 40.417,51 € della bifamiliare standard Passivhaus. Sapendo inoltre che la superficie da scaldare è sempre di 296,30 m² possiamo calcolare l'incidenza al m² dell'extra costo, ovvero:

Bifamiliare n.2 37.448,00 € : 296,30 m² = 126,39 €/m²

Bifamiliare n.3 7.760,14 € : 296,30 m² = 26,19 €/m²

Bifamiliare n.4 24.682,66 € : 296,30 m² = 83,31 €/m²

Bifamiliare n.5 40.417,51 € : 296,30 m² = 136,40 €/m²

Bifamiliare n.6 25.651,66 € : 296,30 m² = 86,58 €/m²

14.3 Il calcolo delle spese di riscaldamento

Leggendo i dati forniti dal bilancio energetico, possiamo sapere esattamente quanti m³ di gas metano e quanti kWh di corrente elettrica andremo a consumare in un anno per scaldare ognuno degli edifici progettati. Quello che ci rimane da fare è capire quanto costa 1 m³ di gas metano e quanto un kWh di corrente elettrica. La tariffa più diffusa in Italia per la fornitura di energia elettrica è la “Monoraria D2” dell’Enel. Questa tariffa si compone di una quota annuale fissa, di un corrispettivo per la potenza impegnata (di norma 3 kW), dei prezzi per l’energia consumata che variano in base a scaglioni di consumo annuali e ad una tassazione aggiuntiva anch’esse scaglionata per consumo. Al tutto va poi aggiunto il 10% di IVA.

Tariffa Enel Monoraria D2	
Quota fissa	18,3908 €/cliente anno
Corrispettivo di potenza impegnata	5,134 €/kW/anno
Prezzo dell’energia	
Per la parte di consumo fino a 1800 kWh	0,09401 €/kWh
da 1801 kWh fino a 2640 kWh	0,13509 €/kWh
da 2641 kWh fino a 4440 kWh	0,17907 €/kWh
per la parte di consumo oltre 4440 kWh	0,22596 €/kWh

Quota aggiuntiva	
per consumi fino a 1800 kWh	0,01549 €/kWh
per consumi da 1801 a 2640 kWh	0,02356 €/kWh
per consumi oltre 2640 kWh	0,03164 €/kWh

Tabella 37 - Tariffa Enel Monoraria D2 con prezzi dal 1 gennaio 2010

Per il costo del gas, avendo costruito i nostri edifici a Vigevano, analizziamo la bolletta dell'Azienda addetta alla sua distribuzione, ovvero l'A.S.M. di Vigevano. Simile alla precedente comprende una quota fissa per la distribuzione, una quota fissa per la vendita, il costo del gas consumato suddiviso in scaglioni di consumo annuali e da una tassazione aggiuntiva anch'essa scaglionata per consumo. Ovviamente al tutto va aggiunto il 20% di IVA.

Tariffa ASM del gas	
Quota distribuzione	30,6 €/cliente anno
Quota vendita	3,6 €/cliente anno
Prezzo del gas	
Per la parte di consumo fino a 103 m ³	0,426208 €/m ³
da 104 a 513 m ³	0,493362 €/m ³
da 514 a 5131 m ³	0,463184 €/m ³
Quota aggiuntiva	
per consumi fino a 120 m ³	0,038 €/m ³
per consumi da 121 a 480 m ³	0,171 €/m ³
per consumi da 481 a 1560 m ³	0,166 €/m ³

Tabella 38 - Tariffa A.S.M. del gas metano con prezzi dal 1 gennaio 2010

Tariffe alla mano calcoliamo le spese annuali di riscaldamento.

La Bifamiliare n.1 ha un consumo di 2.308 m³ di gas e di 187 kWh di corrente elettrica per il riscaldamento. Trattandosi di una bifamiliare dividiamo in 2 i consumi per avere quelli di una singola utenza (1154 m³ di gas e 94 kWh di corrente). Procediamo calcolando le spese per la corrente elettrica che data dalla somma delle seguenti voci:

Quota fissa + Corrispettivo di potenza impegnata + Consumo fino a 1800 kWh + Quota fino a 1800 kWh + Iva 10% =

$[18,3908 \text{ €} + (5,134 \text{ €/kW} \times 3 \text{ kW}) + (94 \text{ kWh} \times 0,09401 \text{ €/kWh}) + (94 \text{ kWh} \times 0,01549 \text{ €/kWh})] + \text{Iva } 10\% =$

$18,3908 + 15,402 + 8,84 + 1,46 + \text{Iva } 10\% = 44,09 \text{ €} + \text{Iva } 10\% = 48,49 \text{ €}$ per l'energia elettrica.

Procediamo con le spese del gas:

Quota distribuzione + Quota vendita + Consumo fino a 103 m³ + Consumo da 104 a 513 m³ + Consumo da 514 a 5131 m³ + Quota fino a 120 m³ + Quota da 121 a 480 m³ + Quota da 481 a 1560 m³ + Iva 20% =

$30,6 \text{ €} + 3,6 \text{ €} + (103 \text{ m}^3 \times 0,426208 \text{ €/m}^3) + (410 \text{ m}^3 \times 0,493362 \text{ €/m}^3) + (641 \text{ m}^3 \times 0,463184 \text{ €/m}^3) + (120 \text{ m}^3 \times 0,038 \text{ €/m}^3) + (360 \text{ m}^3 \times 0,171 \text{ €/m}^3) + (674 \text{ m}^3 \times 0,166 \text{ €/m}^3) + \text{Iva } 20\% =$
 $30,6 + 3,6 + 43,90 + 202,28 + 296,90 + 4,56 + 61,56 + 111,88 + \text{Iva} = 755,28 \text{ €} + \text{Iva } 20\% =$
 906,34 € di spesa per il gas metano.

Vediamo quindi che una famiglia residente nella bifamiliare n.1 spende annualmente per le spese di riscaldamento (48,49 € + 906,34 € =) 954,83 €

Capito il procedimento di calcolo evitiamo di ripeterlo e riassumiamo direttamente in una tabella le spese di riscaldamento di tutti gli edifici progettati.

Bifamiliare 1 - edificio base (una utenza)	
Spese in gas metano	€ 906,34
Spese in corrente elettrica	€ 48,49
Spese annuali in riscaldamento	€ 954,83

Bifamiliare 2 - con serre bioclimatiche (una utenza)	
Spese in gas metano	€ 768,93
Spese in corrente elettrica	€ 46,45
Spese annuali in riscaldamento	€ 815,37

Bifamiliare 3 - standard CasaClima B (una utenza)	
Spese in gas metano	€ 718,34
Spese in corrente elettrica	€ 45,60
Spese annuali in riscaldamento	€ 763,94

Bifamiliare 4 - standard CasaClima A (una utenza)	
Spese in gas metano	€ 425,39
Spese in corrente elettrica	€ 81,14
Spese annuali in riscaldamento	€ 506,53

Bifamiliare 5 - standard Passivhaus (una utenza)	
Spese in gas metano	€ 0,00
Spese in corrente elettrica	€ 217,49
Spese annuali in riscaldamento	€ 217,49

Bifamiliare 6 - standard Minergie (una utenza)	
Spese in gas metano	€ 401,01
Spese in corrente elettrica	€ 81,14
Spese annuali in riscaldamento	€ 482,14

Tabella 39 - Spese di riscaldamento delle bifamiliari (148,15 m² da scaldare)

Villa singola 1 - edificio base	
Spese in gas metano	€ 985,62
Spese in corrente elettrica	€ 49,70
Spese annuali in riscaldamento	€ 1.035,32

Villa singola 2 - standard CasaClima B	
Spese in gas metano	€ 712,30
Spese in corrente elettrica	€ 45,48
Spese annuali in riscaldamento	€ 757,78

Villa singola 3 - standard CasaClima A	
Spese in gas metano	€ 410,50
Spese in corrente elettrica	€ 98,48
Spese annuali in riscaldamento	€ 508,98

Villa singola 4 - standard Passivhaus	
Spese in gas metano	€ 0,00
Spese in corrente elettrica	€ 322,74
Spese annuali in riscaldamento	€ 322,74

Villa singola 5 - standard Minergie	
Spese in gas metano	€ 98,48
Spese in corrente elettrica	€ 361,18
Spese annuali in riscaldamento	€ 459,66

Tabella 40 - Spese di riscaldamento delle ville singole (139,48 m² da scaldare)

Anche se a prima vista non sembra, tutti questi edifici hanno delle spese di riscaldamento molto modeste rispetto a quelle degli edifici che abitiamo tutti i giorni. Difatti, se riportiamo i nostri edifici allo standard di 10 anni fa (metà anni '90), possiamo calcolarne i consumi e confrontarli con quelli appena visti.

Bifamiliare 0 - edificio metà anni '90 (una utenza)	
Spese in gas metano	€ 1.976,32
Spese in corrente elettrica	€ 62,35
Spese annuali in riscaldamento	€ 2.038,66

Villa singola 0 - edificio metà anni '90	
Spese in gas metano	€ 2.298,83
Spese in corrente elettrica	€ 146,54
Spese annuali in riscaldamento	€ 2.445,37

Tabella 41 - Spese di riscaldamento degli edifici in stile anni '90

Possiamo quindi affermare, che dal punto di vista economico, tutti gli edifici progettati e realizzati nel rispetto delle attuali normative sul contenimento energetico hanno delle spese di riscaldamento dimezzate rispetto agli edifici fino a “ieri” realizzati, che siano progettati e costruiti “a norma di legge” o seguendo i protocolli CasaClima, Minergie o Passivhaus.

14.4 Il calcolo dei tempi di ammortamento degli extra-costi

Adesso che conosciamo gli extra costi e le spese di riscaldamento di ogni edificio, possiamo quantificare in quanto tempo queste vengono ammortizzate. Per farlo analizziamo le bollette del gas e dell’energia elettrica degli ultimi dieci anni e calcoliamo l’aumento percentuale annuo che hanno subito. Fatto questo riportiamo in tabella le spese di riscaldamento dei vent’anni a venire.

	Bifamiliare 1	Bifamiliare 2	Bifamiliare 3	Bifamiliare 4	Bifamiliare 5	Bifamiliare 6
anno 2010	€ 954,83	€ 815,38	€ 763,94	€ 506,53	€ 217,49	€ 482,15
anno 2011	€ 1.001,25	€ 854,69	€ 800,65	€ 528,40	€ 219,10	€ 502,75
anno 2012	€ 1.068,02	€ 910,98	€ 853,07	€ 558,75	€ 220,72	€ 531,23
anno 2013	€ 1.121,49	€ 956,32	€ 895,42	€ 584,08	€ 222,35	€ 555,11
anno 2014	€ 1.196,76	€ 1.019,76	€ 954,51	€ 618,27	€ 224,00	€ 587,20
anno 2015	€ 1.257,52	€ 1.071,22	€ 1.002,55	€ 646,79	€ 225,65	€ 614,05
anno 2016	€ 1.342,78	€ 1.143,16	€ 1.069,58	€ 685,71	€ 227,32	€ 650,60
anno 2017	€ 1.412,30	€ 1.202,04	€ 1.124,54	€ 718,29	€ 229,00	€ 681,27
anno 2018	€ 1.508,14	€ 1.282,84	€ 1.199,80	€ 761,80	€ 230,70	€ 722,12
anno 2019	€ 1.588,07	€ 1.350,58	€ 1.263,06	€ 799,40	€ 232,41	€ 757,52
anno 2020	€ 1.696,21	€ 1.441,75	€ 1.347,97	€ 848,42	€ 234,13	€ 803,53
anno 2021	€ 1.787,28	€ 1.518,87	€ 1.419,96	€ 891,00	€ 235,86	€ 843,60
anno 2022	€ 1.910,02	€ 1.622,42	€ 1.516,45	€ 946,92	€ 237,60	€ 896,11
anno 2023	€ 2.014,26	€ 1.710,70	€ 1.598,84	€ 995,60	€ 239,36	€ 941,92
anno 2024	€ 2.152,68	€ 1.827,44	€ 1.707,60	€ 1.058,45	€ 241,13	€ 1.000,92
anno 2025	€ 2.272,36	€ 1.928,83	€ 1.802,27	€ 1.114,48	€ 242,92	€ 1.053,66
anno 2026	€ 2.429,03	€ 2.060,97	€ 1.925,38	€ 1.185,64	€ 244,72	€ 1.120,46

	Bifamiliare 1	Bifamiliare 2	Bifamiliare 3	Bifamiliare 4	Bifamiliare 5	Bifamiliare 6
anno 2027	€ 2.565,60	€ 2.176,63	€ 2.033,33	€ 1.249,33	€ 246,53	€ 1.180,38
anno 2028	€ 2.743,39	€ 2.326,66	€ 2.173,16	€ 1.330,31	€ 248,35	€ 1.256,43
anno 2029	€ 2.899,74	€ 2.459,06	€ 2.296,73	€ 1.403,17	€ 250,19	€ 1.324,98

Tabella 42 - *Spese di riscaldamento delle bifamiliari dal 2010 al 2029*

	Villa 1	Villa 2	Villa 3	Villa 4	Villa 5
anno 2010	€ 1.035,32	€ 757,78	€ 508,98	€ 322,74	€ 459,66
anno 2011	€ 1.085,83	€ 794,18	€ 530,21	€ 325,13	€ 478,32
anno 2012	€ 1.158,66	€ 846,14	€ 559,55	€ 327,54	€ 503,90
anno 2013	€ 1.216,80	€ 888,13	€ 584,12	€ 329,96	€ 525,53
anno 2014	€ 1.298,90	€ 946,69	€ 617,17	€ 332,40	€ 554,34
anno 2015	€ 1.365,02	€ 994,33	€ 644,80	€ 334,86	€ 578,61
anno 2016	€ 1.457,97	€ 1.060,77	€ 682,41	€ 337,34	€ 611,43
anno 2017	€ 1.533,64	€ 1.115,26	€ 713,96	€ 339,83	€ 639,13
anno 2018	€ 1.638,15	€ 1.189,87	€ 755,97	€ 342,35	€ 675,74
anno 2019	€ 1.725,12	€ 1.252,59	€ 792,38	€ 344,88	€ 707,73
anno 2020	€ 1.843,05	€ 1.336,75	€ 839,70	€ 347,44	€ 748,96
anno 2021	€ 1.942,17	€ 1.408,13	€ 880,88	€ 350,01	€ 785,08
anno 2022	€ 2.075,97	€ 1.503,78	€ 934,85	€ 352,60	€ 832,17
anno 2023	€ 2.189,42	€ 1.585,47	€ 981,93	€ 355,21	€ 873,45
anno 2024	€ 2.340,34	€ 1.693,27	€ 1.042,57	€ 357,83	€ 926,30
anno 2025	€ 2.470,56	€ 1.787,13	€ 1.096,74	€ 360,48	€ 973,85
anno 2026	€ 2.641,38	€ 1.909,17	€ 1.165,38	€ 363,15	€ 1.033,67
anno 2027	€ 2.790,03	€ 2.016,21	€ 1.226,91	€ 365,84	€ 1.087,61
anno 2028	€ 2.983,83	€ 2.154,80	€ 1.305,03	€ 368,54	€ 1.155,75
anno 2029	€ 3.153,99	€ 2.277,32	€ 1.375,40	€ 371,27	€ 1.217,43

Tabella 43 - *Spese di riscaldamento delle ville singole dal 2010 al 2029*

Leggendo la tabella si può notare che gli aumenti non sono lineari, ma leggermente discontinui. Questo è dovuto al fatto che gli aumenti del gas e della corrente elettrica non

avvengono mai in modo generalizzato ma sulle singole fasce di consumo e sulle quote fisse. Per intenderci, se quest'anno aumenta il prezzo sul consumo del gas fino a 103 m³ e la quota di vendita, l'anno prossimo aumenterà il prezzo sul consumo da 121 a 480 m³ e da 481 a 1560 m³. Dato che questo schema di aumenti è costante e dura dai tre ai quattro anni per poi ricominciare, noi lo abbiamo ripreso e inserito nella tabella delle spese future.

Adesso non ci rimane che vedere in quanto tempo gli extra costi calcolati nei paragrafi precedenti si ammortizzano. Per farlo basta confrontare le spese annuali di riscaldamento e vedere a quanto ammonta il risparmio. Per capirci, se la villa 1 nel 2010 spende 1.035,32 € in riscaldamento e la villa 4 ne spende 322,74 €, possiamo dire che il proprietario della villa 4 ha risparmiato 712,58 €. Ricordandoci però che la villa 4 è costata 20.823,72 € più della villa 1 dobbiamo sommare i risparmi annuali per vedere in quanto tempo vengono recuperati, e quindi ammortizzati, i 20.823,72 € di investimento iniziale.

Edificio	extra costo	tempo d'ammortamento
Villa CasaClima B	€ 9.647,93	19 anni 1 mese
Villa CasaClima A	€ 18.375,97	18 anni 8 mesi
Villa Passivhaus	€ 20.823,72	15 anni 11 mesi
Villa Minergie	€ 18.607,27	17 anni 10 mesi

Tabella 44 - *Tempi di ammortamento degli extra costi delle ville singole*

Prima di procedere con le bifamiliari facciamo alcune considerazioni. A causa delle condizioni ambientali le bifamiliari n.2, n.4 e n.6 si trovano ad avere l'ingresso principale non sul fronte nord, ma sul fronte sud. Questo ha comportato una spesa aggiuntiva per le porte d'ingresso, che sono praticamente raddoppiate (da due a quattro). Questo aumento di spesa, quantificabile in 2.472,00 € per le bifamiliari n.6 e n.4 ed in 982,00 € per la bifamiliare n.3, non ci permette un confronto corretto. Dobbiamo quindi apportare una virtuale modifica alle bifamiliari n.2, n.4 e n.6 rendendole uguali alla bifamiliare n.1 (edificio di riferimento).

Riduciamo quindi gli extra costi delle bifamiliari n.4 e n.6 di 2.472,00 € e quelli della bifamiliare n.2 di 982,00 e procediamo con i conteggi.

Edificio	extra costo	tempo d'ammortamento
Bifamiliare con Serre	€ 36.466,00	oltre 20 anni
Bifamiliare CasaClima B	€ 7.760,14	13 anni 7 mesi
Bifamiliare CasaClima A	€ 22.210,66	18 anni 11 mesi
Bifamiliare Passivhaus	€ 40.417,51	17 anni 9 mesi
Bifamiliare Minergie	€ 23.179,66	18 anni 9 mesi

Tabella 45 - *Tempi di ammortamento degli extra costi delle bifamiliari*

Analizzando le due tabelle possiamo notare, paradossalmente, che c'è più convenienza a passare dalla "normalità" ad un edificio energeticamente più performante laddove l'edificio non è bioclimatico. Difatti nelle bifamiliari, il forte apporto di calore fornito gratuitamente dal sole, riduce nell'edificio base le spese di riscaldamento e nei passaggi agli standard successivi le spese per l'isolamento. Non riducendosi invece le spese degli impianti, abbiamo un allungamento dei tempi di ammortamento negli edifici CasaClima A, Minergie e Passivhaus. Di contro però, costa meno realizzare un edificio bioclimatico che non il suo equivalente tradizionale. Un'altra considerazione la possiamo fare sulle serre bioclimatiche, che dal punto di vista del risparmio energetico non hanno alcuna convenienza, in quanto l'extra costo non si ammortizza nel ventennio successivo. Ovviamente la cosa cambia se decido di utilizzare la serra bioclimatica per realizzare nella mia abitazione una stanza in più.

14.5 Analisi dell'inquinamento prodotto e valutazioni ambientali

Nel capitolo 1, dedicato ai cambiamenti climatici, abbiamo appreso che in futuro ogni abitante della terra potrà immettere nell'atmosfera non più di una tonnellata di anidride carbonica l'anno. Se questo non deve avvenire nel breve periodo è anche vero che un edificio realizzato oggi, tra quarant'anni sarà ancora in piedi e produrrà lo stesso inquinamento che

produce oggi. La morale è quindi che per non inquinare domani dobbiamo costruire edifici poco inquinanti oggi. Ma come calcoliamo la quantità di anidride carbonica prodotta? Il calcolo è semplice, si moltiplicano i kWh di energia consumati per il fattore di emissione di CO₂ equivalente⁷³, cosa che fanno già tutti i programmi che calcolano e certificano gli edifici. Non ci rimane quindi che vedere quanta anidride carbonica produce ognuno degli edifici progettati e riportare i valori in una tabella per il confronto (per completezza inseriamo anche l'inquinamento prodotto dai nostri edifici metà anni '90).

Edificio	Persone	Emissioni di CO2	CO2 a persona
Villa n.0 - edificio anni '90	4	7.237 Kg/a	1.809 Kg/a
Villa n.1 - edificio base	4	3.083 Kg/a	770 Kg/a
Villa n.2 - CasaClima B	4	2.198 Kg/a	549 Kg/a
Villa n.3 - CasaClima A	4	1.218 Kg/a	304 Kg/a
Villa n.4 - Passivhaus	4	184 Kg/a	46 Kg/a
Villa n.5 - Minergie	4	1.068 Kg/a	267 Kg/a
Bifamiliare n.0 - edificio anni '90	8	12.448 Kg/a	1.556 Kg/a
Bifamiliare n.1 - edificio base	8	5.653 Kg/a	707 Kg/a
Bifamiliare n.2 - edificio con serra	8	4.759 Kg/a	595 Kg/a
Bifamiliare n.3 - CasaClima B	8	4.432 Kg/a	554 Kg/a
Bifamiliare n.4 - CasaClima A	8	2.532 Kg/a	316 Kg/a
Bifamiliare n.5 - Passivhaus	8	357 Kg/a	45 Kg/a
Bifamiliare n.6 - Minergie	8	2.381 Kg/a	298 Kg/a

Tabella 46 - Emissioni di CO₂ nell'atmosfera

Apparentemente tutti gli edifici da noi progettati rispettano appieno le raccomandazioni dello IPCC (con l'ovvia esclusione degli edifici anni '90), ma non è così. Infatti noi produciamo inquinamento anche con i mezzi di trasporto e nei luoghi di lavoro. Dobbiamo quindi dividere i nostri 1.000 Kg a disposizione per tre (abitazione, trasporti e luoghi di lavoro), riducendo a

⁷³ Vedi tabella 3 pag. 45

333 Kg l'inquinamento che possiamo produrre per scaldare casa. Vediamo dunque che solo gli edifici negli standard CasaClima A, Minergie e Passivhaus permettono alle persone che le abitano di inquinare entro i limiti raccomandati dallo IPCC.

14.6 Analisi del comfort interno

Nel capitolo 5, dedicato al comfort negli edifici, abbiamo scoperto che per stare bene in casa abbiamo bisogno: di una buona qualità dell'aria interna; di non avere muffa e umidità nelle pareti; di avere pareti e finestre con una temperatura superficiale di 17°C (non meno di 3° C rispetto alla temperatura dell'aria interna); di non avere spifferi; di avere un pavimento con una temperatura superficiale di almeno 19° C. Più condizioni riusciamo a soddisfare, maggiore sarà il comfort di chi abita questi edifici. Innanzi tutto possiamo dire che tutti gli edifici progettati non hanno ne muffa ne umidità nelle pareti, in quanto la normativa prevede esplicitamente ponti termici "corretti" e la verifica della condensa interstiziale, che non deve esserci.

In merito alla qualità dell'aria all'interno degli edifici, già sappiamo che questa è peggiorata nel '76 con l'introduzione dei vetrocamera, ma oggi come siamo messi? Iniziando l'analisi dagli edifici di progetto a "norma di legge" ci rendiamo conto che la situazione è ulteriormente peggiorata. Difatti l'ulteriore isolamento di questi ultimi, necessario al risparmio energetico, ha diminuito ancora i ricambi d'aria naturali, obbligando i residenti ad una maggiore frequenza nell'apertura delle finestre, cosa che di norma non avviene. Negli edifici di progetto abbiamo parzialmente risolto il problema utilizzando delle persiane al posto delle tapparelle (che obbligano ad aprire le finestre almeno due volte al giorno), ma non a tutti piacciono e non possiamo obbligare le persone ad aprire periodicamente le finestre per cambiare l'aria. Passando agli edifici CasaClima B le cose non migliorano, abbiamo gli stessi problemi di prima ed anche più accentuati, in quanto abbiamo più isolamento ed una tenuta all'aria maggiore. Il problema si risolve invece del tutto passando agli edifici negli standard CasaClima A, Minergie e

Passivhaus, in quanto l'impianto di areazione forzata con recupero di calore provvede ad un ricambio d'aria continuo, mantenendo quest'ultima sempre a livelli ottimali. Ad essere onesti abbiamo addirittura una qualità dell'aria interna migliore di quella esterna, in quanto i filtri anti polline posti all'ingresso del tubo d'aspirazione, ripuliscono quest'ultima prima che entri nell'edificio. Infine, la possibilità di regolare la quantità d'aria in entrata nei singoli ambienti, permette di mantenere una qualità dell'aria accettabile anche un ambienti con fumatori incalliti.

Passando alla temperatura delle pareti, si può tranquillamente affermare che in tutti gli edifici queste non avranno mai una temperatura superficiale interna inferiore ai 17°C. Rimane però il problema delle superfici interne dei ponti termici strutturali (esempio le giunzioni muro solaio), in quanto la temperatura di questi ultimi è di solito intorno ai 13° C. La situazione migliora negli edifici certificati CasaClima e Minergie, in cui la temperatura interna sale al di sopra dei 15° C, ed ulteriormente negli edifici Passivhaus in cui la temperatura si assesta intorno ai 17° C.

Passando dalle pareti ai serramenti, iniziano i problemi. Dalla termografia vediamo infatti che negli edifici "a norma di legge" la temperatura interna dei vetri scende fino a 13° C per salire a 15° C negli edifici CasaClima e Minergie ed arrivare a 17 ° C negli edifici realizzati nello standard Passivhaus. Un approfondimento lo merita però l'edificio con la serra, dove i vetri diventano radianti (caldi), aumentando notevolmente il comfort interno. Analizzando infine la temperatura del pavimento, notiamo subito come la situazione migliore l'abbiamo negli edifici con riscaldamento radiante a pavimento, ovvero gli edifici CasaClima A e Minergie. Questa temperatura rimanere buona nello standard Passivhaus (circa 19° C) e discreta negli edifici CasaClima B ed a "norma di legge".

Concludendo possiamo affermare che il comfort più alto lo abbiamo negli edifici che abbiamo progettato nello standard Passivhaus, che questo rimane di buona qualità negli edifici Minergie e CasaClima A, per poi abbassarsi a livelli sufficienti negli altri edifici da noi progettati.

14.6 Considerazioni finali

All'inizio del nostro scritto, ci eravamo posti la seguente domanda: "Tra i sistemi costruttivi in grado di garantire un significativo risparmio energetico ed un'importante contrazione dei consumi e delle risorse naturali, lo standard Passivhaus è per l'Italia il modello da seguire?". Possiamo tranquillamente dire che la risposta è sì, ma non solo. Difatti anche lo standard Minergie e lo standard CasaClima (nella classe A) sono in grado di garantire una forte riduzione dei gas serra mantenendo un alta qualità di comfort interno con una spesa aggiuntiva che si ripaga in meno di vent'anni (un tempo molto inferiore al ciclo di vita dell'edificio stesso). Se quindi realizzando un nuovo edificio possiamo ottenere un altissimo comfort interno inquinando in misura più che tollerabile per l'ambiente (semplicemente scegliendo di realizzare la nostra nuova casa in uno dei tre standard energetici analizzati), la cosa non è di così semplice soluzione per la riqualificazione dell'edilizia esistente. Problema non da poco visto che in Italia la quasi totalità degli edifici è stata costruita prima del 1970.

Patrimonio italiano dell'edilizia abitativa al 2010		
	Migliaia di appartamenti	Percentuale sul totale
Edifici storici - costruiti prima del 1919	4.754	16,7%
Edifici costruiti tra il 1919 ed il 1945	2.633	9,2%
Edifici costruiti tra il 1945 ed il 1960	4.096	14,4%
Edifici costruiti tra il 1961 ed il 1971	6.090	21,3%
Edifici costruiti tra il 1972 ed il 1981	4.941	17,3%
Edifici costruiti tra il 1982 ed il 1991	2.523	8,8%
Edifici costruiti tra il 1992 ed il 2001	1.785	6,3%
Edifici costruiti tra il 2001 ed il 2010	1.712	6%

Tabella 47 - Edifici in Italia - fonte CRESME

Per capire meglio il problema calcoliamo il fabbisogno energetico e l'indice di prestazione energetica invernale di un edificio realizzato a Vigevano negli anni '60.

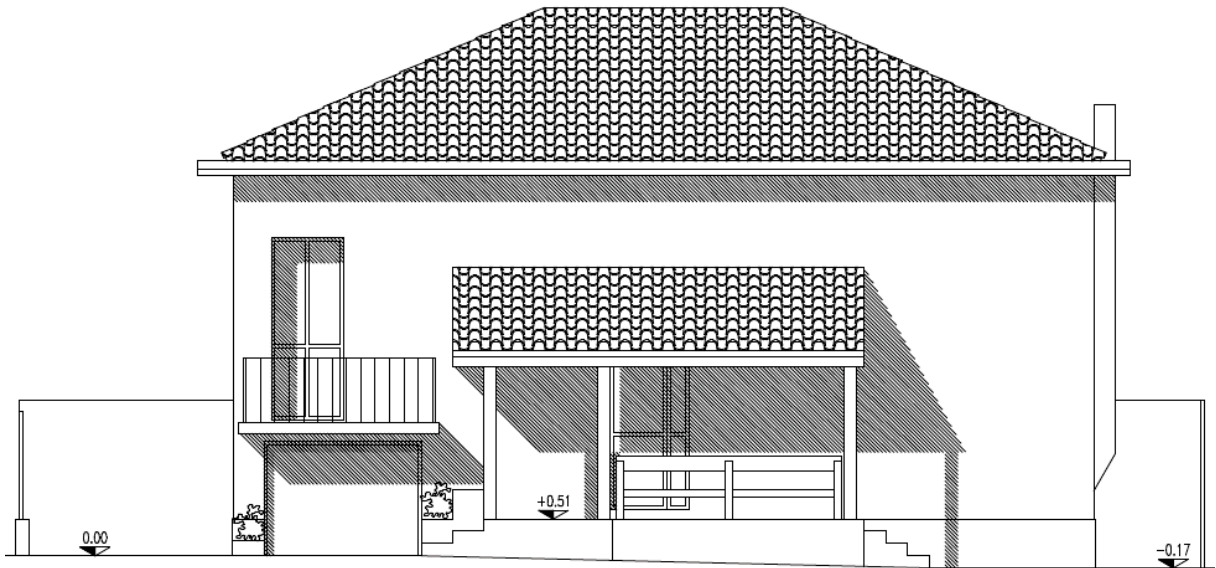


Figura 484 - Edificio anni '60: fronte nord - archivio personale

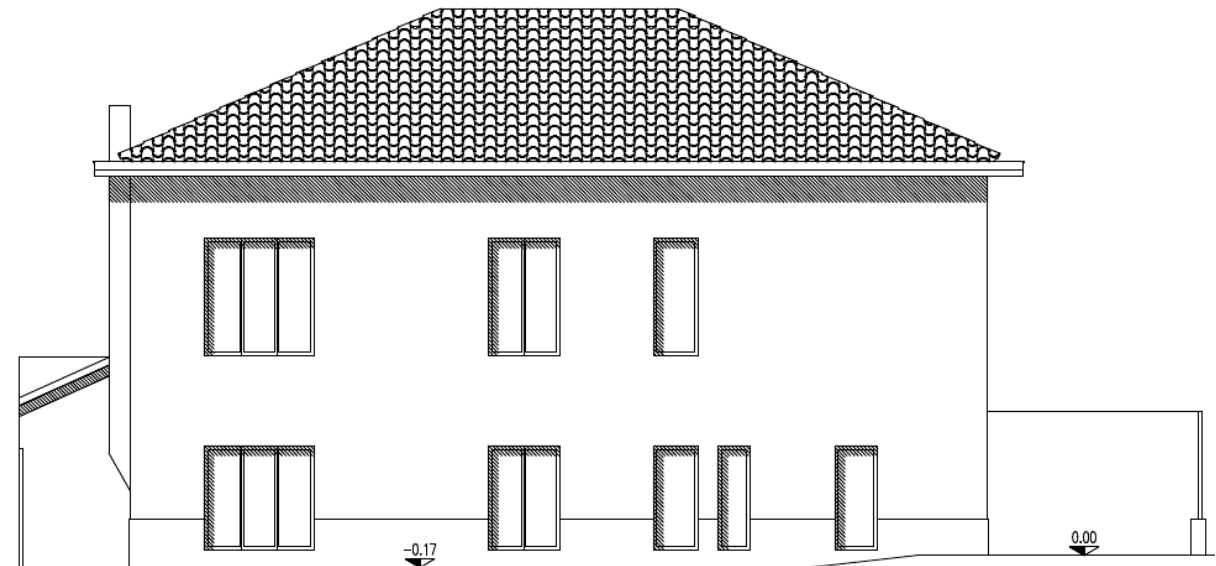


Figura 485 - Edificio anni '60: fronte sud - archivio personale

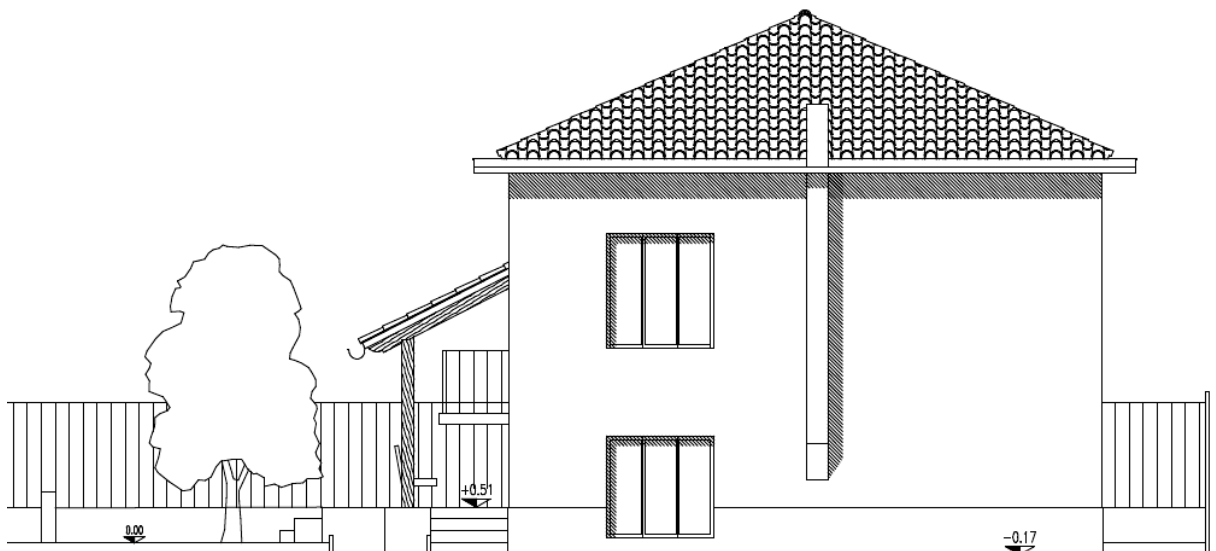


Figura 486 - Edificio anni '60: fronte ovest - archivio personale

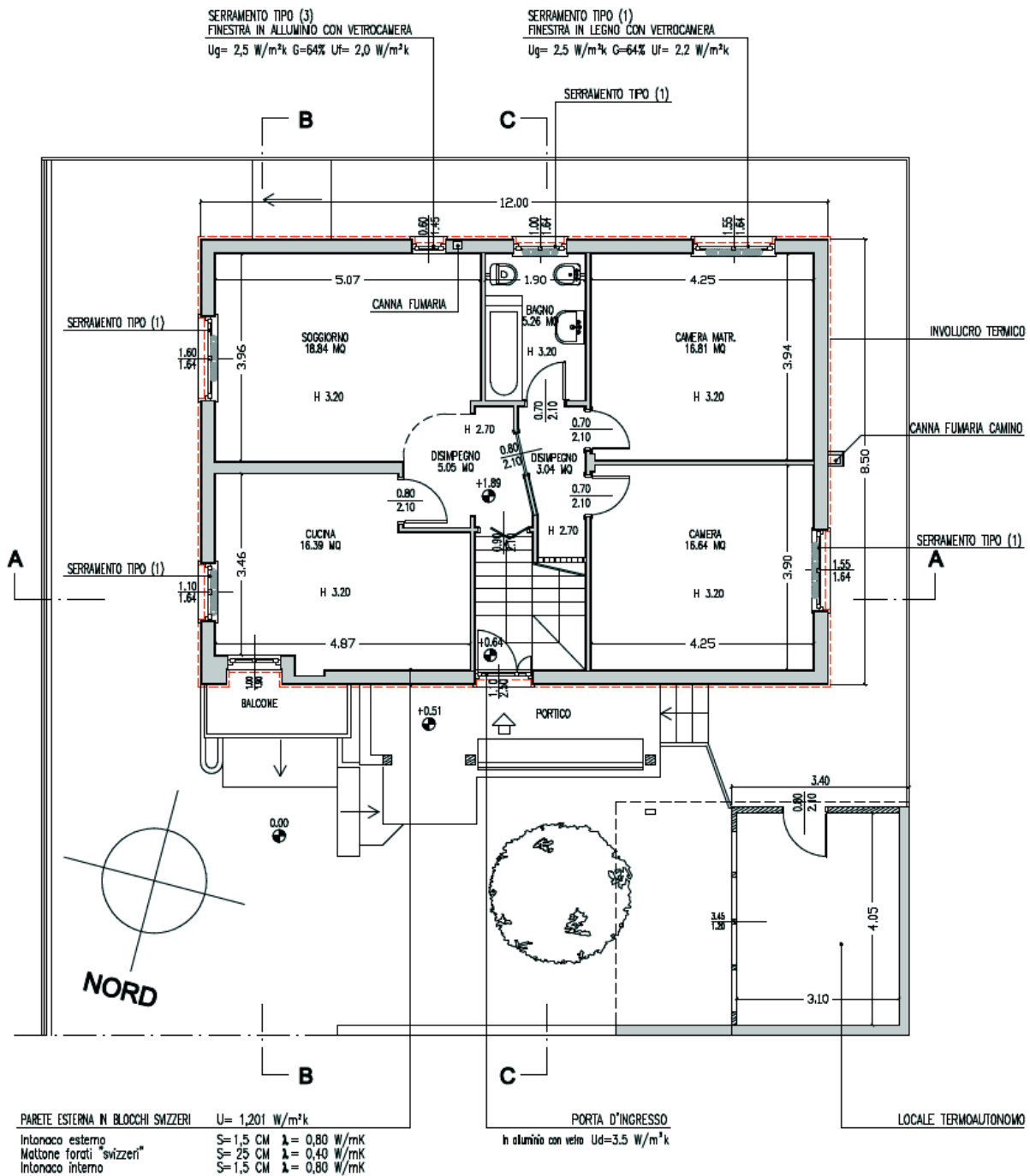


Figura 487 - Edificio anni '60: piano rialzato - archivio personale

Dai disegni possiamo osservare che l'edificio dispone di un piano seminterrato, inizialmente ad uso garage e successivamente condonato, adibito a zona giorno. Di una cantina posta sotto il piano seminterrato e di un piano rialzato adibito a zona notte (ma che conserva ancora la cucina ed il soggiorno originali). Il fronte principale è sul lato nord, dotato di portico ed antistante al giardino, mentre il lato a sud (come quello ad ovest) si trova a soli 1,50 m dal muro di confine, cosa che influisce negativamente sull'apporto di calore solare in inverno.

L'impianto di riscaldamento è ancora quello originale a termosifoni, anche se la caldaia, in origine a gasolio, è stata sostituita nel 2004 con una più moderna a metano.

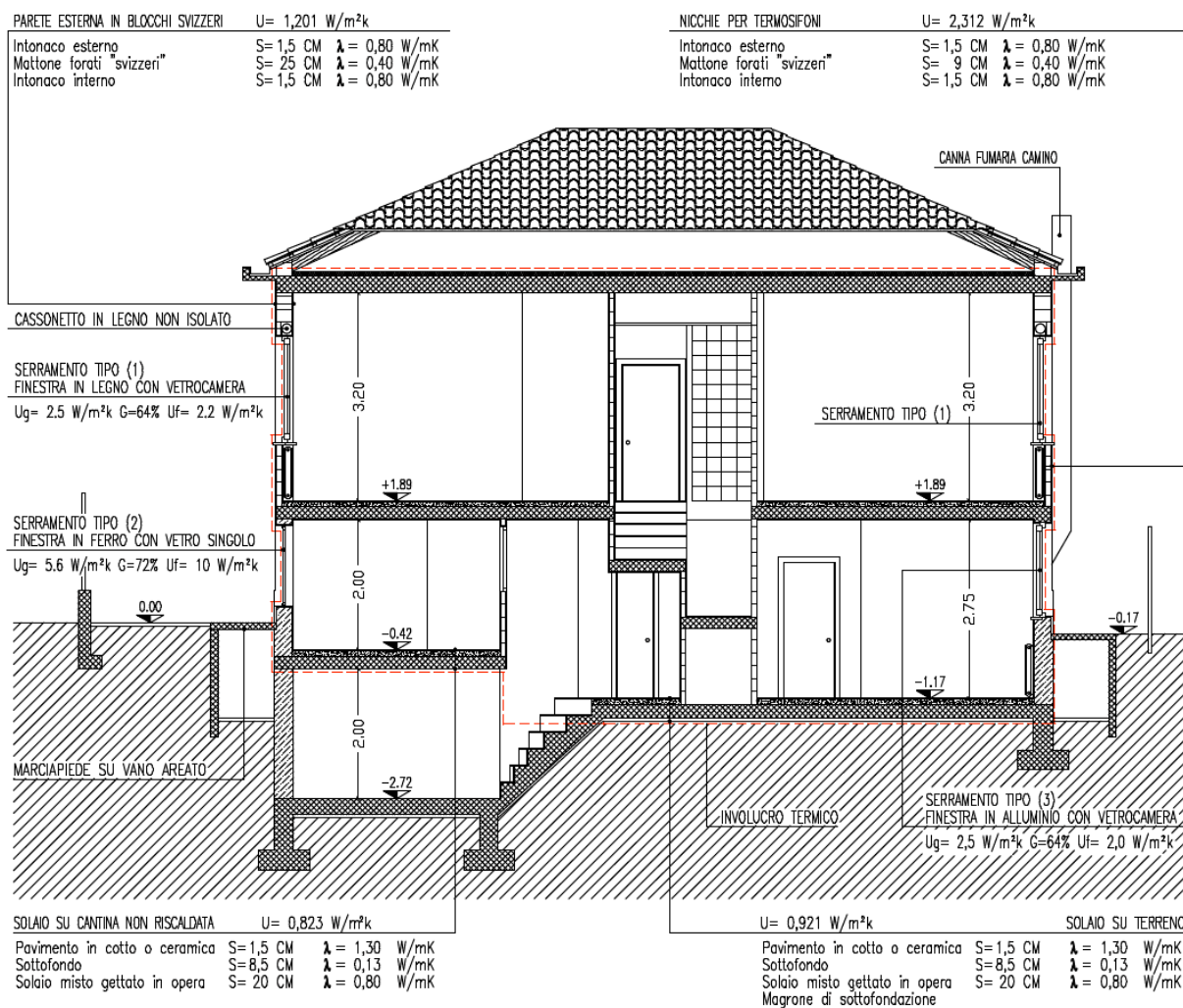


Figura 489 - Edificio anni '60: sezione A-A - archivio personale

Attorno all'edificio, dalla quota di calpestio del marciapiede fino alla fondazione, è presente un fosso per aerare la parete e proteggerla dall'umidità, chiuso da un marciapiede perimetrale dotato di bocche di lupo per l'accesso e l'ispezione del fosso. Dall'analisi effettuata precedentemente sugli extra costi degli edifici a risparmio energetico, intuivamo già che effettuare un intervento di riqualificazione energetica fine a se stesso, per esempio un cappotto esterno, non è economicamente conveniente. Per riqualificare un edificio esistente bisogna infatti attendere che l'edificio necessiti di lavori di ristrutturazione, anche il più semplice, come la tinteggiatura delle facciate.

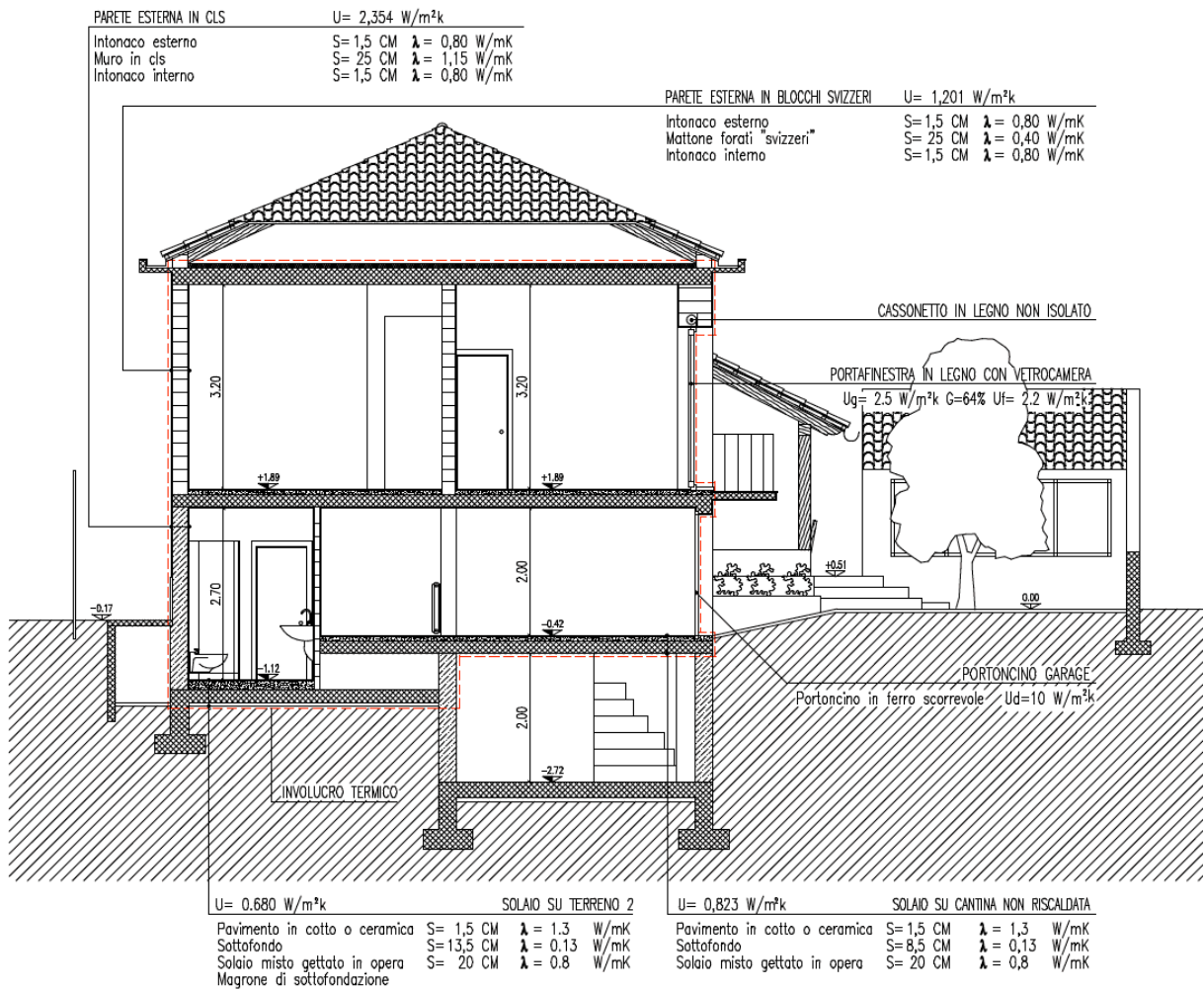


Figura 490 - Edificio anni '60: sezione B-B - archivio personale

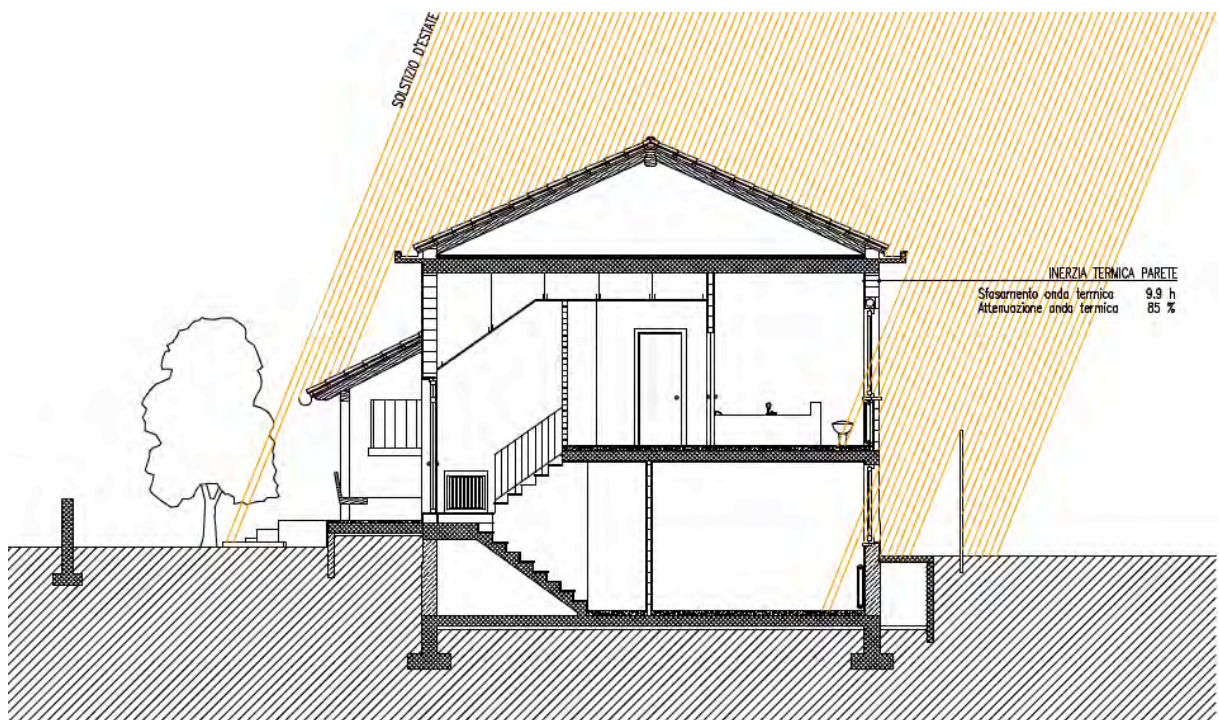


Figura 491 - Edificio anni '60: bilancio energetico estivo - archivio personale

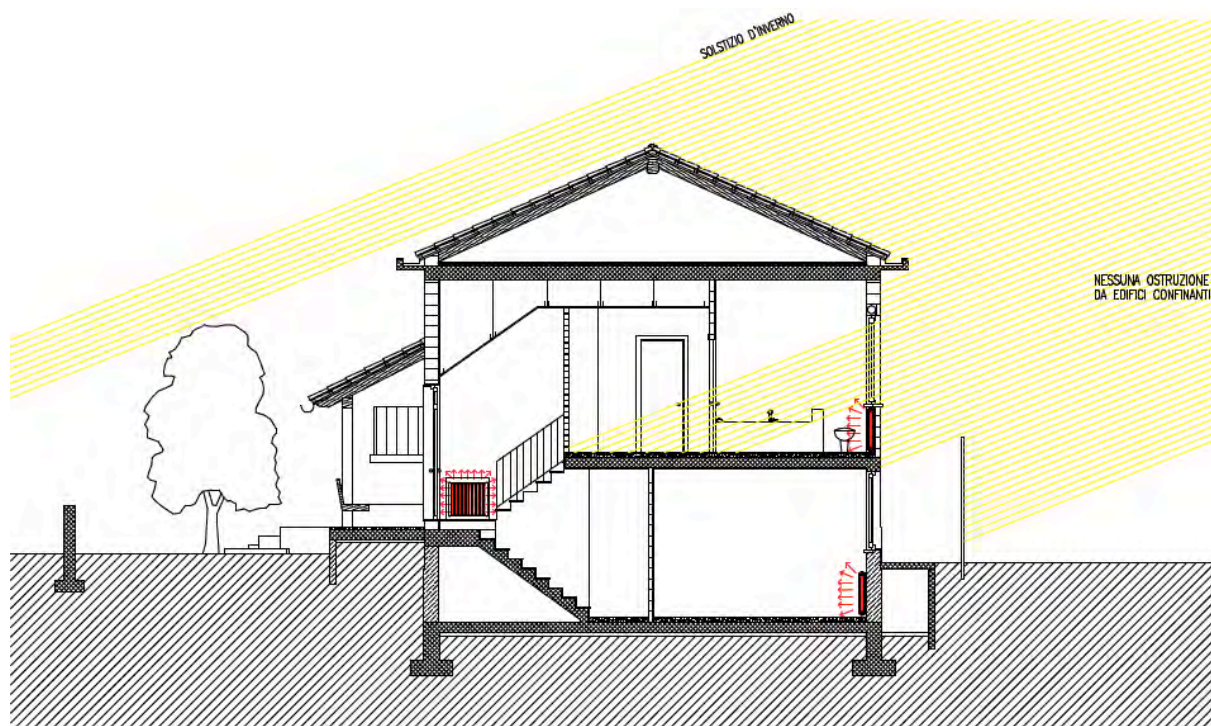


Figura 492 - Edificio anni '60: bilancio energetico invernale - archivio personale

In questo modo, avendo già preventivato la spesa per ponteggi, manodopera ecc, si limitano gli extra costi ai soli materiali isolanti. Fortunatamente, i proprietari della villetta vogliono recuperare il sottotetto per ricavarne un appartamento indipendente da dare al figlio. Procediamo quindi con l'analisi energetica dell'edificio esistente, da cui ricaviamo che il nostro edificio ha un fabbisogno di calore di 197 kWh/m²a ed un indice di prestazione energetica di 260 kWh/m²a (classe G della certificazione Cened).

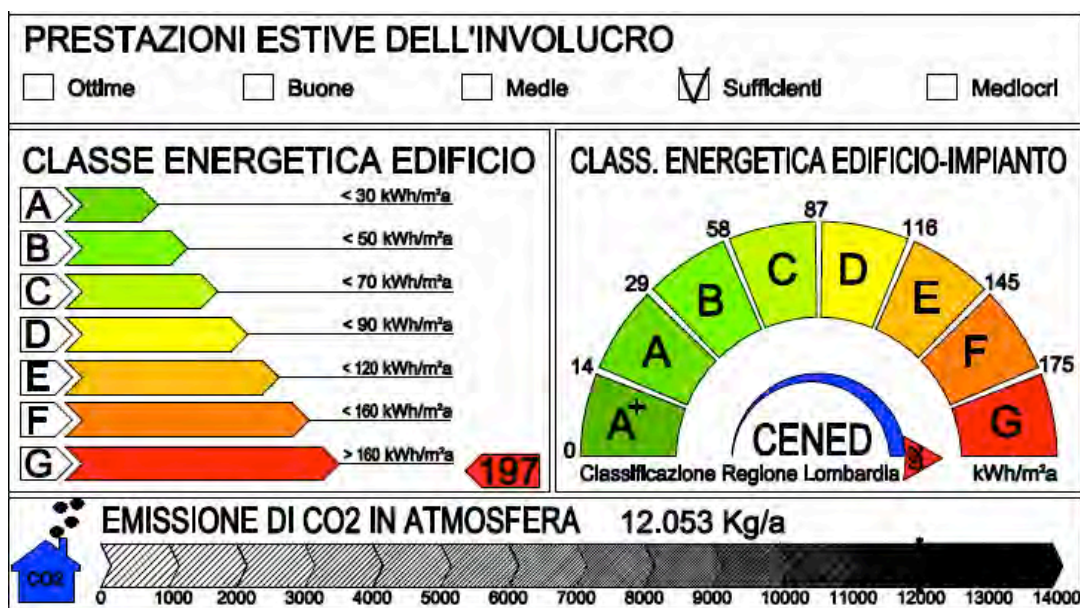


Figura 493 - Edificio anni '60: quadro riassuntivo - archivio personale

Proseguiamo quindi col progetto di recupero del sottotetto, da effettuarsi tenendo ben presenti le richieste della committenza (ingresso indipendente ed ampi balconi a sostituzione del giardino) e le caratteristiche strutturali dell'edificio (irrigidimento dell'ultimo solaio con una soletta collaborante ed un tetto autoportante in legno).



Figura 494 - Edificio anni '60 riqualificato: fronte nord - archivio personale



Figura 495 - Edificio anni '60 riqualificato: fronte sud - archivio personale

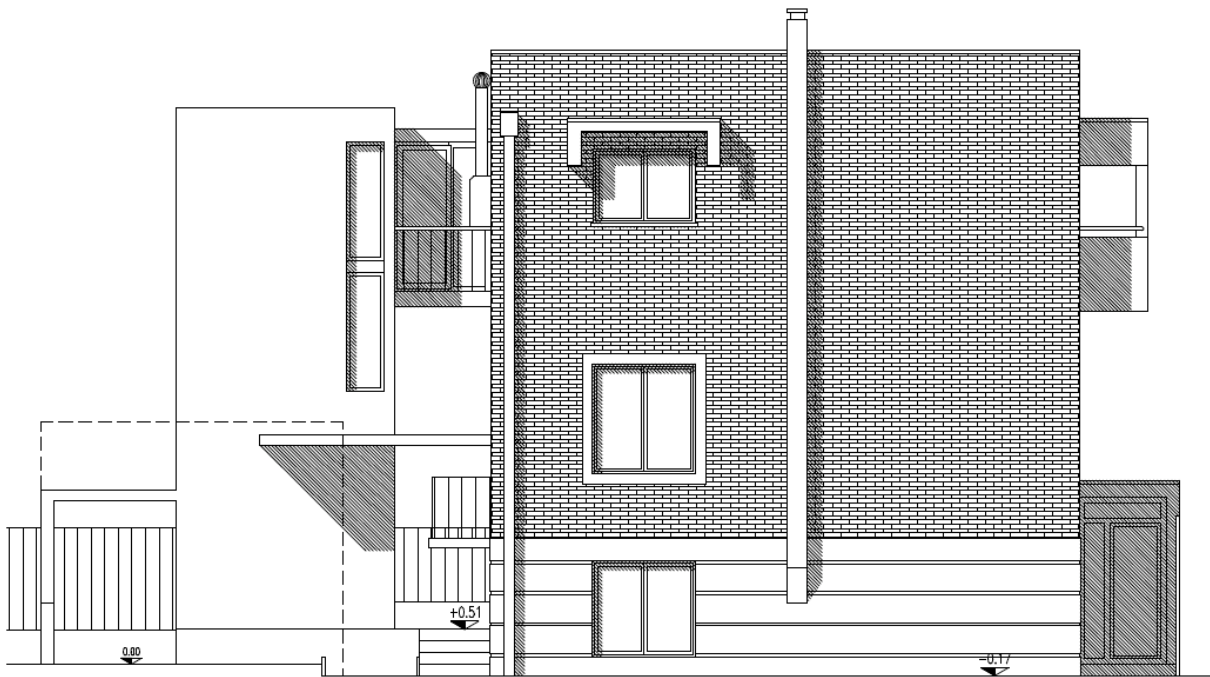


Figura 496 - Edificio anni '60 riqualificato: fronte ovest - archivio personale



Figura 497 - Edificio anni '60 riqualificato: fronte est - archivio personale

Non ignorando tutto quanto appreso finora, progettiamo l'edificio con grandi superfici finestrate a sud e nessuna a nord, portiamo i pluviali all'esterno e dimensioniamo i balconi in modo che non ostacolino l'accesso del sole nella stagione invernale. Proseguiamo poi con la disposizione interna dei locali. Su richiesta della committenza, avendo l'edificio esistente dei

serramenti in alluminio con tapparelle, li riproponiamo anche nel locale mansarda, utilizzando però serramenti con telaio in alluminio ad alte prestazioni e cassonetti coibentati.

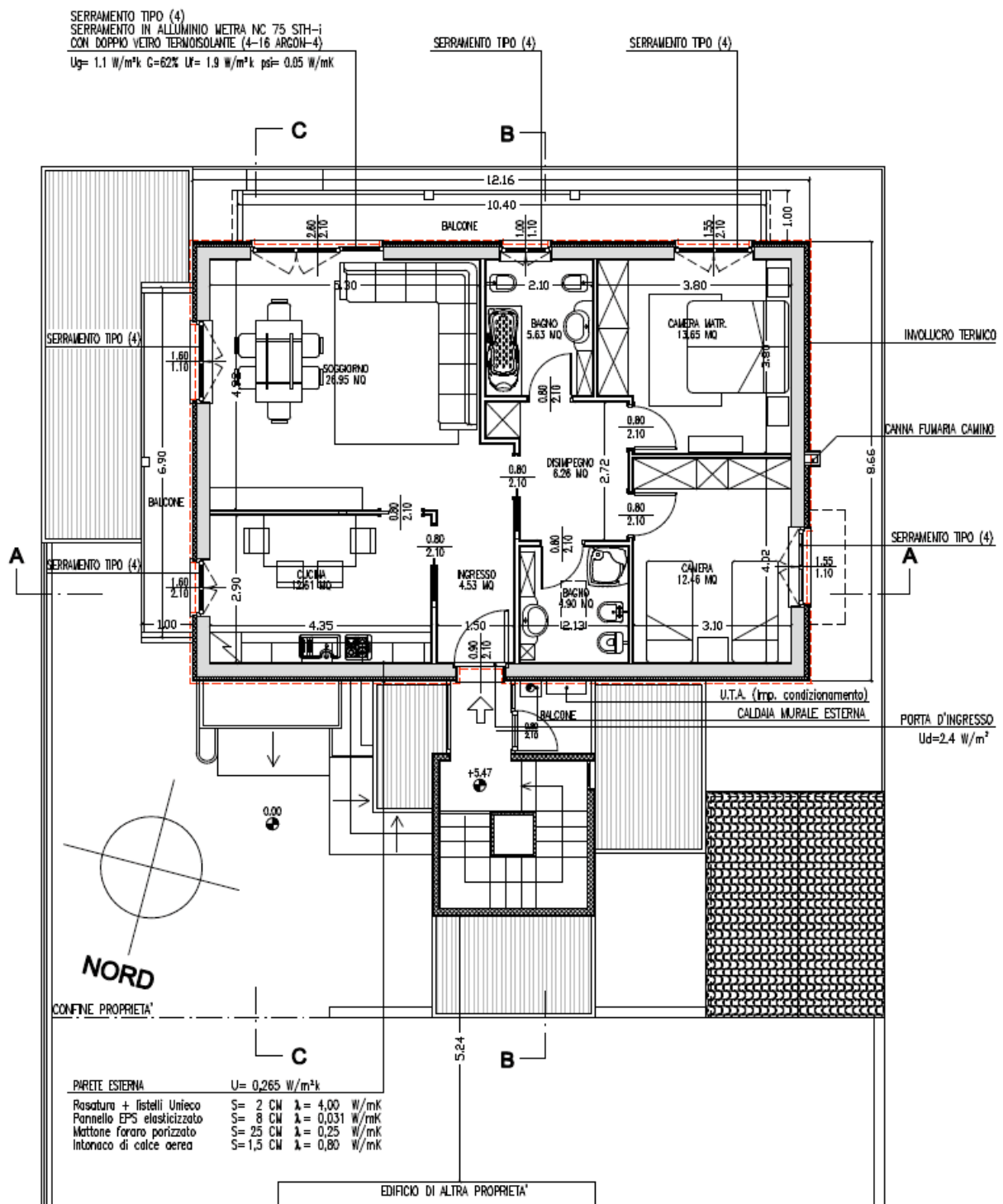


Figura 498 - Edificio anni '60 riqualificato: piano mansarda - archivio personale

Avendo come obiettivo anche la riqualificazione dell'esistente, la scelta più ovvia per l'isolamento ricade sull'utilizzo di un cappotto esterno, che questa volta realizziamo in EPS utilizzando un pacchetto commercializzato dalla Unieco. Si tratta di una parete composta da:

1) Mattone forato porizzato;

2) Pannello in EPS elasticizzato da 8 fino a 12 cm di spessore;

3) Rasatura e listelli in cotto faccia a vista;

da rifinire all'interno con intonaco (sulle pareti esistenti si utilizzano i soli pannelli in EPS con i listelli in cotto su rasatura). Per iniziare optiamo per il pannello in EPS da 8 cm di spessore. Per l'isolamento del tetto, optiamo invece per dei pannelli in lana di roccia da 16 cm.

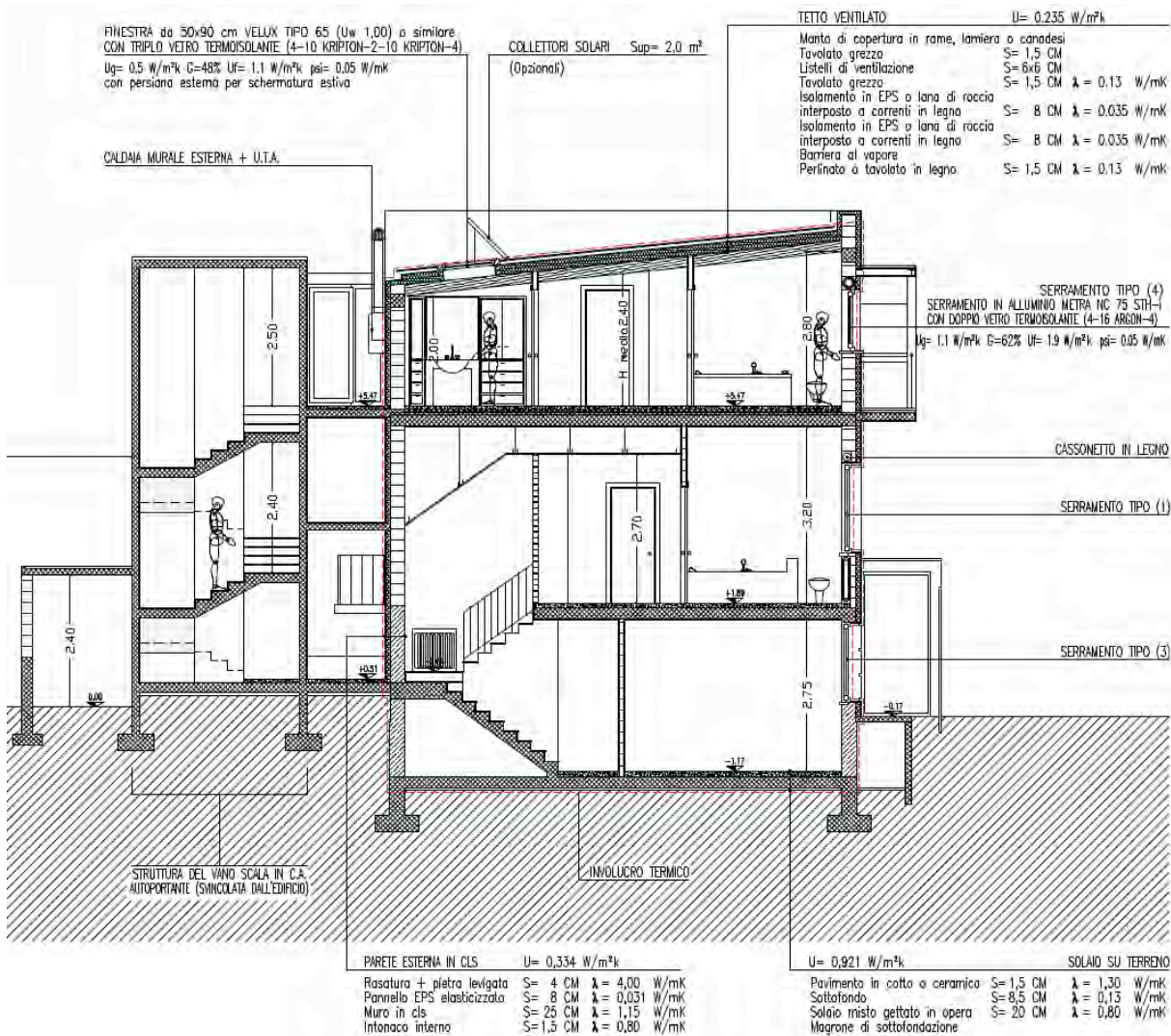


Figura 499 - Edificio anni '60 riqualificato: sezione B-B - archivio personale

Come sistema impiantistico optiamo per un sistema radiante a pavimento alimentato da una caldaia a condensazione esterna, supportata da un collettore solare (non obbligatorio negli ampliamenti) di 2 m^2 di superficie per la produzione dell'acqua calda sanitaria. Reinseriamo

quindi tutti i dati nel software e ricaviamo il fabbisogno di calore e l'indice di prestazione energetica della mansarda e dell'edificio esistente.

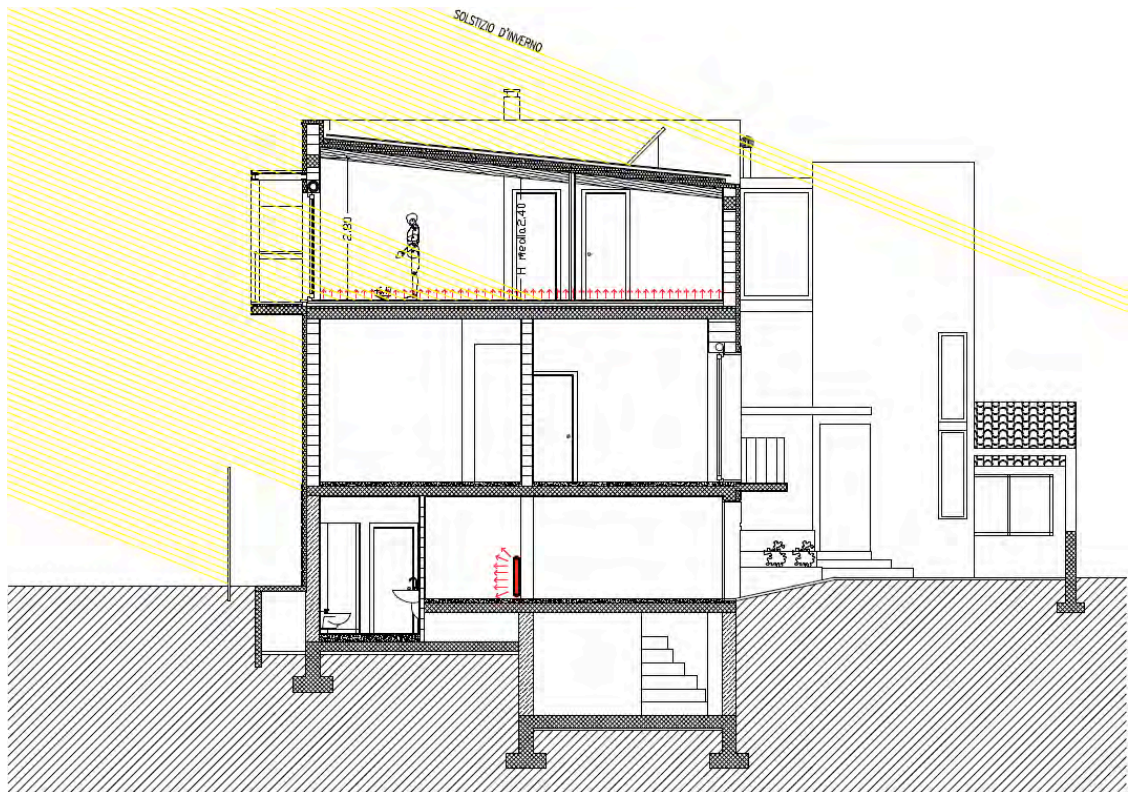


Figura 500 - Edificio anni '60 riqualificato: bilancio energetico invernale - archivio personale

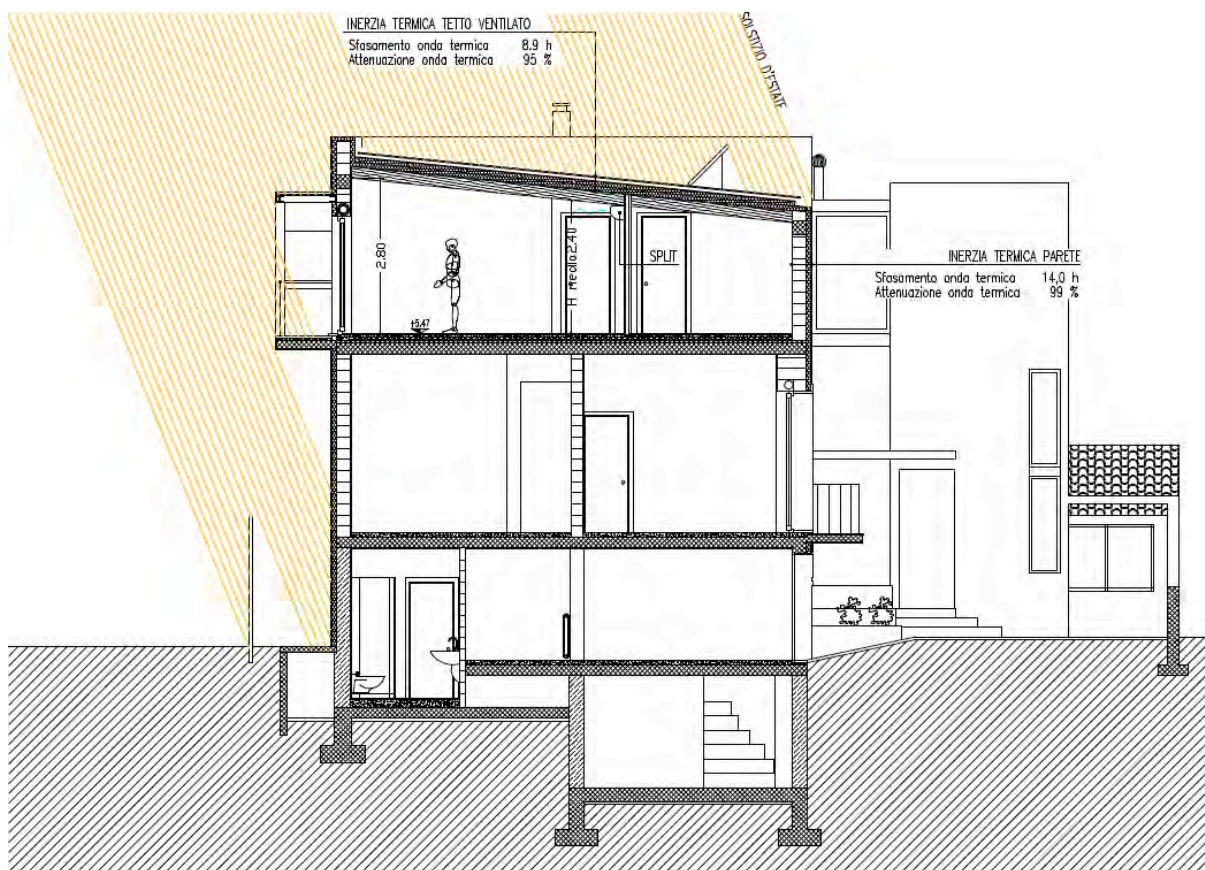


Figura 501 - Edificio anni '60 riqualificato: bilancio energetico estivo - archivio personale

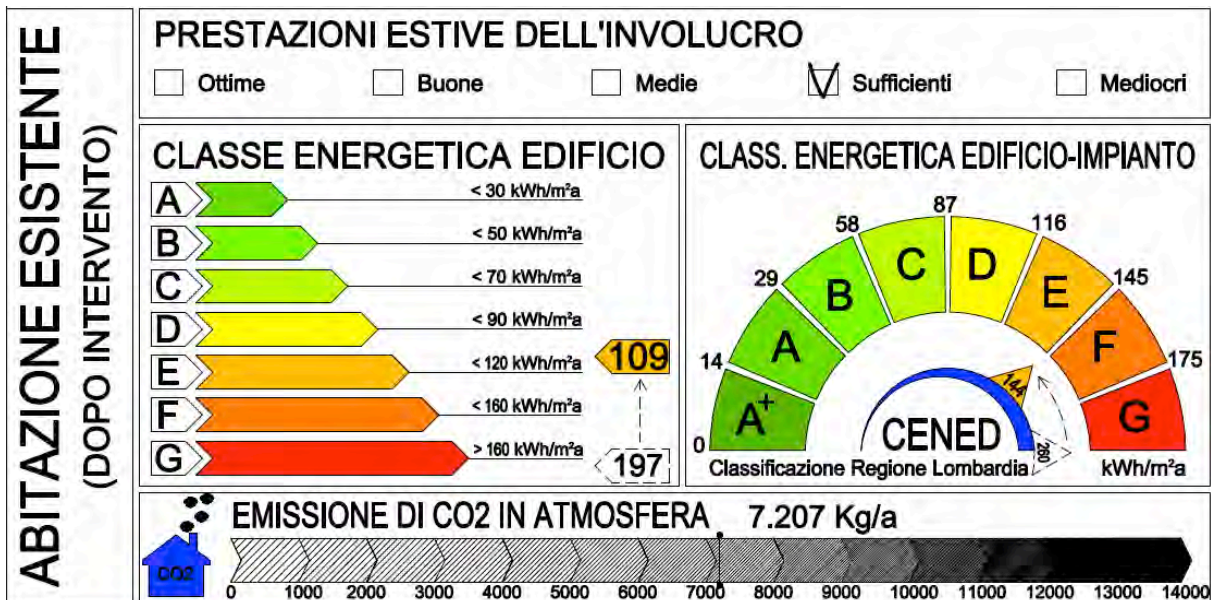


Figura 502 - Edificio anni '60 riqualificato: quadro riassuntivo edificio esistente - archivio personale

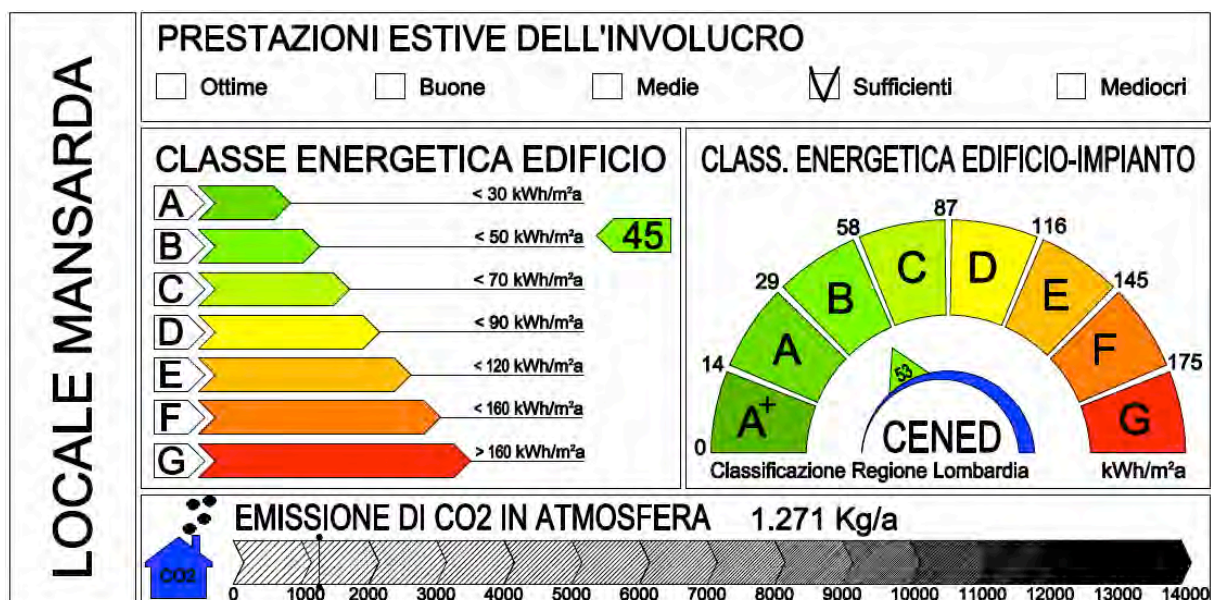


Figura 503 - Edificio anni '60 riqualificato: quadro riassuntivo mansarda - archivio personale

Dall'analisi notiamo con piacere che l'edificio esistente è passato dalla classe G alla classe E, dimezzando in pratica le spese di riscaldamento con un costo minimo. La mansarda invece risulta avere un fabbisogno di calore di 45 kWh/m²a, che assieme all'impianto scelto danno un indice di prestazione energetica di 53 kWh/m²a (classe B della certificazione Cened). Notando poi che le prestazioni estive dell'involucro sono "sufficienti", inseriamo nel progetto un impianto per l'aria condizionata.

Adesso, prima di buttarci a testa bassa nella progettazione della mansarda seguendo i protocolli CasaClima, Minergie o Passivhaus, fermiamoci un attimo a riflettere. Dovendo tenere in debita considerazione le richieste della committenza, vediamo che lo standard più accessibile, anche economicamente, è il CasaClima B. Ci basta infatti intervenire sul collegamento dei balconi col solaio per avere soddisfatti tutti i requisiti necessari. Per proseguire oltre ci servirebbe un impianto di areazione forzata con recupero di calore, cosa si fattibile, ma che richiederebbe un appesantimento del solaio per il passaggio delle tubazioni ed un apposito locale per l'installazione dell'impianto. Possiamo quindi concludere che se per i nuovi edifici gli standard Minergie, CasaClima e Passivhaus sono altamente consigliati, per la riqualificazione dell'esistente bisogna valutare la loro fattibilità caso per caso, senza impuntarsi in una progettazione contraria alla volontà della committenza e più costosa del necessario.

BIBLIOGRAFIA

Libri

- M. Balzani, *Architettura sostenibile*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editori, 2009.
- C. Benedetti, *Progetto ambiente*, Roma, Edizioni Kappa, 2003.
- L. Berta, M. Bovati, *Progettare con il legno*, Santarcangelo di Romagna, Maggioli Editori, 2007.
- D. Bori, *Il raffrescamento passivo degli edifici*, Bracigliano, Sistemi editoriali, 2009.
- C. Carletti, F. Sciarpi (a cura di), *Passivhaus*, Bologna, Pitagora Editrice, 2005.
- A. Carotti, D. Madè (a cura di). *La Casa Passiva in Italia*, Rockwool, 2006
- G. Colombo, *Lo stato dell'arte nella progettazione degli edifici passivi*, Firenze, Edizioni Alinea, 2006.
- P. Erlacher, R. Erlacher, *Casaclima in muratura massiccia*, Bolzano, Edizioni Raetia, 2007.
- G. Gantioler, *Introduzione generale alle case passive*, Bolzano, Edizioni TBZ, 2009.
- G. Gantioler, *Atti del primo convegno sulle case passive*, Bolzano, Edizioni TBZ, 2008.
- G. Gantioler, *Atti del secondo convegno sulle case passive*, Bolzano, Edizioni TBZ, 2008.
- M. Grosso e G. Scudo, *Edilizia sostenibile*, Napoli, Sistemi editoriali, 2008.
- N. Lantschner, *Casaclima vivere nel più*, Bolzano, Edizioni Raetia, 2006.
- N. Lantschner, *Casaclima il piacere di abitare*, Bolzano, Edizioni Raetia, 2008.
- N. Lantschner, *La mia Casaclima*, Bolzano, Edizioni Raetia, 2006.
- M. Marocco, *Progettazione e costruzione bioclimatica dell'architettura*, Roma, Edizioni Kappa, 2000.
- A. Rogora, *Architettura e bioclimatica*, Napoli, Sistemi editoriali, 2006.
- T. Schrentewein, *Casaclima costruire in legno*, Bolzano, Edizioni Raetia, 2008.
- U. Wienke, *L'edificio passivo*, Firenze, Alinea editrice, 2002.
- U. Wienke, *Aria Calore Luce*, Firenze, DEI editore, 2005.
- C. Zappone, *La serra solare*, Napoli, Sistemi editoriali, 2008.

Opuscoli

- AA.VV, *Lo standard passivhaus nei climi caldi europei - parte 1*, Nottingham, 2008
- AA.VV, *Lo standard passivhaus nei climi caldi europei - parte 2*, Milano, 2008
- AIRNOVA, *La misura della ventilazione*, Padova, Edizioni Airnova, 2008.
- ENEA, *L'energia fotovoltaica*, Viterbo, Edizioni Altea, 2006.
- ENEA, *L'energia eolica*, Roma, Edizioni Altea, 2003.
- ENEA, *La pompa di calore*, Viterbo, Edizioni Altea, 2006.
- ENEA, *Risparmio energetico nella casa*, Viterbo, Edizioni Altea, 2003.

Siti internet

- www.agenziacasaclima.it
- www.airnova.it
- www.anit.it
- www.enea.it
- www.euleb.info
- www.europa.eu
- www.ipcc.ch
- www.minergie.ch
- www.miniwatt.it
- www.passiv.de
- www.passive-on.org
- www.tbz.bz