



POLITECNICO DI MILANO
FACOLTÀ DI ARCHITETTURA E SOCIETÀ
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN ARCHITETTURA

Edifici a energia zero in Europa: casi di studio e prospettive future

Relatore: Professoressa Monica Lavagna

Alessandra Renata Appiani
matricola: 750332

A.A. 2010/2011

Indice

Indice delle figure	4
Indice delle tabelle	17
Abstract	19
Introduzione	21
1 Risparmio energetico e riduzione dei gas a effetto serra	25
1.1 Accordi internazionali: il protocollo di Kyoto	28
1.2 Evoluzione normativa a livello europeo	30
1.2.1 Un caso significativo: l'Inghilterra	35
1.3 Evoluzione normativa a livello italiano	37
1.4 Conclusioni	40
2 Sviluppo di una nuova coscienza sulla necessità di risparmiare energia	45
2.1 Strategie per la progettazione di edifici energeticamente efficienti	45
2.1.1 Architettura bioclimatica	46
2.1.2 Casa Passiva	49
2.1.3 Passivhaus	50
2.1.3.1 Principi di progettazione passiva	52
2.2 Conclusioni	53
3 Edifici ad energia zero. Definizioni e interpretazioni.	57
3.1 Zero Carbon Home. Analisi di alcune definizioni	58
3.2 Zero Energy Building. Analisi di alcune definizioni	59
3.3 Punti chiave per definire un Net-Zero Energy Building	67
3.3.1 Unità di misura	68
3.3.2 Periodo del bilancio	68

3.3.3	Tipi di consumo energetico	69
3.3.4	Tipi di bilancio	70
3.3.5	Fonti utilizzate per la produzione in sito di energia. Fonti energetiche rinnovabili.	71
3.3.6	Confini del sistema rispetto al quale calcolare il bilancio	71
3.3.7	Connessione con la rete	72
3.4	Efficienza energetica negli edifici ad energia zero	74
3.4.1	Criteri di comfort interno	76
3.5	Recepimento normativa negli stati membri europei	77
3.5.1	Il caso della Germania	79
3.5.2	Il caso della Svizzera	79
3.5.3	Il caso della Danimarca	80
3.5.4	Il caso dell'Austria	81
3.5.5	Il caso della Norvegia	81
3.6	Conclusioni	83
4	Scelta e trattazione dei casi studio	87
4.1.	Caso studio 1 - Residential Home, Riehen	91
4.2	Caso studio 2 – Scuola elementare, Wolfurt Mähdle	95
4.3	Caso studio 3 – Sede generale Marchè	99
4.4	Caso studio 4 – Edificio EnerPos	104
4.5	Caso studio 5 – Comunità Energy plus, Weiz	109
4.6	Caso studio 6 – Centro ricreativo, Monheim	113
4.7	Caso studio 7 – Scuola elementare, Laion	117
4.8	Caso studio 8 – Kraftwerk B, Bennau	121
4.9	Caso studio 9 – Klee Häuser, Friburgo	126
4.10	Caso studio 10 – Scuola elementare, Hohen Neuendorf	130
4.11	Caso studio 11 - Ufficio + appartamenti, Villach	134
4.12	Caso studio 12 – Edificio per uffici Solar XXI, Lisbona	138
4.13	Caso studio 13 – Sede generale Solon; Berlino	142
4.14	Caso studio 14 – Struttura ricreativa marina, Steinhude	146
4.15	Caso studio 15 – Concorso edificio residenziale BOLIG+, Aalborg	148

4.16	Caso studio 16 – Comunità solare, Friburgo	152
4.17	Caso studio 17 – Home for life, Lystrup	157
4.18	Caso studio 18 – Leaf House, Ancona	162
4.19	Caso studio 19 – The Lighthouse, Watford	167
4.20	Caso studio 20 – Green Lighthouse, Copenhagen	172
4.21	Caso studio 21 – Stabilimento Solvis, Braunschweig	177
4.22	Caso studio 22 – Quartier generale WWF, Zeist	182
4.23	Caso studio 23 – Naturalia-Bau, Merano	186
4.24	Caso studio 24 – Blaue Heimat, Heidelberg	190
4.25	Caso studio 25 – Edificio residenziale prototipo SOLTAG, Hørsholm	195
5	Riflessioni conclusive	200
5.1	Ruolo dell'utenza sui consumi	201
5.1.1	Incentivi per un comportamento positivo dell'utenza	202
5.2	Risorse rinnovabili: tendenze e analisi benefici	203
5.2.1	Fotovoltaico	204
5.2.1.1	Analisi dei costi e benefici dell'impianto fotovoltaico considerando gli incentivi	204
5.2.1.2	Analisi dei costi e benefici dell'impianto fotovoltaico non considerando gli incentivi	206
5.2.1.3	Analisi dell'energia grigia dell'impianto fotovoltaico	207
5.2.1.4	Produzione cinese. Impatti di trasporto dallo stabilimento al cantiere	218
5.2.1.5	Analisi delle emissioni di anidride carbonica	210
5.2.2	Biomasse: impatto e bilancio emissioni	213
5.3	ZEB e integrazione con il contesto urbano	214
	Bibliografia	217

Indice delle figure

Primo capitolo

Figura 1.1: Uso delle risorse tecnologicamente accelerato (sopra) e uso sostenibile delle risorse (sotto); Fonte: M. Wackernagel, W. Rees, 1996;	25
Figura 1.2: La mappa della salute; Fonte: H. Barton, M. Grant, 2006;	26
Figura 1.3: Impronta ecologica confrontata con la capacità di biologica (sinistra) e le componenti dell'impronta (destra) nei paesi della EEA, 1961-2006; Fonte: Global Footprint Network, 2008;	26
Figura 1.4: Stato di conservazione degli habitat delle comunità appartenenti all'EEA nel 2008; Fonte: European Environment Agency , 2010;	26
Figura 1.5: Strategie da rispettare nelle politiche relative all'ambiente; Fonte: European Environment Agency , 2010;	27
Figura 1.6: Catena del ciclo di vita delle risorse: estrazione - produzione - consumo - rifiuto; Fonte: European Environment Agency , 2010;	27
Figura 1.7: Emissioni di gas ad effetto serra, espresse in percentuali, nel 2008; Fonte: European Environment Agency , 2010;	28
Figura 1.8: Emissioni di gas ad effetto serra, espresse in tonnellate di CO ₂ a persona, calcolate per i paesi dell'Unione Europea nel 2008; Fonte: European Environment Agency , 2010;	28
Figura 1.9: Cambiamento della temperatura di superficie globale, calcolata dal 1980 al 1999; Fonte: Intergovernmental panel on climate change, 2007;	29
Figura 1.10: Emissioni totali di CO ₂ , suddivise per Nazioni, calcolate dal 1990 al 2030; Fonte: European Environment Agency , 2010;	29
Figura 1.11: Cambiamento delle emissioni di gas serra negli Stati Membri dal 1990-2010 (sinistra) e 2009-2010 (destra); Fonte: European Environment Agency , 2011;	29
Figura 1.12: Crescita della domanda di energia nel mondo fino al 2030, con un tasso medio di incremento del 1.8%; Fonte: European Environment Agency , 2010;	29
Figura 1.13: Emissioni CO ₂ , suddivise per settori, nei paesi dell'Unione Europea nel 2010(sopra) e cambiamenti dal 1990 al 2010; Fonte: European Environment Agency , 2010;	30
Figura 1.14: Utilizzo di risorse rinnovabili dal 2007 al 2020; Fonte: European Environment Agency , 2010;	30
Figura 1.15: Grafico sui differenti scopi e metodi di calcolo per la valutazione di edifici energeticamente efficienti; Fonte: K. E. Thomsen, K. B. Wittchen, 2008;	32
Figura 1.16: Linea temporale per raggiungere l'obiettivo zero Energy Building;	35
Figura 1.17: Emissioni domestiche di CO ₂ in UK. In media gli edifici residenziali sono responsabili di 1.54 tCO ₂ /a; Fonte: www.communities.gov.uk;	36

Figura 1.18: Schema del programma dettato dal Code for Sustainable Home. Il programma prevede che dal 2016 tutte le emissioni degli edifici residenziali siano compensate in sito o tramite generazione con connessione dedicata; Fonte: www.communities.gov.uk;	36
Figura 1.19: Emissioni di CO ₂ dell'Italia, suddivise per settori, calcolate al 2007; Fonte: Enea, 2007;	37
Figura 1.20: Scenario di riduzione di CO ₂ per famiglia di tecnologie nel 2020 e 2050; Fonte: Enea, 2010;	37
Figura 1.21: Consumi finali di energia per settore dal 2000 al 2009; Fonte: Enea, 2010;	37
Figura 1.22: Produzione italiana per fonte primaria nel 2009 (GWh e percentuali); Fonte: Enea, 2010;	39
Figura 1.23: Elettricità da fonti non convenzionali in Italia; Fonte: Enea, 2010;	39
Figura 1.24: Produzione di calore da fonti rinnovabili in Italia dal 2000 al 2009; Fonte: Enea, 2010;	39
Figura 1.25: Mix di energia da fonti rinnovabili nel 2020; Fonte: Enea, 2010;	40

Secondo capitolo

Figura 2.1: Gli edifici non sono un prodotto industriale serializzato: ogni edificio è un unicum e viene fortemente influenzato dal contesto in cui si inserisce; Fonte: Christian Schittich, 2006;	45
Figura 2.2: Edifici tradizionali nel rispetto della zona climatica in cui si inseriscono (sinistra) e perdite di calore calcolate nelle diverse forme con lo stesso volume (destra); Fonte: Hegger Fuchs, Stark Zeumer, 2008;	46
Figura 2.3: Determinazione della posizione del sole rispetto alla terra mediante l'altezza precisata dall'angolo β e dell'azimut α ; Fonte: V. Olgyay, 1981;	46
Figura 2.4: Ventilazione tramite effetto camino; Fonte: S. Capolongo, L. Daglio, I. Oberti, 2002;	46
Figura 2.5: Studi relativi all'orientamento dell'edificio nel lotto: diagramma del valore eliotermico (sinistra), orientamento equisolare (centro) e orientamento nord-sud (destra);	47
Figura 2.6: Diagramma bioclimatico per gli abitanti della zona temperata degli USA, valido per un'altezza non sup. ai 300 m e per persone con abiti da casa leggeri (1 Clo), intenti in attività sedentarie; Fonte: V. Olgyay, 1981;	47
Figura 2.7: Diagramma bioclimatico schematico; Fonte: V. Olgyay, 1981;	47
Figura 2.8: Variazione dei flussi d'aria all'interno degli edifici in funzione della diversa direzione del vento; Fonte: P. Gallo (a cura di), 2010;	47
Figura 2.9: Localizzazione di un edificio in un contesto costruito in relazione al vento; Fonte: F. Bigi, A. Carosi, 2007;	47
Figura 2.10: Rappresentazione schematica della composizione in pianta e della forma di un edificio progettato secondo il clima; Fonte: Hegger Fuchs, Stark Zeumer, 2008;	48
Figura 2.11: Progettazione dei diversi sistemi di ombreggiamento fissi; Fonte: V. Olgyay, 1981;	48
Figura 2.12: Posizione delle alberature per ottenere un efficace ombreggiamento; Fonte: F. Bigi, A. Carosi, 2007;	48
Figura 2.13: Sistemi a guadagno diretto; Fonte: F. Bigi, A. Carosi, 2007;	49

Figura 2.14:Sistemi a guadagno indiretto: muro di Trombe, funzionamento del sistema in estate e in inverno; Fonte: F. Bigi, A. Carosi, 2007;	49
Figura 2.15:Sistema isolati: tipo Barra-Costantini; Fonte: F. Bigi, A. Carosi, 2007;	50
Figura 2.16:Sistema isolati: la serra; Fonte: S. Capolongo, L. Daglio, I. Oberti,2002;	50
Figura 2.17:Suddivisione interna degli alloggi e corretto orientamento delle funzioni; Fonte: S. Capolongo, L. Daglio, I. Oberti,2002;	50
Figura 2.18: Principi per la progettazione di una Passivhaus; Fonte: J. Lausten, 2008;	51
Figura 2.19: Due esempi d'infissi progettati correttamente; Fonte: J. Lausten, 2008;	51
Figura 2.20: Costi per una Passivhaus: l'elevato investimento iniziale è giustificato dalla diminuzione dei costi, grazie all'elevata efficienza energetica, durante la fase d'uso; Fonte: J. Lausten, 2008;	51
Figura 2.21:Schema di funzionamento del collettore solare: utilizzato solo per la produzione di ACS (sinistra) e per quella di ACS + riscaldamento (destra); Fonte: S. Ferrari,2008;	52
Figura 2.22: Situazioni tipiche di ombreggiamento per i collettori solari e gli impianti fotovoltaici; Fonte: Hegger Fuchs, Stark Zeumer, 2008;	52
Figura 2.23: Evoluzione della produzione di elettricità dal fotovoltaico; Fonte: International Energy Agency, 2010;	52
 Terzo capitolo	
Figura 3.1: Energia consumata nel settore energetico dal carburante e dai diversi scenari; Fonte: International Energy Agency 2011;	57
Figura 3.2: Energia risparmiata nel settore edilizio suddivisa per voci di consumo; Fonte: International Energy Agency 2011;	57
Figura 3.3: Paesi con una definizione esistente (simbolo pieno) o pianificata (simbolo vuoto) di edifici a basso consumo energetico (ufficiale o no); Fonte: K. Engelund Thomsen, K.B. Wittchen, Euro Ace, 2009;	57
Figura 3.4: Costi effettivi e anidride carbonica risparmiata dal raggiungimento del livello 6 del Code for Sustainable Homes; Fonte: European Commission, 2009;	58
Figura 3.5: Edifici ad alte prestazioni energetiche registrati nell'US DO Data Base, suddivisi per tipologia (sopra) e clima (sotto); Fonte: Aalborg University, 2010;	59
Figura 3.6: Verso gli edifici ad energia zero negli USA. Nel 2020 si aspetta il raggiungimento del livello Net Zero Energy Buildings; Fonte: J. Lausten, 2008;	59
Figura 3.7: Schema di spiegazione della definizione Net Zero Site Energy Building data da Torcellini et. al. (2006);	60
Figura 3.8: Schema di spiegazione della definizione Net Zero Source Building data da Torcellini et. al. (2006);	60
Figura 3.9: Schema di spiegazione della definizione Net Zero Cost Building data da Torcellini et. al. (2006);	61
Figura 3.10: Schema di spiegazione della definizione Net Zero Emission Building data da Torcellini et. al. (2006);	61
Figura 3.11: Possibili opzioni d'approvvigionamento energetico da fonti rinnovabili; Fonte: A. J. Marszal et. al., 2010;	63
Figura 3.12: Schema di spiegazione della definizione di edifici classificati come NZEB: A da Torcellini et. al. (2010);	66

Figura 3.13: Schema di spiegazione della definizione di edifici classificati come NZEB: B da Torcellini et. al. (2010);	66
Figura 3.14: Schema di spiegazione della definizione di edifici classificati come NZEB: C da Torcellini et. al. (2010);	66
Figura 3.15: Schema di spiegazione della definizione di edifici classificati come NZEB: D da Torcellini et. al. (2010);	67
Figura 3.16: Grafico rappresentante il bilancio di edifici Net ZEB; I. Sartori, et. al., 2012;	67
Figura 3.17: Rappresentazione grafica di tre tipi di bilancio: import/export tra l'energia esportata e importata dalla rete, tra l'energia prodotta e quella richiesta, tra l'energia prodotta mensilmente e richiesta mensilmente; Fonte: I. Sartori, et. al., 2012;	69
Figura 3.18: Paesi del Parlamento Europeo che inseriscono nella metodologia di calcolo il comfort estivo e la climatizzazione interna; Fonte: European Commission, 2009;	70
Figura 3.19: Tecnologie utilizzate per riscaldare e rinfrescare che contribuiscono alla diminuzione delle emissioni di CO ₂ ; Fonte: International Energy Agency, 2011;	71
Figura 3.20: Sviluppo totale di tecnologie per riscaldare ad alta efficienza energetica e a basso o zero emissioni di carbonio; Fonte: International Energy Agency, 2011;	71
Figura 3.21: Schema di connessione tra l'edificio e la rete energetica; Fonte: I. Sartori, et. al., 2012;	73
Figura 3.22: Principi di progettazione di un edificio ad energia zero; Fonte: International Energy Agency, 2011;	75
Figura 3.23: Tabella di marcia per alcuni paesi per raggiungere l'obiettivo d'edifici ad energia zero e migliorare le performance energetiche dei nuovi edifici; Fonte: L. Jagenar, et. al, 2011;	77
Figura 3.24: Domanda di energia primaria per gli edifici di nuova costruzione in Danimarca nel 2008, 2010 e 2015; Fonte: L. Jagenar, et. al, 2011;	80
Figura 3.25: Standard futuri proposti dalla Norvegia per gli edifici di nuova costruzione; Fonte: L. Jagenar, et. al, 2011;	81

Quarto capitolo

Figura 4.1: Casi studio individuati suddivisi in percentuale ai Paesi Europei di appartenenza;	87
Figura 4.2: Casi studio individuati suddivisi secondo l'anno di costruzione e secondo la tipologia edilizia;	90
Figura 4.3: Planimetria generale scala 1:500; Fonte: AA.VV, 2009;	91
Figura 4.4: Pianta piano primo, scala 1:500; Fonte: AA.VV., 2009;	92
Figura 4.5: Pianta piano interrato, scala 1:500; Fonte: AA.VV., 2009;	92
Figura 4.6: Sezione trasversale, scala 1:500; Fonte: AA.VV., 2009;	92
Figura 4.7: Dettaglio di composizione della facciata; Fonte: AA.VV., 2009;	93
Figura 4.8: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	93
Figura 4.9: Vista del prospetto sud- ovest; Fonte: www.setz-architektur.ch ;	93

Figura 4.10: Schema del fabbisogno energetico dell’abitazione e produzione dai pannelli fotovoltaici; Fonte: AA.VV., 2009;	94
Figura 4.11: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell’edificio;	94
Figura 4.12: Valutazione energetica in kWh/m ² a; Fonte: K. Voss, 2011;	94
Figura 4.13: Vista da nord-est; Fonte: J. Schoop, 2011;	95
Figura 4.14: Pianta piano terra; Fonte: www.architektur-online.com;	96
Figura 4.15: Andamento nel tempo della concentrazione di CO ₂ ; Fonte: www.e-plus.at;	96
Figura 4.16: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	96
Figura 4.17: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell’edificio;	97
Figura 4.18: Particolare delle finestre delle aule esposte verso sud; Fonte: www.architektur-online.com;	97
Figura 4.19: Valutazione energetica in kWh/m ² a; Fonte: K. Voss,2011;	98
Figura 4.20: Fabbisogno energetico di riscaldamento prima e dopo la fase di restauro; Fonte: www.e-plus.at;	98
Figura 4.21: Grafico ammortamento dell’investimento di un intervento di restauro secondo lo standard Passivhaus; Fonte: www.e-plus.at;	98
Figura 4.22: Planimetria generale; Fonte: Detail Green, 2009;	99
Figura 4.23: Pianta piano tipo;Fonte: Detail Green, 2009;	100
Figura 4.24: Schema della ventilazione naturale e meccanica e dei sistemi di ombraggiamento; Fonte: www.lika-media.ch;	100
Figura 4.25: Schema funzionamento degli impianti e massa di accumulo; Fonte: www.lika-media.ch;	100
Figura 4.26: Interno dell’edificio a pianta libera; Fonte: AA.VV, Schweizer Solarpreis, 2007;	101
Figura 4.27: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	101
Figura 4.28: Dettaglio della giunzione tra la soletta e la facciata, scala 1:25; Fonte: Detail Green, 2009;	101
Figura 4.29: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell’edificio;	102
Figura 4.30: Grafico ammortamento dell’investimento di un intervento di restauro secondo lo standard Passivhaus; Fonte: www.energieagenda.ch;	102
Figura 4.31: Valutazione energetica in kWh/m ² a; Fonte: K. Voss, 2011;	103
Figura 4.32: Planimetria generale; Fonte: Imageen, 2011;	104
Figura 4.33: Pianta piano terra; Fonte: Imageen, 2011;	105
Figura 4.34: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	105
Figura 4.35: Sezione trasversale raffigurante i principi passivi dell’edificio Ener Pos; Fonte: M. Franco, et. al., 2012;	105
Figura 4.36: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell’edificio;	106

Figura 4.37: Grafico del consumo elettrico mensile delle varie voci di fabbisogno, valutato nel 2009; Fonte: Imageen, 2011;	106
Figura 4.38: Consumi di risorse valutati nel 2008 e previsti per il 2030 nell'isola di St. Pierre; Fonte: Imageen, 2011;	107
Figura 4.39: Grafico di confronto tra i dati di consumo elettrico valutati in fase di progettazione (blu) e i dati monitorati nel 2009/2010; Fonte: A. Lenoi, et.al., 2010;	107
Figura 4.40: Percezione dell'utenza (1 = discomfort e 7 = comfort)in merito alla temperatura, l'abbagliamento, la ventilazione e l'illuminazione; Fonte: M. Franco, et. al., 2012;	107
Figura 4.41: Vista nord-est dell'edificio universitario Ener Pos; Fonte: Imageen, 2011;	107
Figura 4.42: Valutazione energetica in kWh/m ² a; Fonte: K. Voss, 2011;	108
Figura 4.43: Planimetria generale; Fonte: www.erwin-kaltenegger.at;	109
Figura 4.44: Pianta piano terra di due abitazioni confinanti; Fonte: www.erwin-kaltenegger.at;	110
Figura 4.45: Pianta piano primo di due abitazioni confinanti; Fonte: www.erwin-kaltenegger.at;	110
Figura 4.46: Sezione trasversale rappresentante i principi bioclimatici nel progetto Energy Plus;	110
Figura 4.47: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	110
Figura 4.48: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;	111
Figura 4.49: Dati di fabbisogno elettrico e produzione dall'impianto fotovoltaico monitorati nel 2006; Fonte: www.aee-intec.at;	111
Figura 4.50: Valutazione energetica in kWh/m ² a; Fonte: K. Voss, 2011;	112
Figura 4.51: Planimetria generale; Fonte: www.rinnovabili.it;	113
Figura 4.52: Dettaglio della facciata, scala 1:50; Fonte: www.buildup.eu;	114
Figura 4.53: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	114
Figura 4.54: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;	115
Figura 4.55: Vista dell'ingresso orientato a nord del centro ricreativo di Monheim; Fonte: www.rinnovabili.it;	115
Figura 4.56: Valutazione energetica in kWh/m ² a; Fonte: K. Voss, 2011;	116
Figura 4.57: Vista prospetto est; Fonte: www.architetti.cc;	117
Figura 4.58: Pianta piano secondo; Fonte: A . Troi, et. al., 2009;	118
Figura 4.59: Prospetto su-est; Fonte: A . Troi, et. al., 2009;	118
Figura 4.60: Prospetto sud;Fonte: A . Troi, et. al., 2009;	118
Figura 4.61: Sezione trasversale rappresentante i principi bioclimatici nella scuola elementare a Laion; Fonte: www.premioarchitettura.it;	118
Figura 4.62: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti;	118
Figura 4.63: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;	119

Figura 4.64: Vista prospetto sud-est della scuola elementare a Laion; Fonte: www.architetti.cc ;	119
Figura 4.65: Valori mensili di progetto di fabbisogno e produzione di calore. I valori sono calcolati con il Software PHPP (Passive House Design Package); Fonte: A. Troi, et. al. 2009;	120
Figura 4.66: Valori mensili di progetto di fabbisogno e produzione di elettricità. La produzione dei pannelli fotovoltaici è simulata con il Software RETScreen; Fonte: A. Troi, et. al. 2009;	120
Figura 4.67: Planimetria generale; Fonte: www.720grad-architekten.ch ;	121
Figura 4.68: Pianta piano copertura; Fonte: www.720grad-architekten.ch ;	122
Figura 4.69: Pianta piano tipo; Fonte: www.720grad-architekten.ch ;	122
Figura 4.70: Sezione trasversale; Fonte: www.720grad-architekten.ch ;	122
Figura 4.71: Particolare della facciata esposta a sud; Fonte: DetailGreen, 2010;	122
Figura 4.72: Particolare dell'attacco al tetto; Fonte: DetailGreen, 2010;	122
Figura 4.73: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	123
Figura 4.74: Spaccato assometrico con funzionamento impianti; Fonte: www.detail.de ;	123
Figura 4.75: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;	124
Figura 4.76: Vista del prospetto sud-ovest della residenza Kraftwerk B; Fonte: DetailGreen, 2010;	124
Figura 4.77: Valutazione energetica in kWh/m ² a; Fonte: K. Voss, 2011;	125
Figura 4.78: Planimetria generale; Fonte: www.giesarchitekten.de ;	126
Figura 4.79: Pianta tipo della residenza KleeHaus; Fonte: www.giesarchitekten.de ;	127
Figura 4.80: Prospetto sud; Fonte: www.giesarchitekten.de ;	127
Figura 4.81: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	127
Figura 4.82: Sezione trasversale dei complessi Kleehäuser; Fonte: www.giesarchitekten.de ;	127
Figura 4.83: Schema di suddivisione nelle zone termiche: riscaldate (rosso) non riscaldate (blu); Fonte: www.kleeHauser.de ;	127
Figura 4.84: Sezione trasversale tecnica sul funzionamento degli impianti negli edifici Kleehäuser; Fonte: Common Architects, 2006;	128
Figura 4.85: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;	128
Figura 4.86: Grafico dei consumi dei vari standard energetici tedeschi messi a confronto con il fabbisogno annuale del complesso Klee Häuser; Fonte: Common Architects, 2006;	128
Figura 4.87: Valutazione energetica in kWh/m ² a; Fonte: K. Voss, 2011;	129
Figura 4.88: Planimetria generale; Fonte: I. Lütkemeyer, et.al., 2011;	130
Figura 4.89: Pianta piano primo; Fonte: I. Lütkemeyer, et.al., 2011;	131

Figura 4.90: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	131
Figura 4.91: Schema della ventilazione nella “home area”; Fonte: I. Lütkemeyer, et.al., 2011;	131
Figura 4.92: Schema dell’illuminazione nella “home area”; Fonte: I. Lütkemeyer, et.al., 2011;	131
Figura 4.93: Simulazione per aiutare la corretta illuminazione della palestra; Fonte: www.ake-ev.de;	132
Figura 4.94: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell’edificio;	132
Figura 4.95: Concentrazione di CO ₂ nelle aule. Livelli rilevati durante la pausa con scambio d’aria per sola ventilazione naturale (sopra) e per ventilazione naturale e meccanica (sotto); Fonte: www.ake-ev.de;	132
Figura 4.96: Valutazione energetica in kWh/m ² a; Fonte: K. Voss, 2011;	133
Figura 4.97: Pianta piano terra; Fonte: A.Themessl, 2004;	134
Figura 4.98: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	135
Figura 4.99: Pianta piano primo; Fonte: A.Themessl, 2004;	135
Figura 4.100: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell’edificio;	136
Figura 4.101: Rete di collegamento degli edifici che sfruttano le fonti dell’ufficio dell’AEE INTEC; Fonte: www.cittaalpina.org	136
Figura 4.102: Rapporto tra il fabbisogno elettrico e l’elettricità fornita; Fonte: A.Themessl, 2004;	136
Figura 4.103: Valutazione energetica in kWh/m ² a; Fonte: K. Voss, 2011;	137
Figura 4.104: Pianta piano terra; Fonte: M.J.N. Oliveira Panao , H.J.P. Goncalves, 2011;	138
Figura 4.105: Schizzi di progetto dell’edificio Solar XXI; Fonte: H. Goncalves, P. Cabrito, 2005;	139
Figura 4.106: Schema ventilazione naturale; Fonte: H. Goncalves, P. Cabrito, 2005;	139
Figura 4.107: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti;	139
Figura 4.108: Sezione trasversale sul comportamento estivo (sopra) ed invernale (sotto) dell’edificio in merito all’illuminazione e ventilazione naturale; Fonte: ww.eesc.europa.eu;	139
Figura 4.109: Comportamento del pannello fotovoltaico applicato in facciata in inverno (sinistra) e in estate (destra); Fonte: H. Goncalves, P. Cabrito, 2005;	140
Figura 4.110: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell’edificio;	140
Figura 4.111: Fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento per un edificio portoghese standard confrontato con la richiesta dell’edificio Solar XXI; Fonte: M.J.N. Oliveira Panao , H.J.P. Goncalves, 2011;	140
Figura 4.112: Distribuzione della temperatura esterna e relativa temperatura misurata all’interno degli ambienti in estate (sopra) e in inverno (sotto); Fonte: M.J.N. Oliveira Panao , H.J.P. Goncalves, 2011;	141
Figura 4.113: Planimetria generale; Fonte: www.architonic.com;	142

Figura 4.114: Pianta piano terra; Fonte: www.architonic.com ;	143
Figura 4.115: Sviluppo dell'idea di progetto; Fonte: G. Masera, 2009;	143
Figura 4.116: Particolare della facciata esposta a sud; Fonte: Zukunft Bau research Initiative, 2010;	143
Figura 4.117: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	144
Figura 4.118: Sezione verticale, primo e secondo piano, con funzionamento impiantistico complessivo in evidenza; Fonte: G. Masera, 2009;	144
Figura 4.119: Sezione verticale,ultimo piano, con funzionamento impiantistico complessivo in evidenza; Fonte: G. Masera, 2009;	145
Figura 4.120: Vista interna dell'atrio centrale; Fonte: www.schulte-frohlinde.com ;	145
Figura 4.121: Vista interna dell'area d'incontro degli uffici della Solon; Fonte: www.schulte-frohlinde.com ;	145
Figura 4.122: Planimetria generale; Fonte: Mary Guzowsky,2010;	146
Figura 4.123: Pianta copertura; Fonte: Fonte: Mary Guzowsky,2010;	147
Figura 4.124: Pianta piano primo; Fonte: Mary Guzowsky,2010;	147
Figura 4.125: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti;	147
Figura 4.126: Pianta piano terra; Fonte: D. Hay, 2011;	147
Figura 4.127: Sezione trasversale; Fonte: D. Hay, 2011;	147
Figura 4.128: Tabella produzione dalle risorse rinnovabili; Fonte: www.iea40.buildinggreen.com ;	148
Figura 4.129: Vista interna dell'osservatorio sul lago; Fonte: www.iea40.buildinggreen.com ;	148
Figura 4.130: Vista dal lago della struttura marina di Steinhude; Fonte: www.iea40.buildinggreen.com ;	148
Figura 4.131: Planimetria generale; Fonte: www.boligplus.net ;	149
Figura 4.132: Schizzo per il concept progettuale dell'edificio BOLIG+ ad Aalborg; Fonte: www.boligplus.net ;	150
Figura 4.133: Schizzo di progetto per l'edificio BOLIG+ ad Aalborg; Fonte: www.boligplus.net ;	150
Figura 4.134: Pianta piano tipo; Fonte: www.boligplus.net ;	150
Figura 4.135: Spaccato architettonico con i principi di bioclimatica; Fonte: www.boligplus.net ;	150
Figura 4.136: Confronto tra il fabbisogno termico ed elettrico degli standard sviluppati in daniamrca e dello standard BOLIG +; Fonte: K. Wittchen, et.al.,2010;	150
Figura 4.137: Sezione trasversale per mostrare il funzionamento degli impianti; Fonte: K. Wittchen, et.al.,2010;	151
Figura 4.138: Consumi previsti per il progetto BOLIG + ad Aalborg; Fonte: www.boligplus.net ;	151
Figura 4.139: Planimetria generale; Fonte: M. Heinze, K. Voss, 2009;	152
Figura 4.140: Quattro soluzioni edilizie diverse presenti nella comunità solare di Friburgo; Fonte: F. Frontini, 2009;	153

Figura 4.141: Particolare dell'attacco al tetto; Fonte: F. Frontini, 2009;	153
Figura 4.142: Particolare della facciata esposta a sud; Fonte: F. Frontini, 2009;	153
Figura 4.143: Sezione con i principi di illuminazione naturale; Fonte: F. Frontini, 2009;	153
Figura 4.144: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	154
Figura 4.145: Vista generale della comunità solare di Friburgo; Fonte: www.sonnenschiff.de ;	154
Figura 4.146: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;	155
Figura 4.147: Radiazione solare sulle superfici fotovoltaiche sul tetto, valori monitorati nell'arco di un anno; Fonte: M. Heinze, K. Voss, 2009;	155
Figura 4.148: Bilancio tra il consumo e la produzione di energia elettrica e termica misurate tra il 2006 e il 2007; Fonte: M. Heinze, K. Voss, 2009;	155
Figura 4.149: Diagramma della domanda energetica suddivisa in percentuali a seconda dell'influenza esercitata dalle diverse voci di consumo; Fonte: M. Heinze, K. Voss, 2009;	155
Figura 4.150: Valutazione energetica in kWh/m ² a; Fonte: K. Voss, 2011;	156
Figura 4.151: Planimetria generale scala 1:750; Fonte: Aart Architects, 2009;	157
Figura 4.152: Spaccato pianta piano terra; Fonte: Aart Architects, 2009;	158
Figura 4.153: Spaccato pianta piano primo; Fonte: Aart Architects, 2009;	158
Figura 4.154: Spaccato vista dall'alto; Fonte: Aart Architects, 2009;	158
Figura 4.155: Sezione trasversale rappresentante i principi energetici; Fonte: Aart Architects, 2009;	158
Figura 4.156: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	159
Figura 4.157: Quantità di energia primaria richiesta e prodotta dall'edificio in kWh/m ² a; Fonte: www.velfac.dk ;	159
Figura 4.158: Particolare della facciata orientata a nordest; Fonte: Aart Architects, 2009;	159
Figura 4.159: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;	160
Figura 4.160: Vista da nord-est; Fonte: Aart Architects, 2009;	160
Figura 4.161: Valutazione energetica in kWh/m ² a; Fonte: K. Voss, 2011	161
Figura 4.162: Leaf Community: la prima comunità sostenibile in Italia; Fonte: www.energy.loccioni.com ;	162
Figura 4.163: Pianta piano terra; Fonte: M. Cerula, et. al., 2011;	163
Figura 4.164 : Pianta piano primo; Fonte: M. Cerula, et. al., 2011;	163
Figura 4.165 : Pianta piano secondo; Fonte: M. Cerula, et. al., 2011;	163
Figura 4.166: Schema generazione di calore per riscaldare la casa in inverno; Fonte: AA.VV., Azero, 2011;	163
Figura 4.167: Schema generazione del freddo per raffrescare la casa in estate; Fonte: AA.VV., Azero, 2011;	164

Figura 4.168: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti	164
Figura 4.169: Prospetto sud; Fonte: www.energy.loccioni.com ;	164
Figura 4.170: Consumi da acque recuperate; Fonte: AA.VV., Azero, 2011;	165
Figura 4.171: Dati monitorati e simulati con il programma TRNSYS per l'energia prodotta dal fotovoltaico e i consumi elettrici della pompa di calore; Fonte: M. Cerula, et. al., 2011;	165
Figura 4.172: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;	165
Figura 4.173: Differenza tra produzione simulata e reale dei pannelli fotovoltaici e tra produzione e consumi in un giorno prescelto; Fonte: M. Cerula, et. al., 2011;	165
Figura 4.174: Produzione energetica scenario 1 (sostituzione PV con pannelli più efficienti; Fonte: M. Cerula, et. al., 2011;	166
Figura 4.175 : Fabbisogno elettrico della pompa di calore scenario 2 (C.O.P. 4.6) e scenario 3 (eliminazione scambiatore di calore, utilizzo del fluidotermovettore acqua-glicole); Fonte: M. Cerula, et. al., 2011;	166
Figura 4.176: Fabbisogno energetico della pompa di calore; Fonte: M. Cerula, et. al., 2011;	166
Figura 4.177 : Schizzo progettuale per la realizzazione della Lighthouse; Fonte: www.kingspanlighthouse.com ;	167
Figura 4.178: Pianta piano terra; Fonte: M. Guzowsky, 2010;	168
Figura 4.179: Principi progettuali seguiti per la realizzazione del prototipo Lighthouse; Fonte: www.kingspanlighthouse.com ;	168
Figura 4.180: Benefici per la ventilazione d'aria dal "camino" centrale; Fonte: www.kingspanlighthouse.com ;	168
Figura 4.181: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	169
Figura 4.182: Schema in sezione sul funzionamento degli impianti; Fonte: www.kingspanlighthouse.com ;	169
Figura 4.183: Energia richiesta per il corretto funzionamento della Lighthouse; Fonte: www.kingspanlighthouse.com ;	169
Figura 4.184: Confronto tra l'energia utilizzata da Lighthouse e altre abitazioni, con la stessa metratura, progettate tra il 2002 e il 2006 secondo gli standard edilizi; Fonte: www.kingspanlighthouse.com ;	169
Figura 4.185: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;	170
Figura 4.186: Schema tecnico per analizzare le emissioni di CO ₂ ;	170
Figura 4.187: Valutazione energetica in kWh/m ² a; Fonte: K. Voss, 2011;	171
Figura 4.188: Dettaglio dei sistemi solari attivi e passivi del tetto esposto a sud: il generatore fotovoltaico, il collettore solare a tubi sottovuoto e il sistema passivo a torre del vento; Fonte: M. Guzowsky, 2010;	171
Figura 4.189: Vista esterna della Green Lighthouse; Fonte: www.velux.com ;	172
Figura 4.190: Pianta piano terra (sinistra) e primo piano (destra); Fonte: www.velux.com ;	173
Figura 4.191: Schema in sezione rappresentante i principali concetti energetici del progetto Green Lighthouse; Fonte: www.velfac.dk ;	173
Figura 4.192: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti;	174

Figura 4.193: Principi di funzionamento degli impianti nelle diverse stagioni; Fonte: www.lisnet.com ;	174
Figura 4.194: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;	175
Figura 4.195: Bilancio energetico in kWh/m ² a; Fonte: www.lisnet.com ;	175
Figura 4.196 :Schema della disposizione dei sistemi solari attivi e passivi sul tetto; Fonte: www.velux.com ;	175
Figura 4.197: Veduta interna delle aperture al secondo piano; Fonte: www.velux.com ;	175
Figura 4.198: Planimetria generale; Fonte: Banz+Riecks, 2004;	177
Figura 4.199: Schema compositivo della pianta; Fonte: Banz+Riecks, 2004;	178
Figura 4.200: Pianta piano terra; Fonte: Banz+Riecks, 2004;	178
Figura 4.201: Bilancio di energia primaria calcolato durante la fase di progettazione della fabbrica; Fonte: Banz+Riecks, 2004;	178
Figura 4.202: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	179
Figura 4.203: Fabbisogno termico. Confronto dati di progetto, dati monitorati nel 2004 e rettificati da GTZ; Fonte: www.enob.info	179
Figura 4.204: Produzione di calore. Confronto dati di progetto, dati monitorati nel 2004 e rettificati da GTZ; Fonte: www.enob.info	179
Figura 4.205: Fabbisogno elettrico. Confronto dati di progetto, dati monitorati nel 2004; Fonte: www.enob.info ;	179
Figura 4.206: Produzione energia elettrica. Confronto dati di progetto, dati monitorati nel 2004; Fonte: www.enob.info	179
Figura 4.207 : Energia primaria consumata e generata dallo stabilimento Solvis nel 2004; Fonte: www.enob.info ;	180
Figura 4.208: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;	180
Figura 4.209: Vista esterna dello stabilimento Solvis; Fonte: Banz+Riecks, 2004;	180
Figura 4.210: Planimetria generale del quartiere generale del WWF; Fonte: C. Piferi, 2010;	182
Figura 4.211: Pianta piano primo; Fonte: C. Piferi, 2010;	183
Figura 4.212: Sezione trasversale; Fonte: C. Piferi, 2010;	183
Figura 4.213: Schema illustrativo del flusso energetico e luminoso nel periodo invernale; Fonte: E. Formenti, 2008;	183
Figura 4.214: Schema illustrativo del flusso energetico e luminoso nel periodo estivo; Fonte: E. Formenti, 2008;	183
Figura 4.215: Dettaglio in sezione verticale dell'aperture delle finestre nel corpo degli uffici; Fonte: E. Formenti, 2008;	184
Figura 4.216: Vista sud degli uffici in vetro e legno e del "blob" centrale; Fonte: C. Piferi, 2010;	184
Figura 4.217: Dettaglio in sezione verticale del corpo centrale; Fonte: E. Formenti, 2008;	184
Figura 4.218: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	185
Figura 4.219: Valutazione energetica in kWh/m ² a; Fonte: K. Voss, 2011;	185
Figura 4.220: Planimetria generale della sede Naturalia-Bau; Fonte: www.archinfo.it ;	186

Figura 4.221: Principi di progettazione per la realizzazione dell'edificio della Naturalia-Bau a Merano;	187
Figura 4.222: Pianta piano terra; Fonte: www.archinfo.it ;	187
Figura 4.223: Pianta piano primo; Fonte: www.archinfo.it ;	187
Figura 4.224: Sezione trasversale; Fonte: www.archinfo.it ;	187
Figura 4.225: Dettagli; Fonte: www.archinfo.it ;	188
Figura 4.226: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti;	188
Figura 4.227: Vista prospetto est; Fonte: C. dal Vero, 2008;	188
Figura 4.228: Dati raccolti dai contatori per la stagione di raffrescamento e riscaldamento; Fonte: A. Napolitano, 2010;	188
Figura 4.229: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;	189
Figura 4.230: Vista prospetto est; Fonte: www.solares-bauen.de ;	190
Figura 4.231: Pianta piano terra; Fonte: http://www.urumqi-drylandmegacity.uni-hd.de ;	191
Figura 4.232: Sezione prospettica; Fonte: http://www.urumqi-drylandmegacity.uni-hd.de ;	191
Figura 4.233: Schema circolazione dell'aria rappresentata in sezione; Fonte: www.iea-shc.org ;	191
Figura 4.234: Schema funzionamento degli impianti; Fonte: www.iea-shc.org ;	191
Figura 4.235: Confronto tra l'energia primaria richiesta dalla Blaue Heimat e abitazioni, con medesime metrature, progettate secondo altri standard edilizi; Fonte: www.iea-shc.org ;	192
Figura 4.236: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;	192
Figura 4.237: Percentuali di risparmio energetico dopo il risanamento; Fonte: http://www.urumqi-drylandmegacity.uni-hd.de ;	192
Figura 4.238: Dati di consumo e produzione di energia monitorati nel 2004; Fonte: www.iea-shc.org ;	192
Figura 4.239: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;	193
Figura 4.240: Bilancio mensile di energia primaria effettuato considerando il bilancio dell'energia finale tra il 2009 e il 2010; Fonte: www.iea-shc.org ;	193
Figura 4.241: Energia richiesta per la produzione di acqua calda sanitaria misurata tra il 2009 e il 2010; Fonte: www.iea-shc.org ;	193
Figura 4.242: Vista esterna dell'edificio ristrutturato Blaue Heimat; Fonte: www.gerstner-architekten.de ;	192
Figura 4.243: Valutazione energetica in kWh/m ² a; Fonte: K. Voss, 2011;	194
Figura 4.244: Vista prospetto sud del progetto SOLTAG; Fonte: M. Guzowsky, 2010;	195
Figura 4.245: Schema in sezione per evidenziare l'illuminazione e la ventilazione naturale degli spazi; Fonte: www.velux.com ;	196
Figura 4.246: Pianta che evidenzia la possibilità di combinazione tra i moduli per creare ambienti flessibili; Fonte: M. Guzowsky, 2010;	196
Figura 4.247: Pianta che evidenzia la connessione laterale tra le unità soggiorno e camera da letto; Fonte: M. Guzowsky, 2010;	196

Figura 4.248: Sezione del sistema impiantistico; Fonte: www.soltag.net ;	196
Figura 4.249: Domanda energetica per SOLTAG. Lo schema dimostra come le finestre contribuiscano a ridurre la domanda di riscaldamento; Fonte: www.passivhusnorden.com ;	196
Figura 4.250: Bilancio energetico per il progetto SOLTAG; Fonte: www.passivhusnorden.com ;	197

Quinto capitolo

Figura 5.1: Ciclo di vita del sistema edificio; Fonte: C. Allione, C. Lanzavecchia, 2008;	201
Figura 5.2: Rappresentazione schematica della progettazione integrata; Fonte: I. Meroni, P. Zampiero, R. Lollini, 2007;	202
Figura 5.3: Possibile integrazione dei moduli fotovoltaici e dei collettori solari all'edificio; Fonte: Thomas Stark, 2009;	204
Figura 5.4: Composizione di un impianto fotovoltaico; Fonte: www.leainnovazione.it ;	205
Figura 5.5: Integrazione tra le fasi caratterizzanti la scala del prodotto edilizio e la scala dell'edificio; Fonte: M. Lavagna, 2008;	208
Figura 5.6: Trasporto navale a scala mondiale; Fonte: Politecnico di Milano, 2009;	209
Figura 5.7: Fasi del processo di generazione di energia da biomasse; Fonte: G. Fiorense, 2007;	213
Figura 5.8: Ciclo del biossido di carbonio legato all'utilizzo di biomasse come combustibile; Fonte: G. Fiorense, 2007;	213
Figura 5.9: Visione di Legambiente della terra tra cento anni, esposta nel dossier "La Terranel 2108"; Fonte: www.ecologiae.com ;	214

Indice delle tabelle

Terzo capitolo

Tabella 3.1: Vantaggi e svantaggi delle definizioni di ZEB date da Torcellini et. al. (2006); Fonte: Torcellini et. al. (2006);	62
Tabella 3.2: Vantaggi e svantaggi dei possibili periodi di bilancio; Fonte: A. J. Marszal, 2011;	69
Tabella 3.3: Gerarchia delle risorse energetiche rinnovabili; Fonte: Torcellini et. al., 2006;	72
Tabella 3.4: Metodologie di calcolo per la valutazione del raggiungimento di edifici ad energia zero proposte da: Austria, Danimarca, Germania, Norvegia e Svizzera ; Fonte: A. J. Marszal, 2011;	78
Tabella 3.5: Regolamenti edilizi correnti per gli edifici residenziali e azioni previste future per il raggiungimento di edifici ed energia zero ; Fonte: A. J. Marszal, 2011;	82

Quarto capitolo

Tabella 4.1: Casi studio individuati analizzati secondo le strategie progettuali adottate;	89
--	----

Quinto capitolo

Tabella 5.1: Prezzo al lordo in €/W _p delle componenti dell'impianto fotovoltaico;	205
Tabella 5.2: Prezzo al lordo in €/W _p delle componenti dell'impianto fotovoltaico;	206
Tabella 5.3: Carico ambientale determinato dal trasporto sulla nave a gasolio da 1000t, da Shangai al porto di Genova;	210
Tabella 5.4: Carico ambientale determinato dal trasporto su gomma dal porto di Genova alla città di Friburgo;	210
Tabella 5.5: Carico ambientale totale determinato dal trasporto da Shangai a Friburgo;	210
Tabella 5.6: Carico ambientale totale determinato dal trasporto sulla nave a gasolio da 1000t, da Shangai al porto di Genova;	211
Tabella 5.7: Carico ambientale determinato dal trasporto su gomma dal porto di Genova alla città di Angeli di Rosora;	211
Tabella 5.8: Carico ambientale totale determinato dal trasporto da Shangai ad Angeli di Rosora;	211

Abstract

Il lavoro di tesi si propone di studiare e analizzare gli edifici ad energia zero introdotti dalla Direttiva Europea EPBD 31/2010/UE.

Il percorso intrapreso nell'elaborazione della tesi ha l'obiettivo di analizzare e valutare la concreta possibilità di realizzazione di questo tipo di edifici.

Per una completa comprensione del tema si ripercorrono le tappe fondamentali a livello normativo, europeo e italiano, e a livello progettuale architettonico che hanno condotto ad una promozione di edifici a energia zero.

In seguito all'individuazione e approfondimento degli aspetti di labilità riscontrati nella definizione di ZEB l'elaborato propone una raccolta il più possibile esaustiva di casi studio fino ad ora realizzati limitatamente all'ambito europeo.

L'analisi dei casi è sviluppata attraverso l'elaborazione di schede di lettura per facilitare l'individuazione di caratteristiche progettuali e consentire la comparazione dei dati.

La ricerca prende in esame la fase d'uso degli edifici entrando in merito delle soluzioni tecnico-costruttive adottate, della produzione di energia da fonti rinnovabili e del bilancio energetico calcolato nell'arco di un anno.

In conclusione, a seguito di un'analisi di costi-benefici e di emissioni prodotte dall'utilizzo di fonti rinnovabili (quali la biomassa e il fotovoltaico) è stata constatata la necessità di sviluppare soluzioni impiantistiche più adeguate, e modelli di studio concretamente applicabili nella realtà architettonica esistente con lo scopo di promuovere l'effettiva efficacia ambientale di edifici a zero emissioni.



Introduzione

L'edificio è nato come rifugio, evoluzione dello stazionamento nella caverna, "come riparo dalla pioggia e per dormirci nella notte, insomma come una tana il cui scopo era garantire impermeabilità e proteggere dal freddo notturno" (M. Butera, 2008).

La funzione di semplice rifugio si è trasformata in una ricerca di comfort sempre più adeguato agli stili di vita, la quale si è concretizzata nell'evoluzione di tipologie architettoniche e agglomerati urbani sempre più complessi. Ma se la funzione pratica è andata mutando nel tempo, la percezione dell'edificio come rifugio invece si è mantenuta.

Le soluzioni, che sono andate evolvendosi nei secoli, si sono sviluppate con lo scopo di migliorare la qualità dell'abitare così da garantire protezione dalla pioggia, dal caldo dei climi tropicali e dal freddo dei climi polari.

Con l'introduzione degli impianti la qualità dell'abitare è stata svincolata dalla qualità costruttiva dell'involucro. Ad essi viene affidato il compito di raggiungere livelli ottimali di comfort interno, portando l'uomo a avere una minore capacità di adattamento.

Riscaldare, raffrescare, illuminare e far funzionare ogni tipo di elettrodomestico in luoghi nei quali passiamo il 90% della nostra vita è la prima causa di inquinamento, superiore a quello industriale e dei trasporti.

L'attenzione energetica è nata con la crisi petrolifera degli anni Settanta che ha messo in evidenza il problema dell'approvvigionamento delle risorse, dapprima come tema economico e politico, poi come tema ambientale, legato

alla limitatezza delle risorse. L'attenzione verso l'ambiente è cresciuta, in relazione ai problemi di inquinamento atmosferico, la cui causa principale è la combustione finalizzata alla produzione di energia.

Ingegneri ed architetti hanno capito che non si trattava più di compensare una risorsa che era scarsa, ma di prepararsi a farne a meno perché sarebbe mancata del tutto. Così l'attenzione si è spostata dalle componenti della costruzione alla concezione stessa secondo la quale essa è concepita e progettata. Si è sviluppata la consapevolezza che gli edifici non possono essere concepiti in modo serializzato, con l'adozione di soluzioni tecnico-costruttive invariate nei diversi luoghi di costruzione, ma devono costituire un *unicum* fortemente influenzato dal contesto in cui si inseriscono. L'attenzione al contesto climatico può infatti condurre a una riduzione del 40% dell'energia necessaria al corretto funzionamento dell'edificio e a uno sfruttamento delle risorse energetiche fornite dall'ambiente all'interno del sito di progetto.

L'edilizia è uno tra i settori più energivori e la progettazione energeticamente efficiente diviene la risposta più efficace per raggiungere obiettivi a lungo termine. La progettazione attenta all'efficienza energetica vuole avere un ruolo evolutivo simile a quello della transizione dalla caverna alla capanna: i nuovi progetti saranno più attenti nell'analisi bioclimatica (valutazione dell'orientamento, della forma e del rapporto S/V), nell'adozione di sistemi tecnico-costruttivi adeguati (che mirano all'incremento dell'isolamento e dell'inerzia termica), nell'integrazione

di tecnologie per la produzione di piccole quantità di energia elettrica in loco, nell'uso di illuminazione ed elettrodomestici a basso consumo. Uno strumento molto importante in grado di guidare il progettista e indirizzarlo verso questo nuovo modo di concepire l'architettura è la normativa. Analizzando lo stato attuale della normativa italiana e europea ci si rende conto di come questa si sia decisamente evoluta negli ultimi anni, correndo parallelamente alla crescente sensibilità nei confronti dell'ambiente.

La Direttiva Europea 2002/91/CE viene emanata dalla Commissione Europea con l'obiettivo di promuovere l'efficienza energetica negli edifici e la certificazione energetica. La Direttiva vuole essere uno stimolo, oltre che una prescrizione, per il progettista, per sensibilizzarlo e formarlo nei confronti dell'aspetto energetico in architettura.

La Direttiva ha permesso la diffusione di una cultura volta al risparmio energetico; la sua rivisitazione nel 2010 ha portato ad un ulteriore sviluppo in termini di efficienza energetica. La Direttiva Europea 2010/31/UE indirizza il settore edilizio verso la realizzazione di edifici ad energia zero caratterizzati da un rendimento energetico molto elevato dell'immobile dove il consumo energetico annuale di energia primaria deve essere garantito dalla produzione da fonti rinnovabili disponibili in loco (o nelle vicinanze).

Ad oggi non esiste una chiara e condivisa definizione di *Zero Energy Building* e la Direttiva Europea non sembra dare delle linee guida sufficientemente incisive per un vero e proprio cambiamento nella mentalità di progettazione. Si sono sviluppati nel tempo molti studi e documenti nei quali gli autori hanno cercato di dare una definizione in relazione al raggiungimento dell'obiettivo ZEB; in un quadro generale le definizioni si esprimono in merito alla connes-

sione dell'edificio con l'infrastruttura esistente, all'unità di misura scelta nel bilancio, al periodo in base al quale calcolare il bilancio, alle performance minime richieste, alle risorse rinnovabili utilizzate.

La mancanza di una definizione chiara e condivisa di *Zero Energy Building* è molto sentita in quanto i concetti base di questi edifici sembrano dare una soluzione effettiva alla diminuzione di energia e di emissioni di gas serra provenienti dal settore delle costruzioni.

A partire da queste considerazioni, il contributo della tesi si concretizza attraverso l'individuazione e la catalogazione delle definizioni fino ad ora sviluppate per la progettazione di edifici ad energia zero. La selezione di alcuni tra i casi studio più interessanti e significativi di edifici realizzati secondo le diverse possibili interpretazioni sviluppatesi sul tema è importante perché si vogliono studiare i limiti e le problematiche che possono costituire un ostacolo alla diffusione in larga scala di tale concetto.

Nell'ambito della tesi, consapevole della parzialità della valutazione apportata, ho analizzato le strategie di risparmio energetico e di efficienza degli impianti durante la fase d'uso dell'edificio. La fase d'uso è la più energivora in termini delle emissioni di CO₂, ed è anche il tema sul quale si focalizzano maggiormente le normative nazionali e internazionali.

1

1 Risparmio energetico e riduzione dei gas ad effetto serra

Sin dagli inizi delle ricerche nel campo della sostenibilità si sono sviluppati studi e dibattiti sul tema ambientale focalizzati sulle ripercussioni delle attività umane sulla natura e sulle azioni da intraprendere per eliminare gli effetti negativi. La specie umana è infatti parte integrante della natura e per vivere necessita di trovare modalità di utilizzo e trasformazione delle risorse umane: “(...) a differenza degli altri animali l'uomo vive dappertutto, perché è in grado, grazie a tecniche e strumenti, di costruirsi un ambiente adeguato ovunque. L'uomo deve trasformare la realtà per renderla adeguata a sé (...)” (A. Gehlen, 1941).

L'intervento della specie umana nei sistemi naturali presenta dimensioni e impatti sconvolgenti, a volte capaci di innescare cambiamenti catastrofici in grado di alterare e “rompere” l'equilibrio dinamico, un mutamento costante e ininterrotto, della natura.

I più grandi programmi internazionali di ricerca che indagano i cambiamenti globali del sistema terra – che dal 2001 sono riuniti nell' *Earth System Science Partnership* – hanno sottolineato il profondo ruolo della specie umana nella trasformazione di sistemi naturali e la possibilità che questi superino soglie critiche.

L'ambiente non è più in grado di sostenere i ritmi di prelievo delle risorse e l'emissione di inquinamento delle attività umane.

Il sistema terra è un sistema limitato e l'umanità comincia a esserne consapevole. Fino al secolo scorso non esisteva un problema ambientale perché la “capacità di carico” dell'ambiente era sufficiente a sostenere le attività umane.

Quello della *carrying capacity*, ossia capacità di carico, è un concetto fondamentale per la condizione di equilibrio sostenibile tra sfera antropica e sfera naturale. “Tra sistema naturale e sistema artificiale si attivano dei flussi di prelievo e di emissioni (...). Tale ciclo è in equilibrio se la capacità di prelievo è uguale alla capacità di rigenerazione e se la velocità di scarto è uguale alla velocità di degradazione e smaltimento.” (M. Lavagna, 2008).

La presa di coscienza del degrado ambientale ha portato alla ricerca di soluzioni. Una delle strade che è stata indicata come praticabile è il percorso verso la sostenibilità, “(...) inteso come individuazione di strategie a lungo termine, che coinvolgono decisioni sociali ed economiche” (M. Lavagna, 2008). Lo “sviluppo sostenibile” è quindi un modello di sviluppo che sostiene la società umana e il benessere delle persone nel rispetto della capacità dell'ambiente di supportarlo.

La sostenibilità dello sviluppo è una grande sfida alle nostre capacità; non esiste un manuale che dica cosa è sostenibile e cosa invece non lo è, anche perché quest'ultima non può essere mai certezza a priori ma necessita di una verifica in corso d'opera; è una disciplina che si apprende giorno per giorno. Oggi sono molte le nozioni che abbiamo grazie alla conoscenza scientifica e tradizionale che ci permettono di fissare dei limiti oltre i quali non possiamo agire.

I primi spunti verso un'idea della sostenibilità nascono da grandi figure che hanno percepito la complessità del mondo naturale: tra questi,

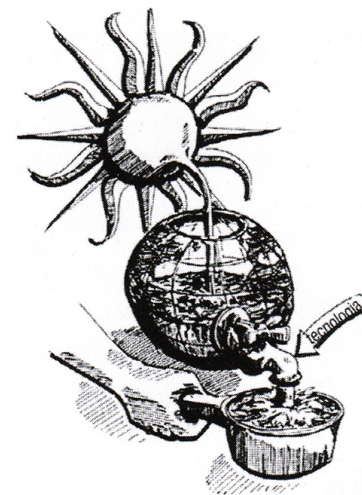
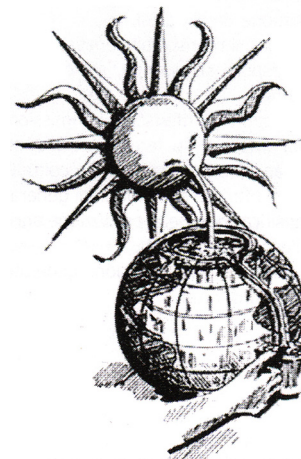


Figura 1.1: Uso delle risorse tecnologicamente accelerato (sopra) e uso sostenibile delle risorse (sotto); Fonte: M. Wackernagel, W. Rees, 1996;



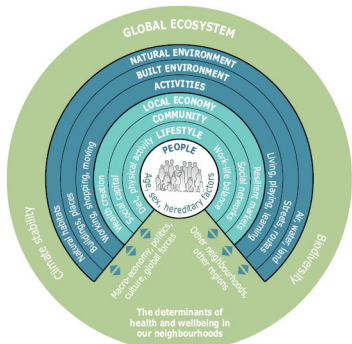


Figura 1.2: La mappa della salute; Fonte: H. Barton, M. Grant, 2006;

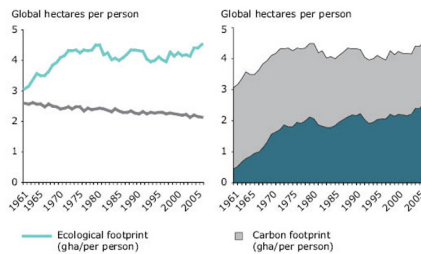


Figura 1.3: Impronta ecologica confrontata con la capacità di biologica (sinistra) e le componenti dell'impronta (destra) nei paesi della EEA, 1961-2006; Fonte: Global Footprint Network, 2008;

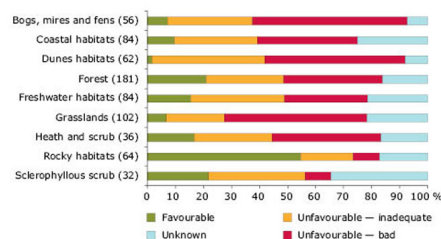


Figura 1.4: Stato di conservazione degli habitat delle comunità appartenenti all'EEA nel 2008; Fonte: European Environment Agency, 2010;

Alexander von Humboldt, che già nel 1817 aveva elaborato una cartina delle linee isoterme sulla superficie del globo e può essere considerato il fondatore della climatologia; Charles Darwin che dimostra in modo sistematico il processo evolutivo della varietà di forme di vita presenti sulla terra, regolato dalla selezione naturale. Tra gli studiosi più moderni cito: Aldo Leopold, autore del concetto dell'etica della terra secondo il quale dobbiamo considerare la terra come "(...) una comunità alla quale apparteniamo e utilizzarla con rispetto" (A. Leopold, 1947); Eugene e Howard Odum, primi ecologi a interpretare l'ecosistema in chiave di flussi, di materia e di energia; Paul Ehrlich e John Holdren che nel 1971 individuano l'equazione d'impatto, frutto di tre fattori da parte della specie umana: il numero di esseri umani, il livello di consumo (affluenza e stile di vita) e il livello di tecnologia utilizzato.

E nel 1968 arriviamo all'introduzione del concetto di eco-sviluppo per la prima volta utilizzato da Aurelio Pecei, economista e dirigente industriale durante un dibattito sui limiti della nostra crescita economica, materiale e quantitativa. Nel 1972 il Club di Roma pubblicò un apposito rapporto commissionato al *System Dynamic Group* del prestigioso *Massachusetts Institute of Technology*, con un titolo molto chiaro *The Limits to Growth*.

Il concetto di sostenibilità vero e proprio fu introdotto nel 1987 dal documento *Our common future* dalla Commissione Mondiale per l'Ambiente e lo Sviluppo (WCED), nota come commissione Brundtland. "L'umanità ha la possibilità di rendere sostenibile lo sviluppo, cioè far sì che esso soddisfi i bisogni dell'attuale generazione senza compromettere le capacità delle future di rispondere ai loro." (World Commission on Environment and Development, 1987). All'interno del documento assumono un signifi-

cato ben distinto i termini "crescita" e "sviluppo". Crescere significa aumentare di dimensione attraverso l'assimilazione dei materiali; l'attuale sistema economico sostiene che il benessere consiste nella crescita. Ma il benessere deve essere identificato secondo un percorso diverso, non attraverso una visione consumistica. Da qui si delinea il concetto di sviluppo. "Sviluppare significa espandere o realizzare le potenzialità di qualcuno e qualcosa: qualcosa che si sviluppa diventa qualitativamente migliore. Lo sviluppo (...) si basa sulla conservazione delle risorse e sul miglioramento dell'esistente". (G. Bologna, 2009)

Nel rapporto Brundtland viene messo in evidenza che il problema ambientale non è legato ad un preciso ambito disciplinare ma è un problema "globale" che coinvolge questioni economiche, politiche, sociali e ambientali.

Nel 1991 si ritiene sia giunto il momento di fare il punto sulla sostenibilità; l'IUCN (Unione Internazionale per la Conservazione della Natura), l'UNEP (il Programma Ambientale delle Nazioni Unite) e il WWF (Fondo Mondiale per la Natura), pubblicano la strategia per un vivere sostenibile dal titolo *Caring for the Earth. A Strategy for Sustainable Living*; nel quale sottolineano che non è solo il processo di sviluppo a dover essere reso sostenibile ma l'intero nostro vivere.

Il tema della sostenibilità richiede un approccio su scala globale. Le azioni per lo sviluppo sostenibile devono infatti essere definite a livello internazionale. Tra le conferenze internazionali si ricorda in particolare la Conferenza mondiale dell'Ambiente e Sviluppo, *United Nations Conference on Environment and Development*, denominata Vertice della Terra (*Earth Summit*), tenutosi a Rio De Janeiro nel 1992.

Nell'ambito della conferenza vengono stabiliti obiettivi e strategie chiari per lo sviluppo delle

società nel XXI secolo. La conferenza costituisce un evento politico e mediatico di grande rilevanza dove partecipano delegazioni di 183 nazioni. Le nazioni partecipanti, oltre alla trattazione di grandi problemi ambientali quali la desertificazione, il cambiamento climatico del globo e la biodiversità, sottoscrivono un “Piano d’azione per la realizzazione dello sviluppo sostenibile proiettato nel XXI secolo”, chiamato Agenda 21. Il programma d’azione è articolato in 40 capitoli e identifica gli obiettivi dello sviluppo sostenibile e gli interventi necessari per realizzarlo.

Nel corso del vertice ambiente e sviluppo viene presentata e approvata da 154 paesi la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici, UN-FCCC.

La Convenzione afferma due principi fondamentali:

- *il principio di equità* che prevede per i vari paesi responsabilità comuni ma differenziate a seconda delle condizioni di sviluppo e delle zone climatiche;
- *il principio di precauzione*, il quale afferma che l’incertezza delle conoscenze scientifiche non può essere utilizzata come ragione per posticipare gli interventi necessari ad evitare danni irreversibili.

Sancisce quindi una serie di obblighi, differenziati a seconda del grado di industrializzazione dei paesi contraenti, per contrastare gli effetti negativi della produzione di gas serra ed emissioni rilasciate a causa del consumo di fonti energetiche non rinnovabili, causa diretta dei cambiamenti climatici. Si sente quindi la necessità di rivolgere maggiore cura al territorio e di valorizzare situazioni territoriali di abbandono attraverso una pianificazione che sia “partecipata” da tutti i soggetti interessati.

Un importante passo avanti viene fatto nel 1994

con la Conferenza di Aalborg in Danimarca, dove viene recepita Agenda 21 e Agenda 21 locale con le indicazioni delle regole dell’agire sostenibile e le linee guida per divulgare tali principi presso la cittadinanza e per formulare migliori strategie.

Il 1994 è un anno importante anche perché entra legalmente in vigore, dopo la ratifica da parte di 50 Stati, la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici. La Convenzione prevede esplicitamente nell’articolo 17 l’adozione di Protocolli per l’attuazione. Nel 1995 si organizza a Berlino la prima Conferenza delle Parti (COP-1), dove vengono indetti colloqui su nuovi obblighi e si stabiliscono degli obiettivi per la limitazione e la riduzione delle emissioni entro tre soglie temporali, 2005, 2010 e 2015.

Nel 1996, l’anno successivo, durante la COP-2 a Ginevra i rappresentanti sottolineano la necessità di redigere un Protocollo per stabilire degli obiettivi quantitativi vincolanti.

Il primo e finora unico strumento attuativo della Convenzione è il Protocollo di Kyoto, stilato nel corso della Terza Conferenza delle Parti (COP-3) tenutasi a Kyoto nel dicembre 1997. Il Protocollo di Kyoto si pone alla base di una politica di riduzione delle emissioni, vincolata a livello internazionale, che obbliga i Paesi industrializzati a ridurre le proprie emissioni di gas a effetto serra, nel periodo tra il 2008 e il 2012, mediamente del 5,2% rispetto ai livelli raggiunti nel 1990. (ENEA, 2010).

Gli obiettivi e i risultati di queste conferenze internazionali, le più significative tra le tante che hanno avuto luogo in questi anni, sottolineano la necessità di una strategia globale verso la sostenibilità.

Alla luce di queste considerazioni, anche l’architettura può e deve contribuire a raggiungere

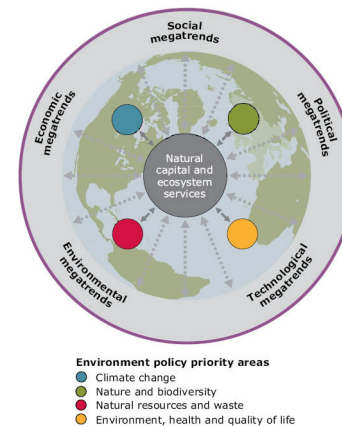


Figura 1.5: Strategie da rispettare nelle politiche relative all’ambiente; Fonte: European Environment Agency, 2010;

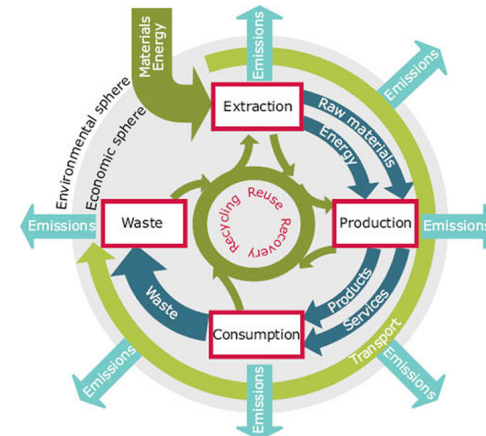


Figura 1.6: Catena del ciclo di vita delle risorse: estrazione - produzione - consumo - rifiuto; Fonte: European Environment Agency, 2010;

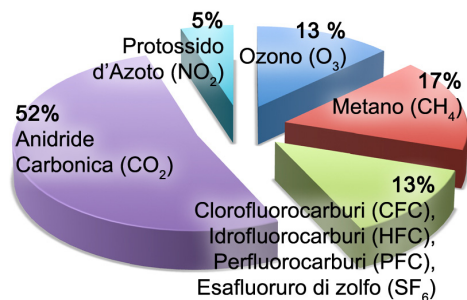


Figura 1.7: Emissioni di gas ad effetto serra, espresse in percentuali, nel 2008; Fonte: European Environment Agency, 2010;

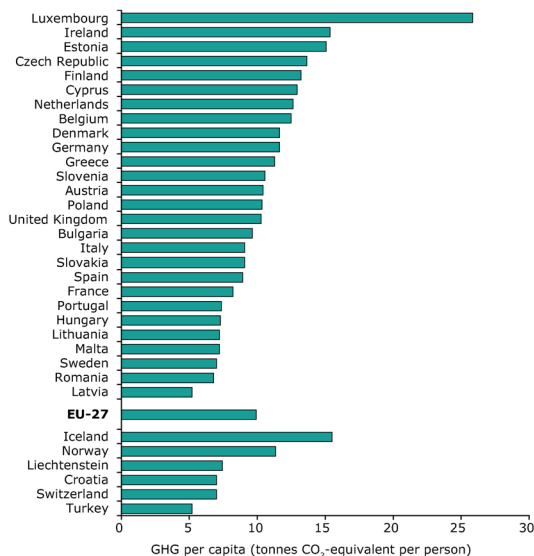


Figura 1.8: Emissioni di gas ad effetto serra, espresse in tonnellate di CO₂ a persona, calcolate per i paesi dell'Unione Europea nel 2008; Fonte: European Environment Agency, 2010;

i traguardi di uno sviluppo in sintonia con l'ecosistema.

Nella seconda metà degli anni novanta si sviluppa la consapevolezza che il costruire è diventato una delle attività economiche più distruttive (il settore edilizio produce il 50% dell'impatto ambientale).

Ai materiali e componenti edilizi viene attribuito un ruolo sostanziale nell'incremento degli impatti ambientali prodotti da un manufatto architettonico. L'estrazione di materia prime provoca la diminuzione delle risorse; la produzione e il trasporto di prodotti consuma energia e genera emissioni; i rifiuti generano problemi di inquinamento del suolo.

Accanto ad iniziative globali come Agenda 21 si vedono tentativi singoli di studiosi di individuare linee guida per la progettazione sostenibile. Tra questi spicca la figura dello studioso californiano Charles Kibert, che nel 1994, durante la prima conferenza internazionale *Sustainable Construction* tenutasi a Tampa, in Florida, presenta la teoria delle "Cinque R": Riduci, Ri-usa, Ricicla, Ristruttura o Restaura, ponendo quindi grande attenzione sull'intero ciclo di vita dell'edificio.

Nel 2001 viene emesso, dalla Commissione Europea, *The final report on sustainable construction*, contenente strategie e raccomandazioni per promuovere la sostenibilità nelle costruzioni nel contesto europeo. Il Rapporto promuove lo sviluppo di una progettazione integrata che si fa carico di una visione olistica di tutto il ciclo di vita dell'edificio, dalla progettazione alla dismissione. E' richiesto al progetto di rispettare tutti i criteri ambientali: consumare meno energia, consumare meno materia, rispettare l'ambiente, garantire la salute e il comfort dell'uomo.

1.1 Accordi internazionali: il protocollo di Kyoto

Il tema della sostenibilità richiede, come abbiamo visto nel paragrafo precedente, un approccio alla scala globale. In questo ambito si inserisce nel corso della Terza Conferenza delle Parti del 1997 il Protocollo di Kyoto che definisce a livello internazionale gli obiettivi principali da raggiungere per stabilizzare le concentrazioni di gas ad effetto serra ad un livello tale da prevenire pericolose interferenze antropiche con il sistema climatico, e orientare il ruolo delle politiche climatiche verso miglioramenti ambientali. In particolare il Protocollo di Kyoto coinvolge tutti i gas che contribuiscono all'effetto serra, il cui effetto viene convertito in CO₂ equivalenti, e stabilisce la diminuzione dei sei principali gas serra: anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄), il protossido di azoto (N₂O), gli idrofluorocarburi (HFC), i perfluorocarburi (PFC) e l'esafluoro di zolfo (SF₆).

Il Protocollo è entrato in vigore il 16 febbraio 2005 a seguito della ratifica della Russia; per l'entrata in vigore infatti doveva essere ratificato da almeno 55 Paesi sviluppati le cui emissioni totali di anidride carbonica rappresentassero il 55% delle emissioni totali del 1990.

Ai paesi industrializzati viene attribuita una forte responsabilità per l'inquinamento ambientale provocato dall'industria (sono responsabili di oltre il 70% delle emissioni combinate di anidride carbonica e di cinque altri gas ad effetto serra) e quindi si devono impegnare a ridurre complessivamente del 5,2% le emissioni di gas entro un periodo compreso tra il 2008 e il 2012. Il rispetto del protocollo di Kyoto viene conseguito attraverso l'utilizzo di meccanismi flessibili che danno la possibilità di utilizzare a proprio credito le attività di riduzione delle emissioni.

Il protocollo di Kyoto prevede tre meccanismi

flessibili:

- *Emission Trading*
- Il *Clean Development Mechanism*
- La *Join Implementation*

In particolare nel 2004 il Parlamento Europeo ha approvato la direttiva europea *Emission Trading*, ossia il commercio dei diritti di emissione, che prevede un sistema di scambio di quote di emissioni dei gas ad effetto serra per i paesi dell'Unione Europea. Il sistema favorisce la vendita, da parte di un paese industrializzato, dei diritti in eccesso, derivati da una riduzione delle emissioni maggiore della soglia limite stabilita.

Essendo il primo strumento messo in atto per conseguire gli obiettivi della Convenzione si è scelta una linea strategica non orientata a sanzionare economicamente gli Stati in maniera diretta, ma a responsabilizzarli. Il mancato raggiungimento degli obiettivi risulta tuttavia particolarmente oneroso in termini di credibilità internazionale, di appesantimento degli obblighi nel secondo periodo d'impegno (maggiorazione del 30% sulla quantità di emissioni che mancano al raggiungimento dell'obiettivo e viene previsto l'obbligo di adozione

di un piano d'azione per il rispetto dei propri obiettivi) e l'obbligo di adozione di un piano d'azione per il rispetto dei propri obiettivi e il rischio di non partecipare all'*emission trading* (N.M.Caminiti,2010).

Il discorso sul dopo Kyoto è stato rilanciato durante la conferenza di Bali, dicembre 2007. I risultati della conferenza si possono valutare positivamente: nel corso dell'evento è stata definita una *Road Map* con scadenza per la quindicesima Conferenza delle Nazioni Unite sul clima a Copenhagen del 2009. Ma il vertice di Copenhagen non ha dato risultati positivi: non è stato raggiunto il traguardo prefissato sulla quantificazione dei tagli di CO₂, né a medio né a lungo termine. I punti essenziali discussi durante il vertice hanno riguardato: la limitazione del riscaldamento planetario fino al 2050 entro il tetto del 2% del livello planetario e i finanziamenti ai paesi poveri (un pacchetto di 100 miliardi di dollari entro il 2020) per aiutare lo sviluppo sostenibile. La definizione delle cifre di riduzione delle emissioni viene fissata a dopo il 2020, quando ogni paese avrà sottoscritto i propri impegni. (Cooperazione Italiana allo Sviluppo, 2012)

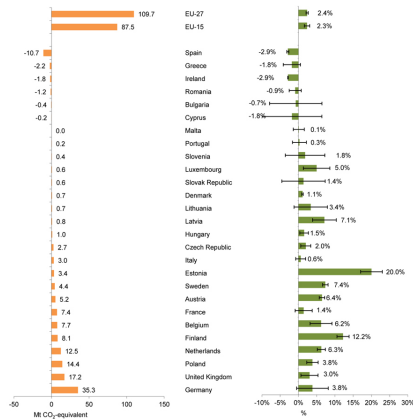


Figura 1.11: Cambiamento delle emissioni di gas serra negli Stati Membri dal 1990-2010 (sinistra) e 2009-2010 (destra); Fonte: European Environment Agency, 2011;

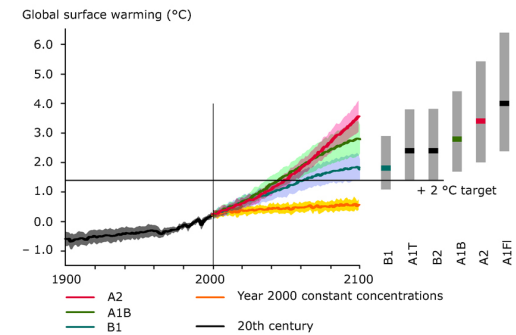


Figura 1.9: Cambiamento della temperatura di superficie globale, calcolata dal 1980 al 1999; Fonte: Intergovernmental panel on climate change, 2007;

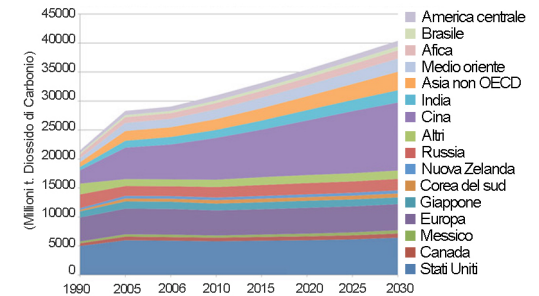


Figura 1.10: Emissioni totali di CO₂, suddivise per Nazioni, calcolate dal 1990 al 2030; Fonte: European Environment Agency, 2010;

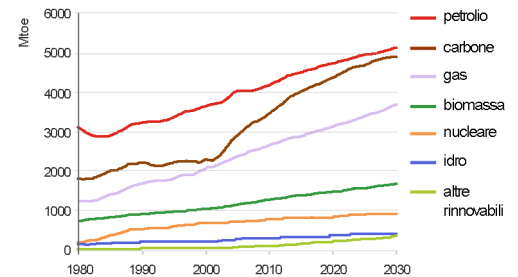


Figura 1.12: Crescita della domanda di energia nel mondo fino al 2030, con un tasso medio di incremento del 1.8%; Fonte: European Environment Agency, 2010;

1.2 Evoluzione normativa a livello europeo

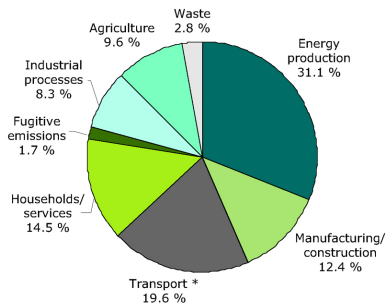


Figura 1.13: Emissioni CO₂, suddivise per settori, nei paesi dell'Unione Europea nel 2010(sopra) e cambiamenti dal 1990 al 2010; Fonte: European Environment Agency , 2010;

Changes 1990–2008

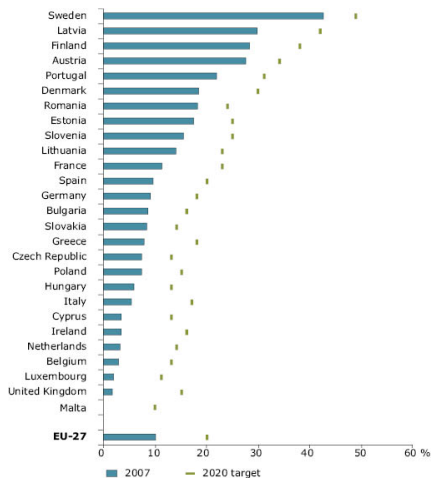
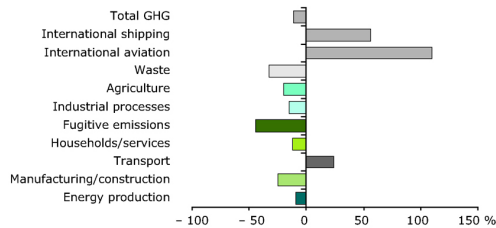


Figura 1.14: Utilizzo di risorse rinnovabili dal 2007 al 2020; Fonte: European Environment Agency , 2010;

L'Agenzia europea dell'ambiente (Aea) redige ogni anno una relazione sulle emissioni di gas ad effetto serra. L'ultimo rilevamento del 2010 segnala un incremento del 2,4% delle emissioni nell'UE rispetto al 2009, dovuto alla ripresa economica verificatasi in molti paesi. Nell'EU-15 le emissioni risultano essere diminuite del 10,7% rispetto ai livelli registrati nel 1990, ponendosi al di sotto dell'obiettivo collettivo di riduzione fissato all'8%. Gli stati membri dell'Unione Europea con maggiori difficoltà nel rispettare i propri impegni sono: la Danimarca, la Spagna e l'Italia che risultano avere ridotto le proprie emissioni rispettivamente del 0,7%, 0,5% e -3,7%. Tra i paesi che si sono dimostrati in linea con il proprio obiettivo di riduzione delle emissioni troviamo la Germania (4,4%), l'Austria (5,4%) e i Paesi Bassi (5,9%). Di fronte all'aumento dei consumi e alla scarsità di risorse la ricerca mira a trovare risposte impegnandosi sul versante dell'ottimizzazione del rendimento energetico e dell'individuazione di fonti energetiche alternative. La ricerca si concilia con gli obiettivi di progettazione sostenibile poiché tende a diminuire il consumo di risorse a parità di benessere conseguito e a ridurre gli impatti ambientali grazie all'uso di fonti energetiche pulite. Ma è anche importante la ricerca per garantire risparmi energetici. Risulta sensato ridurre a monte la domanda piuttosto che correre ai ripari per garantire un'offerta adeguata e sufficiente.

E' dunque su una diminuzione dei consumi che occorre puntare la nostra attenzione partendo dal comparto che maggiormente è causa di

consumi energetici: il settore edilizio.

Settore altamente energivoro ma proprio per questo è forse anche quello in cui più facilmente ed efficacemente è possibile ricercare modalità di contenimento energetico. La fase d'uso degli edifici assorbe un terzo dell'energia primaria consumata: in particolare il settore residenziale e terziario assorbono il 40% del consumo finale di energia.

Da qui l'importanza del ruolo assunto da un organismo sovranazionale come l'Unione Europea, per affrontare i problemi legati all'utilizzo dell'energia. La risposta europea è costituita dalla promulgazione di risoluzioni, direttive e decisioni che gli Stati Membri devono recepire. Questa attenzione da parte del Parlamento e del Consiglio dell'Unione Europea è fondamentale dal momento che sottolinea la necessità di trattare tali problematiche da un punto di vista sovranazionale, dando vita ad una politica energetica comune a tutti gli Stati del vecchio continente. Per ottenere risultati di un certo rilievo vengono promosse azioni concrete mirate al risparmio energetico e allo sviluppo del mercato delle energie rinnovabili. Tuttavia rimane la facoltà, per ogni Nazione, di recepire secondo i propri criteri e normative i punti prefissati dalla comunità.

Il gruppo di lavoro sull'edilizia sostenibile ha pubblicato nel 2001 un rapporto intitolato **An agenda for sustainable construction in Europe** (Programma per l'edilizia sostenibile in Europa), proponendo un programma di azione e formulando una serie di raccomandazioni mirate a tutti gli Stati Membri della Comunità Europea attraverso una politica che vada al di là del singolo Paese.

Nel 2002 la promulgazione della Direttiva 2002/91/CE sulla prestazione energetica nell'edilizia ha rappresentato il punto di partenza del quadro normativo Europeo e Nazionale.

La **Direttiva Europea Energy Performance of Buildings (EPBD) 2002/91/CE** nasce con l'obiettivo di promuovere il miglioramento del rendimento energetico degli edifici nella Comunità, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne e delle prescrizioni per quanto riguarda il clima degli ambienti interni e l'efficacia sotto il profilo dei costi. Tutti gli stati membri vengono invitati ad affrontare il tema della pianificazione energetica in modo strutturale, definendo norme minime sul rendimento energetico degli edifici, e introducendo un sistema di certificazione energetica degli edifici di nuova costruzione ed esistenti. La direttiva nasce sollecitata dal conseguimento degli impegni del Protocollo di Kyoto e per la sicurezza negli approvvigionamenti energetici. In questa prospettiva, l'obiettivo del risparmio energetico appare coincidere perfettamente con quello dell'eco-efficienza: ridurre drasticamente la richiesta di energia degli edifici e incrementare l'efficienza degli impianti (producendo possibilmente energia da fonti rinnovabili) al fine di ottenere l'autosufficienza energetica e la riduzione dell'inquinamento.

La Direttiva non fa riferimento a parametri o prescrizioni progettuali, ma delega alle nazioni la stesura di indicazioni specifiche. Occorre infatti che vengano definiti livelli prestazionali e metodi di valutazione standardizzati su scala nazionale per la verifica delle prestazioni energetiche degli edifici.

La **certificazione energetica** costituisce la strada per informare gli utenti sui consumi della loro abitazione, creando una sensibilità nei confronti di questo tema che non ha valenza solo ambientale ma anche economica e innescando una concorrenza virtuosa verso la realizzazione di edifici energeticamente efficienti. La certificazione consiste nel dichiarare il consumo di energia primaria tenendo conto del

fabbisogno energetico dell'edificio e del rendimento degli impianti, espresso in kWh/m²a. In questo contesto viene a definirsi il Rendimento Energetico o *Energy Performance* come "(...) quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio, compresi, tra gli altri, il riscaldamento, il riscaldamento dell'acqua, la ventilazione e l'illuminazione" (Direttiva Europea, 2002). Una certificazione energetica completa deve prevedere la verifica parallela di tutti gli aspetti legati alla gestione energetica dell'edificio (riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione, ventilazione), poiché strategie volte al contenimento dei consumi di un aspetto possono innalzare i consumi di un altro. Tali considerazioni sono presenti all'interno della direttiva EPBD che richiede una verifica complessiva dei consumi (raffrescamento soprattutto nei paesi di area mediterranea).

Un versante di estrema criticità sono gli strumenti di valutazione energetica degli edifici, i cui risultati vengono usati all'interno della certificazione e come strumento di supporto al progetto. La scelta di strumenti semplificati, facilmente accessibili, ha portato a privilegiare procedure di calcolo in regime stazionario, trascurando verifiche di comfort e comportamento inerziale dell'edificio fondamentali per il risparmio energetico e il benessere degli abitanti. Inoltre occorre sottolineare che, pur essendo uno strumento importante di sensibilizzazione degli utenti nei confronti dei consumi e dell'inquinamento prodotti dalla gestione dell'edificio, non sono sufficienti a fornire una informazione completa sul comportamento ambientale della costruzione poiché trascurano molti altri parametri di valutazione, tra cui gli aspetti gestionali relativi alla manutenzione e flessibilità degli

Infobox 1

Direttiva Europea 2002/91/CE sul rendimento energetico degli edifici

- I "pilastri" della direttiva sono:
- una metodologia comune di calcolo del rendimento energetico integrato degli edifici;
 - i requisiti minimi sul rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione e degli edifici già esistenti sottoposti a importanti ristrutturazioni;
 - modalità di certificazione degli edifici di nuova costruzione ed esistenti e l'esposizione negli edifici pubblici degli attestati di rendimento energetico e di altre informazioni pertinenti in modo da garantire trasparenza nell'informazione per utenti e acquirenti;
 - modalità per effettuare l'ispezione periodica delle caldaie e degli impianti centralizzati di aria condizionata negli edifici e la valutazione degli impianti di riscaldamento dotati di caldaie installate da oltre 15 anni.

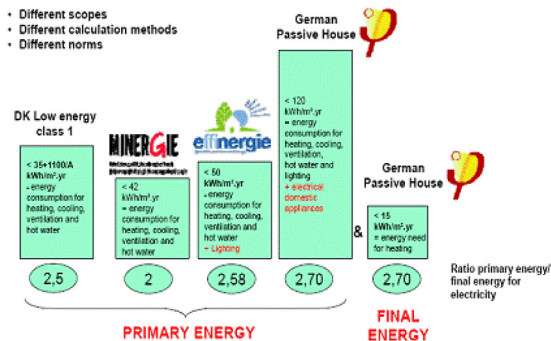


Figura 1.15: Grafico sui differenti scopi e metodi di calcolo per la valutazione di edifici energeticamente efficienti;
Fonte: K. E. Thomsen, K. B. Wittchen, 2008;

Infobox 2

La certificazione energetica

La certificazione energetica, insieme con la diminuzione dell'impatto ambientale prodotto in termini di consumi di energia e risorse, si pone gli obiettivi di:

- migliorare la trasparenza del mercato immobiliare fornendo agli acquirenti e ai locatari di immobili un'informazione oggettiva e trasparente delle caratteristiche e delle spese energetiche dell'immobile;
- informare e rendere coscienti i proprietari degli immobili del costo energetico legato alla conduzione del proprio "sistema edilizio", in modo da incoraggiare interventi migliorativi dell'efficienza energetica della propria abitazione;
- la certificazione consente agli interessati di pretendere dal fornitore di un immobile informazioni affidabili sui costi di costruzione;
- l'acquirente ha la possibilità di valutare se è più o meno conveniente investire in un prodotto migliore dal punto di vista della manutenzione e della gestione;

spazi, il controllo del comfort e della salubrità degli stessi.

La Danimarca è stata la prima nazione ad introdurre la certificazione energetica degli edifici nel 1981; nel 2000 si è dotata di un piano operativo per ridurre fino a 45 kWh/m²a il consumo specifico per il riscaldamento e nel 2010 l'entrata in vigore del nuovo regolamento edilizio BR 10 (cfr. capitolo 3) ha portato un aggiornamento alla certificazione energetica danese. Il nuovo certificato prevede 8 classi energetiche (il vecchio ne prevedeva 14) dalla G alla A₁, dove A₁ è la classe più alta e richiede un fabbisogno di riscaldamento, acqua calda sanitaria e ventilazione inferiore o uguale a 50 kWh/m²a maggiorati una quantità pari a 1000 kWh/a diviso l'area di superficie riscaldata. Gli edifici di nuova costruzione o che necessitano di modifica della destinazione d'uso devono essere progettati secondo la classe energetica B (95 kWh/m²a + 1000 kWh/a/A_{riscaldato}).

In Austria invece il massimo consumo annuo di energia per accedere ad incentivi è passato dal valore di 75 kWh/m²a del 1990 a quello di 50 kWh/m²a del 2004. Nel 2008, dopo la ratifica del documento OIB Guidelines⁶ (cfr. capitolo 3) in merito alle modifiche da apportare al regolamento edilizio, il certificato energetico viene suddiviso in 9 classi, dalla G alla A++; la classe A++ prevede una domanda termica, per il riscaldamento ed acqua calda sanitaria, ed elettrica inferiore o uguale a 10 kWh/m²a. Gli edifici B (<= 95 kWh/m²a). In Germania si sviluppa lo standard energetico Passivhaus che considera nelle voci di consumo, oltre al fabbisogno per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria, anche il fabbisogno elettrico per l'illuminazione, la ventilazione e gli elettrodomestici fissando un valore limite di 120 kWh/m²a. In Svizzera si sviluppa invece il marchio di certificazione Minergie e per accedervi gli

edifici residenziali (vengono dati valori limite a seconda della categoria dell'edificio) non devono superare un fabbisogno termico per riscaldamento e acqua calda sanitaria e di consumi per ventilazione e raffrescamento di 38 kWh/m²a. Nel 2003 viene introdotto lo standard Minergie P che caratterizza e qualifica gli edifici che tendono ad avere un consumo energetico ancora più basso rispetto a Minergie; i valori limite di consumo per gli edifici residenziali è di 30 kWh/m²a.

Alcuni certificati energetici non considerano tutti gli aspetti di consumo di un edificio (ad esempio il certificato danese non prevede la valutazione della domanda elettrica per l'illuminazione), ma la direttiva europea 2002/91/CE impone la verifica di tutti i fabbisogno dell'edificio. Anche il valore delle emissioni di CO₂ durante la fase d'uso, quindi in loco, deve essere indicato in relazione al tipo di vettore energetico utilizzato; inoltre va sottolineato che i consumi energetici per riscaldamento costituiscono, per il settore residenziale, la voce maggiore, ma che la crescente domanda di condizionamento estivo sta assumendo un ruolo preoccupante: il raffrescamento dei volumi edilizi residenziali sta tenendo il passo con le sempre crescenti esigenze dell'utenza.

Viene quindi a delinearsi un nuovo scenario di progettazione, vi è un allargamento delle competenze del progettista incaricato, non ci si può più limitare all'ambito architettonico; vi deve essere un coinvolgimento dei diversi attori del processo edilizio sin dalle prime fasi. Viene affrontato il tema energetico introducendo un approccio al ciclo di vita. Viene evidenziata la necessità di verificare che le soluzioni tecniche ed impiantistiche utilizzate al fine di ottenere un risparmio energetico nella gestione dell'edificio, non generino innalzamento di consumi e degli impatti ambientali in altre fasi, di produzione.

Le strategie per orientare il mercato verso una maggiore sensibilizzazione del problema energetico, si basano inizialmente sulla definizione di standard e limiti da rispettare; solo con il passare del tempo viene attuato un percorso di riorientamento dalla leva legislativa alla leva economica.

Si è cercato di agire anche tramite meccanismi di carattere economico, rendendo sensibili gli operatori agendo sui costi, tramite la definizione di accise di consumo di risorse e sull'inquinamento e sussidi per il risparmio energetico. Con la **Direttiva 2006/32/Ce** vengono definiti "(...) gli obiettivi indicativi, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale, finanziario e giuridico, necessari ad eliminare le barriere e le imperfezioni esistenti sul mercato che ostacolano un efficiente uso finale dell'energia" (Direttiva Europea, 2006). Il miglioramento dell'efficienza negli usi finali dell'energia può contribuire anche alla riduzione del consumo di energia primaria, alla riduzione delle emissioni di CO₂ ed altri gas ad effetto serra e quindi alla prevenzione di un pericoloso cambiamento climatico.

L'Unione europea si impegna quindi a livello mondiale per promuovere accordi con i principali partner commerciali e gli organismi internazionali volti a definire standard comuni di efficienza energetica nei settori degli usi finali e delle trasformazioni.

Nel 2007 la Commissione propone un ulteriore passo verso un'economia a bassa emissione di carbonio che prevede un investimento massiccio in nuove tecnologie ad energia rinnovabile e lo sviluppo di una politica energetica comune. Proposte concrete, frutto di un lungo e complesso negoziato, costituiscono il **pacchetto clima energia dell'Unione Europea** volto a conseguire l'obiettivo 20-20-20 che si sostanzia nella riduzione del 20% delle emissioni di

gas ad effetto serra, nel 20% di risparmio energetico e nell'aumento al 20% del consumo di fonti rinnovabili. Nel pacchetto viene proposta la riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra del 21% rispetto alle emissioni del 2005. L'obiettivo che si pone la Commissione è quello di definire un quadro politico che consenta di trasformare l'economia europea in un'economia più attenta all'ambiente, senza sottovalutare l'importanza di dare una risposta alla sicurezza energetica. Basandosi sul sistema UE di scambio di quote di emissioni, la Commissione propone di rafforzare il mercato unico del carbonio a livello comunitario estendendolo ad un numero maggiore di gas serra (non più solo l'anidride carbonica) e allargandolo a tutti i grandi impianti industriali responsabili dell'emissione di tali gas. La riduzione del 21% delle emissioni nel 2020 sarà raggiunta con la riduzione di anno in anno delle quote poste sul mercato.

Nel settore energetico, responsabile della maggior parte delle emissioni dell'UE, il pacchetto prevede la messa all'asta di tutte le quote dal 2013, così da poter utilizzare le entrate derivanti dal sistema per aiutare l'UE ad orientarsi verso un'economia più attenta all'ambiente, promuovendo l'innovazione in settori quali le energie rinnovabili, la ricerca e lo sviluppo. (ec.europa.eu, 2007). Per quanto riguarda i settori non rientranti nel sistema di scambio di quote, come l'edilizia, i trasporti, l'agricoltura e i rifiuti, l'UE deve impegnarsi a ridurre le emissioni del 10% rispetto ai livelli del 2005 entro il 2020. Inoltre per ciascuno stato membro la commissione propone un obiettivo specifico di riduzione delle emissioni da conseguire entro il 2020 (per l'Italia: -13% delle emissioni rispetto al 2005 nei settori non soggetti al sistema di scambio di quote e 17% la quota di energia da fonti rinnovabili nella domanda effettiva di ener-

Infobox 3

2008, UE, Pacchetto clima-energia, obiettivo: 20/20/20, 18 dicembre 2008

Sei sono le proposte legislative sul pacchetto clima-energia che sono state adottate:

Sistema di scambio delle emissioni di gas a effetto serra (ETS): il Pacchetto è volto a perfezionare ed estendere il sistema comunitario di scambio delle quote di emissioni dei gas a effetto serra con l'obiettivo di ridurre l'emissione dei gas serra del 21% nel 2020 rispetto al 2005;

Ripartizione degli sforzi per ridurre le emissioni: mira a ridurre del 10% le emissioni di gas serra prodotte in settori esclusi dal sistema di scambio di quote;

Cattura e stoccaggio geologico del biossido di carbonio: il Pacchetto istituisce un quadro giuridico per lo stoccaggio geologico ecosostenibile di biossido di carbonio;

Accordo sulle energie rinnovabili: il Pacchetto stabilisce obiettivi nazionali obbligatori (17% per l'Italia) per garantire che, nel 2020, una media del 20% del consumo di energia dell'UE provenga da fonti rinnovabili;

Riduzione del CO₂ da parte delle auto: il regolamento fissa il livello medio di emissioni di CO₂ delle auto nuove a 130 gCO₂/km a partire dal 2012 da ottenere con miglioramenti tecnologici dei motori;

Riduzione dei gas ad effetto serra nel ciclo di vita dei combustibili: il Pacchetto stabilisce l'obiettivo di riduzione del 6% delle emissioni di gas serra prodotte durante il ciclo di vita dei combustibili da conseguire entro il 2020.

Infobox 4

Direttiva Europea 2010/31/UE sul rendimento energetico degli edifici

La direttiva fonde disposizioni su:

- una metodologia per il calcolo della prestazione energetica integrata degli edifici e delle unità immobiliari;
- applicazione dei requisiti minimi alla prestazione energetica di edifici e unità immobiliari al fine di raggiungere livelli ottimali in funzione dei costi;
- certificazione energetica o delle unità immobiliari;
- sistemi di controllo indipendenti per gli attestati di prestazione energetica e i rapporti di ispezione;
- piani nazionali destinati ad aumentare il numero di edifici ad energia quasi zero;
- ispezione periodica degli impianti di riscaldamento e condizionamento d'aria negli uffici.

gia entro il 2020).

Per conseguire l'obiettivo di ridurre del 20% il consumo dell'Unione Europea il Parlamento Europeo ha invitato a rafforzare le disposizioni della Direttiva 2002/91/CE e ha sottolineato l'impegno di rendere vincolante l'obiettivo di miglioramento dell'efficienza energetica del 20%. In questo ambito si inserisce l'introduzione della **Direttiva Europea 2010/31/UE** del 19 maggio 2010 che promuove il miglioramento della prestazione energetica degli edifici considerando le condizioni locali e climatiche e l'efficacia sotto il profilo dei costi, e delinea il quadro comune generale per il calcolo della prestazione energetica degli edifici al quale gli Stati membri devono adeguarsi. La metodologia di calcolo della prestazione energetica degli edifici deve essere determinata sulla base delle caratteristiche termiche dell'edificio e delle sue divisioni interne, degli impianti di riscaldamento, di produzione di acqua calda, di condizionamento, d'illuminazione e sulla base dell'orientamento dell'edificio, dei sistemi solari passivi.

La direttiva stabilisce che i requisiti minimi della prestazione energetica devono essere applicati agli edifici di nuova costruzione, esistenti e ristrutturati, solo se "efficaci sotto il profilo dei costi rispetto al ciclo di vita economico stimato" (Direttiva Europea, 2010). La Direttiva si pone come fine ultimo il raggiungimento dello standard di "edificio a energia quasi zero" per le nuove costruzioni da realizzarsi a partire dal 2021; data da anticiparsi al 2019 (31 dicembre 2018) per gli edifici pubblici.

E' una scelta decisiva, soprattutto leggendo la definizione di edificio a energia quasi zero: "(...) edificio ad altissima prestazione energetica, determinata conformemente all'allegato I. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura mol-

to significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze." (Direttiva Europea, 2010)

L'obiettivo *Zero Energy Building* non è solo europeo. Negli Stati Uniti il *Department of Energy* (DOE) ha stabilito l'ambizioso proposito di definire tecnologie e conoscenze necessarie per la realizzazione di edifici commerciali (*Zero Energy Commercial Buildings*), a partire dal 2025.

Nel 2008 l'International Energy Agency (IEA), nell'ambito dei programmi SHC, *Solar Heating and Cooling*, e ECBCS, *Energy Conservation in Buildings and Community Systems*, ha avviato un progetto dedicato a questo tema: SHC *Task 40-ECBCS Annex 52, Towards Net Zero Energy Solar Buildings NZEBs*, con l'intento di dare una definizione di NZEBs e di fornire degli esempi dimostrativi e linee guida per la progettazione di questi edifici.

Infobox 5

Progetto "Task 40 - Annex 52 NZEB"

Il progetto Task 40 – Annex 52 su i NZEB vanta la partecipazione di circa 20 Paesi per un totale di 40 istituzioni, principalmente poli universitari e centri di ricerca. Suddiviso in 4 macroattività (Subtask), si svolgerà fino al 2013 con i seguenti obiettivi primari:

- identificare una comune definizione e metodologia di valutazione di NZEB (Subtask A);
- indirizzare gli attuali strumenti di progettazione affinché possano essere di supporto ad una progettazione NZE (Subtask B);
- definire insieme di soluzioni progettuali utili per il raggiungimento di livelli NZE (Subtask C);
- divulgare i risultati

1.2.1 Un caso significativo: l'Inghilterra

Il Regno Unito ha anticipato la situazione Europea e per dare una risposta concreta agli impegni stabiliti nel Protocollo di Kyoto ha introdotto, nel proprio territorio, a partire dal 2006, lo standard energetico previsto dal *Code for Sustainable Home*, con l'intenzione di realizzare entro il 2016 tutti i nuovi edifici secondo l'obiettivo *Carbon Neutral* o *Zero Emission*.

Il tema dell'efficienza energetica è stato affrontato per la coerenza di dare risposta alla Direttiva *Energy Performance of Buildings* che obbliga all'introduzione della certificazione energetica degli edifici e alla definizione di requisiti minimi per il risparmio energetico.

L'emissione dei gas ad effetto serra e in particolare dell'anidride carbonica, sono le maggiori cause del cambiamento climatico. Lo *Stern Review* sul cambiamento climatico economico ha dichiarato che se le emissioni di gas serra continueranno con la stessa frequenza ci sarà un aumento di temperatura di 5°C. L'Inghilterra ha emesso più di 150 Mtc di CO₂ nel 2004. Il settore edilizio è responsabile di 41.7 MtC di queste emissioni.

Il riscaldamento dell'acqua e degli ambienti è responsabile del 73% delle emissioni domestiche (le tendenze recenti portano ad aumentare la richiesta di energia per l'illuminazione e le apparecchiature). Più dell'80% del sistema di riscaldamento in Inghilterra è alimentato a gas. L'utilizzo di combustibile a gas è un'altra importante fonte di emissioni di CO₂, anche se il gas consuma meno anidride carbonica del carbone e del gasolio. La sicurezza energetica è un'importante meta e la domanda e i prezzi delle risorse importate stanno aumentando.

Si sente il bisogno di costruire seguendo una strategia che permetta la riduzione delle emissioni sia da parte di edifici di nuova costruzione, sia del parco costruito esistente, attraverso l'impiego di nuove tecnologie.

Il Governo inglese ha proposto diversi programmi per assicurare la riduzione delle emissioni provenienti dal settore residenziale, per promuovere l'efficienza energetica e la conservazione dell'energia. Tra questi programmi cito: l'*Energy Saving Trust* del 1993 che istruisce gli abitanti, i compratori e i fornitori sulle tecniche necessarie al conseguimento di riduzione delle emissioni; lo standard *Decent Home* del 2004 che promuove soluzioni per migliorare l'isolamento termico e il riscaldamento delle abitazioni ai fini di diminuire la richiesta energetica; l'*Energy Efficiency Commitment* (EEC) del 2008 che promuove soluzioni efficienti per evitare perdite nell'ambito della fornitura di gas ed elettricità.

Il *Code for Sustainable Home* è un nuovo passo verso lo sviluppo di una pratica costruttiva che assicuri la diminuzione dei livelli di emissione di anidride carbonica. E' un metodo di valutazione ambientale per la stima e la certificazione energetica delle nuove case.

Il Codice viene redatto nel 2006 dal Governo inglese in stretta collaborazione con il Centro BREEAM al *Building Research Establishment* sulla base del metodo di valutazione *Ecohomes* e diventa operativo in Inghilterra nell'aprile 2007.

Il Governo britannico auspica che questo possa diventare il solo standard nazionale a cui fare riferimento per il progetto e la costruzione di case sostenibili e che porti miglioramenti nell'edilizia residenziale. In questa struttura politica sono tre i principali dispositivi che possono fare leva sulle performance energetiche dei nuovi edifici in Inghilterra: il sistema di pia-

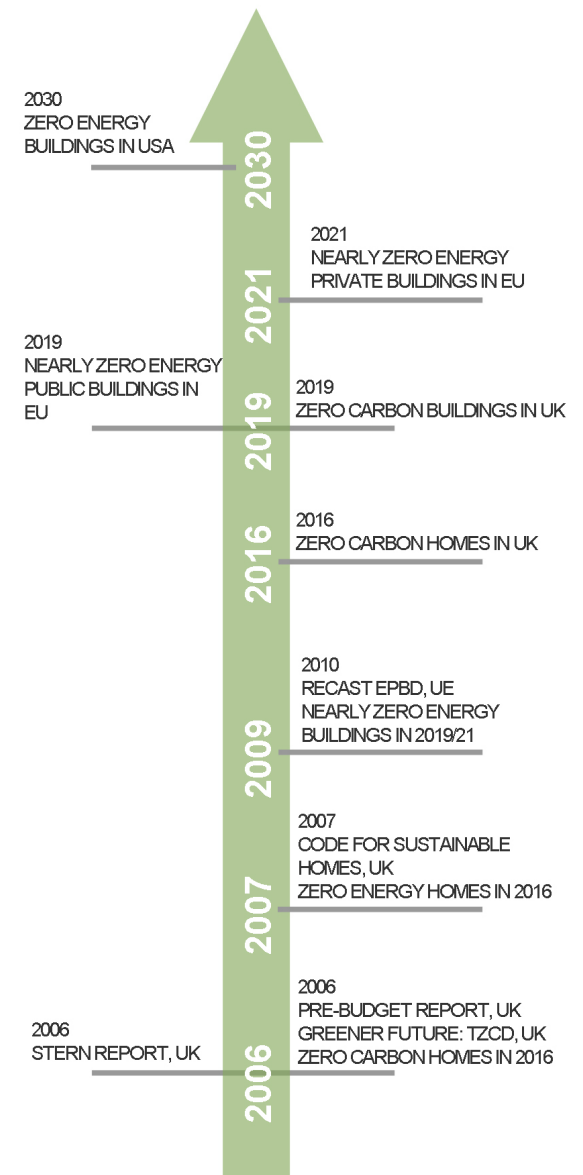


Figura 1.16: Linea temporale per raggiungere l'obiettivo zero Energy Building;

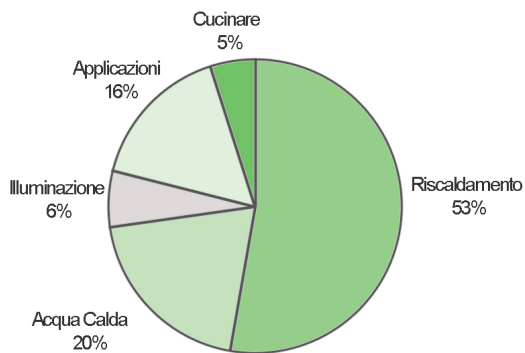


Figura 1.17: Emissioni domestiche di CO₂ in UK. In media gli edifici residenziali sono responsabili di 1.54 tCO₂/a; Fonte: www.communities.gov.uk;

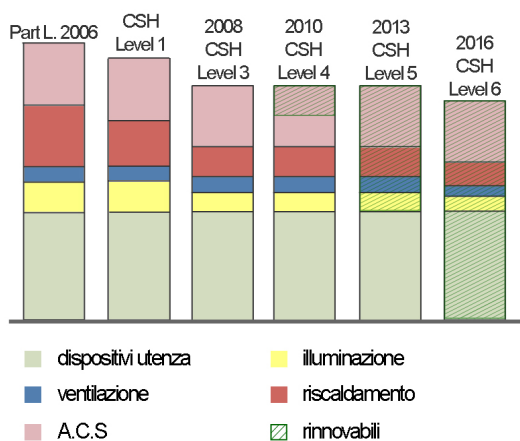


Figura 1.18: Schema del programma dettato dal Code for Sustainable Home. Il programma prevede che dal 2016 tutte le emissioni degli edifici residenziali siano compensate in sito o tramite generazione con connessione dedicata; Fonte: www.communities.gov.uk;

nificazione, il *Code for Sustainable Home* e il Regolamento Edilizio. Il primo, attraverso un adeguato studio del suolo, permette di ridurre la necessità di spostamento e di costruire in previsione di un approvvigionamento di energia attraverso fonti rinnovabili o a basso consumo. Il Codice invece risulta essere strettamente connesso al Regolamento Edilizio che fissa lo standard minimo previsto dalla legge. Gli standard minimi previsti dal *Code for Sustainable Home* sono stati aumentati così da permettere a quest'ultimo di essere considerato la nuova frontiera di arrivo per la regolazione dell'emissione di anidride carbonica nel parco edilizio.

Il codice identifica nove categorie principali all'interno di un progetto sostenibile: energia ed emissioni di CO₂, Acqua, Materiali, Permeabilità del suolo, Rifiuti, Inquinamento, Riscaldamento e Benessere, Gestione ed Ecologia: sono previste delle valutazioni sull'impatto ambientale secondo standard ancora più restrittivi rispetto al Regolamento Edilizio. Il codice assegna uno o più requisiti prestazionali (criteri di valutazione) a ogni problematica ambientale. Quando il singolo requisito prestazionale viene raggiunto viene assegnato un credito (punto). Per quattro di queste problematiche è stabilito un singolo requisito obbligatorio che deve essere soddisfatto indipendentemente dal livello di prestazione generale che si desidera raggiungere.

Le quattro problematiche sono: impatto ambientale dei materiali, gestione delle acque superficiali di scolo, stoccaggio dei rifiuti non riciclabili e di quelli riciclabili domestici e costruzione di un sito di gestione dei rifiuti.

Il livello di emissioni dell'abitazione e l'utilizzo d'acqua calda sanitaria sono considerate categorie da rispettare ad ogni livello raggiunto all'interno del Codice e, per tanto, vengono fissati degli standard minimi obbligatori da sod-

disfare.

Per il sesto livello, il più elevato del codice, viene richiesto anche il tempo di vita dell'abitazione.

Un edificio può quindi raggiungere una performance da una a sei stelle; una stella indica il livello di entrata, sei stelle invece è il massimo e indica una *Zero Carbon Home*.

Il Governo Inglese vuole raggiungere lo standard *Zero Carbon Home* in tre fasi: migliorando le emissioni nel regolamento edilizio del 25% entro il 2010 (corrispondente al livello 3 del codice), del 44% entro il 2013 (livello 4 del codice) per poi arrivare agli edifici ad emissione 0 nel 2016 (livello 6 del codice).

1.3 Evoluzione normativa a livello italiano

Anche in Italia, come negli altri Paesi Europei, la situazione normativa riguardante la sostenibilità delle costruzioni è principalmente volta al risparmio energetico negli edifici, all'uso razionale dell'energia e alla promozione delle fonti energetiche rinnovabili.

A livello nazionale, fin dalla **legge n. 10/1991**, si pone l'accento sul risparmio energetico e l'uso razionale dell'energia e sulla diffusione delle fonti rinnovabili. Oltre all'assegnazione di specifici compiti in materia alle regioni e agli enti locali, la legge in questione si pone l'obiettivo di contenere il consumo energetico negli edifici pubblici e privati con l'obbligo di certificazione energetica.

L'applicazione della **certificazione energetica** in Italia precede la Direttiva Europea del 2002/91/CE; il caso pilota, della nostra nazione, è il marchio *CasaClima* varato nel 2000 dalla provincia autonoma di Bolzano: si tratta di un documento rilasciato dall'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, ARPA, che certifica il fabbisogno degli edifici.

Lo standard CasaClima assegna agli edifici una classe di appartenenza in base al consumo di energia: classe A, quando l'indice termico è inferiore ai 30 kWh/m²a; classe B, quando l'indice termico è inferiore ai 50 kWh/m²a; classe C, quando l'indice termico è inferiore ai 70 kWh/m²a. Lo standard minimo richiesto è della classe B, con l'utilizzazione obbligatoria dell'energia solare, con pannelli termici ovvero con impianti fotovoltaici per almeno il 25% del fabbisogno termico totale equivalente.

Il lungo processo di recepimento della Direttiva Europea 2002/91/CE sul rendimento energeti-

co in edilizia e sulla definizione di regole generali per la certificazione energetica, si avvia con l'entrata in vigore del **D.Lgs. 192 del 19 agosto del 2005**.

Il decreto stabilisce i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici per favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione di fonti rinnovabili e contribuire al conseguimento degli obiettivi nazionali di riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra posti dal protocollo di Kyoto (decreto, 2005). Il decreto si disciplina sulla metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici, sull'applicazione di requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici, sui criteri generali per la progettazione energetica degli edifici, sui criteri per garantire la qualificazione del costruito e sulla formazione di esperti incaricati della certificazione energetica e delle ispezioni degli impianti e la promozione dell'uso razionale dell'energia anche attraverso l'informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali.

Per quanto riguarda i requisiti minimi prestazionali il Decreto prevede un'applicazione graduale in relazione al tipo di intervento:

- un'applicazione integrale a tutto l'edificio nel caso di demolizione, ricostruzione in manutenzione e ristrutturazione integrale degli elementi edilizi di superficie utile maggiore di 1000 metri quadri;
- un'applicazione integrale ma limitata al solo ampliamento dell'edificio nel caso in cui questo risulti volumetricamente superiore al 20% dell'intero edificio esistente;

- applicazione limitata al rispetto di precisi parametri, livelli prestazionali e prescrizioni, nel caso di interventi su edifici esistenti (ristrutturazione o manutenzione straordinaria dell'involucro).

Il decreto rende inoltre obbligatoria la certifi-

cazione energetica degli edifici.

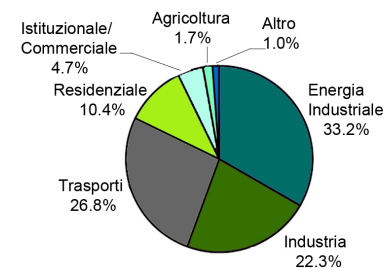


Figura 1.19: Emissioni di CO₂ dell'Italia, suddivise per settori, calcolate al 2007; Fonte: Enea, 2007;

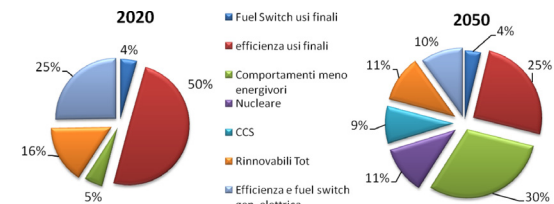


Figura 1.20: Scenario di riduzione di CO₂ per famiglia di tecnologie nel 2020 e 2050; Fonte: Enea, 2010;

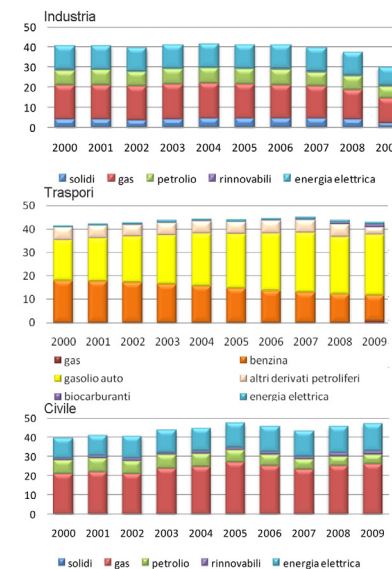


Figura 1.21: Consumi finali di energia per settore dal 2000 al 2009; Fonte: Enea, 2010;

Infobox 6

D.P.R. 2 aprile 2009, n.59

Rappresenta un'attuazione dell'articolo 4 del Dlgs 192/2005, che illustra criteri generali e i requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti, con l'aggiunta di ulteriori disposizioni:

precisazioni in merito ai valori di trasmittanza limite per le chiusure apribili dell'edificio;

introduzione di un valore massimo ammissibile della prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio;

introduzione di limitazione alla decentralizzazione degli impianti termici e disposizione per un graduale passaggio alla contabilizzazione del calore in presenza di impianti di riscaldamento condominiali;

requisiti specifici minimi per i limiti di emissione del generatore e l'isolamento dell'involucro edilizio in caso di nuove costruzioni o grandi ristrutturazioni di edifici dotati di generatori di calore alimentati da biomasse combustibili;

modifica degli obblighi di trattamento dell'acqua per impianti di riscaldamento;

valutazione di utilizzo, per ristrutturazioni di edifici esistenti, di sistemi schermanti o filtranti per le superfici vetrate;

fissazione di requisiti minimi per l'edilizia privata (40 kWh/m²a in zone climatiche A e B; 30 kWh/m²a in altre zone) e l'edilizia pubblica (14 kWh/m²a in zone climatiche A e B; 10 kWh/m²a in altre zone).

cazione energetica degli edifici definendone i criteri e gli ambiti applicativi a livello nazionale. A più di un anno e mezzo di distanza dall'emanazione del D.Lgs. 192 del 2005, mentre erano attesi i decreti attuativi e i criteri generali per la certificazione energetica, è stato emanato il **D.Lgs. 311/06** mediante il quale vengono apportate modifiche alle prescrizioni già presenti nella prima legge.

Il decreto mantiene la verifica del solo fabbisogno energetico per il riscaldamento invernale senza introdurre la verifica del fabbisogno energetico estivo, omessa nella certificazione energetica degli edifici, nonostante nella direttiva europea sia riportato "dovrebbe essere accordata priorità alle strategie che contribuiscono a migliorare il rendimento termico degli edifici nel periodo estivo." (Direttiva Europea, 2002). Il Decreto rinvia le procedure per la certificazione energetica sostituite dall'attestato di qualificazione energetica con validità temporanea massima di dieci anni dalla data di rilascio, ma rinnova la definizione di requisiti minimi cogenti. Propone nuovi valori di prestazione energetica per la climatizzazione invernale operando separatamente tra valori di riferimento per gli edifici residenziali, espressi in kWh/m²a, e per tutti gli altri edifici, espressi in kWh/m³a, dando tre soglie temporali (2006, 2008, 2010). Anche per i valori limite delle trasmittanze termiche vengono introdotte tre soglie temporali.

Il 2009 risulta essere un anno all'insegna dei cambiamenti; a partire dal 25 giugno 2009 entra in vigore il **DPR 59/09**, il quale introduce un'importante novità: i requisiti minimi per la climatizzazione estiva (in base alla prestazione termica dell'involucro), confermando l'adozione delle metodologie di calcolo basate sulle UNI TS 11300, per il contenimento delle temperature interne degli ambienti. Tre gli elementi fondamentali: le schermature solari delle superfici

trasparenti, l'inerzia termica degli involucri opachi e la ventilazione naturale.

Come già previsto nei decreti esistenti il DPR impone per tutte le categorie di edifici, sia pubblici sia privati, l'utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di acqua calda energia termica ed elettrica.

La Commissione Europea nel 2006 ha avviato la procedura di messa in mora nei confronti della Repubblica italiana a causa della mancata introduzione all'attestato di certificazione energetica.

Il ritardo normativo ha generato una proliferazione di iniziative autonome che risulta disorientare gli operatori del settore edilizio e gli utenti finali. In particolare il DPR 59/09 si pone come "(...) finalità una applicazione omogenea e coordinata ed immediatamente operativa delle norme per l'efficienza energetica su tutto territorio nazionale". (A. Campioli, S. Ferrari, M. Lavagna, 2009).

La vera novità, e il cuore del percorso normativo, è costituita dall'emanazione delle linee guida sulla certificazione energetica avvenuta con il **DM del 26 giugno 2009**.

I principi fondamentali desumibili dal decreto tengono conto :

- dei dati informativi che devono essere contenuti nell'attestato di certificazione energetica, dei dati relativi all'efficienza energetica dell'edificio, dei valori vigenti a norma di legge, dei valori di riferimento o classi di prestazionali che consentano ai cittadini di valutare e rafforzare la prestazione energetica dell'edificio;
- delle norme tecniche di riferimento conformi a quelle sviluppate nell'ambito europeo;
- delle metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici, compresi i metodi di semplificazione finalizzati a mini-

- mizzare gli oneri a carico dei cittadini;
- dei requisiti professionali e criteri per assicurare la qualificazione e l'indipendenza dei soggetti;
- della validità temporale massima dell'attestato;
- delle prescrizioni relative all'aggiornamento dell'attestato in relazione ad ogni intervento che migliori la prestazione energetica dell'edificio.

In particolare nell'ambito del decreto viene citato in merito alla prestazione energetica degli edifici l'indice di prestazione energetica globale EPIg (espresso in kWh/m²a nel caso di edifici residenziali e in kWh/m³a nel caso di altri edifici) che tiene conto del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale ed estiva, per la produzione di acqua calda sanitaria e per l'illuminazione artificiale e dell'energia erogata e di quella ausiliaria dei sistemi impiantistici, inclusi quelli per l'autoproduzione.

Numerose sono le difficoltà di interpretazione dei decreti e molteplici sono le critiche che vengono mosse a riguardo; il percorso normativo, con tutti i suoi difetti, sta portando a una maggiore consapevolezza rispetto al tema energetico e a una crescente attenzione progettuale e costruttiva nel diffuso. Il prossimo traguardo imposto dalla Direttiva riguarda una modifica alla Direttiva 2002/91/CE, nella quale si prevede che le costruzioni realizzate dopo il 18 dicembre 2018 debbano produrre da fonti rinnovabili tanta energia quanta ne consumano.

Le nuove disposizioni introdotte dal **D.Lgs n. 28/2011** promuovono l'uso dell'energia da fonti rinnovabili e impongono, al fine del rilascio abilitativo per le nuove costruzioni e ristrutturazioni rilevanti, tre obblighi:

- almeno la metà dell'energia necessaria al

- riscaldamento dell'acqua calda sanitaria (a.c.s.) deve essere ottenuto grazie all'ausilio di fonti rinnovabili;
- una percentuale dei consumi energetici totali (EP_{totale}: somma dei fabbisogni energetici per riscaldamento ambienti, climatizzazione ambienti e riscaldamento di acqua calda sanitaria) deve essere prodotta con fonti rinnovabili (Eres);
- l'installazione negli edifici di impianti che producano elettricità da fonti rinnovabili.

Il decreto specifica che i primi due obblighi devono essere soddisfatti grazie a fonti rinnovabili termiche per questo è necessario che l'impianto termico presenti almeno una delle seguenti opzioni: integrazione con impianto solare termico (con collettori integrati nell'edificio); pompa di calore (per sfruttare l'energia contenuta nell'aria, nell'acqua e nel suolo); allaccio alla rete di teleriscaldamento (equiparata, almeno per il momento ad una fonte rinnovabile); al generatore di calore a biomasse. Gli edifici del futuro devono avere una prestazione energetica migliore rispetto a quella degli edifici attuali.

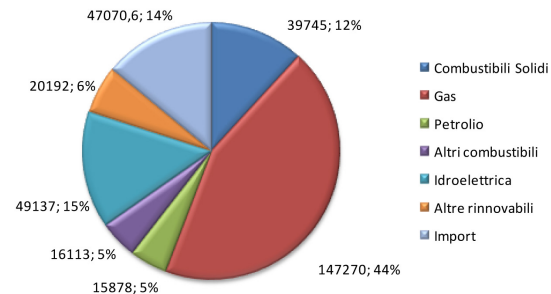


Figura 1.22: Produzione italiana per fonte primaria nel 2009 (GWh e percentuali); Fonte: Enea, 2010;

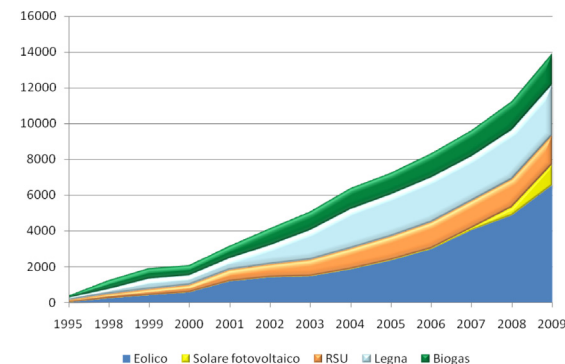


Figura 1.23: Elettricità da fonti non convenzionali in Italia; Fonte: Enea, 2010;

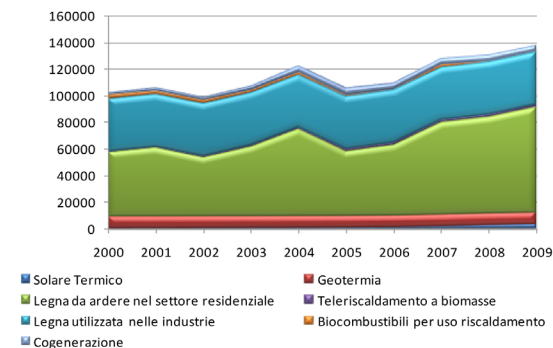


Figura 1.24: Produzione di calore da fonti rinnovabili in Italia dal 2000 al 2009; Fonte: Enea, 2010;

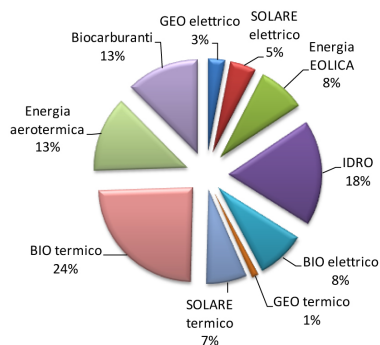


Figura 1.25: Mix di energia da fonti rinnovabili nel 2020;
Fonte: Enea, 2010;

1.4 Conclusioni

Dall'analisi dell'evoluzione normativa a livello Europeo e italiano ho potuto valutare come le politiche e le strategie in materia energetica si siano concentrate su quattro obiettivi principali rivolti ad abbattere le emissioni di gas ad effetto serra e il conseguente innalzamento della temperatura causati in particolare dal settore edilizio:

- il risparmio energetico attraverso l'ottimizzazione nella fase d'uso degli edifici;
- lo sviluppo di fonti rinnovabili per la produzione di energia;
- la certificazione energetica come strumento per la promozione di risparmio energetico;
- la definizione di parametri omologhi per valutare i requisiti minimi di consumo energetico;

Il risparmio energetico attraverso l'ottimizzazione nella fase d'uso degli edifici

Il tema ambientale non ha confini ma richiede un approccio su scala globale. In questo ambito si inserisce la Direttiva Europea che ha l'obbligo di guidare gli stati membri verso strumenti da adottare al fine di aumentare l'efficienza energetica per diminuire i livelli di emissioni inquinanti registrati dal Protocollo di Kyoto. La Direttiva dovrebbe sviluppare delle linee guida solide per garantire a tutti gli stati membri, anche quelli che non possiedono la "maturità" ne-

cessaria a livello energetico legislativo, di raggiungere con successo gli obiettivi imposti. In particolare nell'ultima Direttiva EPBD 31/2010/UE ritengo che sia corretto non fissare dei valori di requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi costruttivi uguali per tutti, in quanto ogni Stato Membro deve poter prevedere requisiti efficaci in merito alle condizioni climatiche locali e dell'ambiente termico interno. A mio parere sembra però eccessivo non definire delle linee guida in merito ai parametri da valutare per poter raggiungere l'obiettivo ambizioso di edifici ad energia zero. Per esempio la Direttiva nel paragrafo 3 dell'Articolo 9 si esprime in merito all'utilizzo dell'indicatore di energia primaria, espresso in kWh/m²a, per calcolare il raggiungimento di edifici ad energia zero, calcolato su base annuale o mensile a seconda della volontà, ma nel paragrafo 6 specifica che, nel caso di un risultato negativo dall'analisi costi e benefici, possa decidere di utilizzare altri parametri per il calcolo. Le misure proposte dalla nuova Direttiva non sono molto restrittive: l'introduzione di nuove soluzioni per il costruire edifici a energia zero poteva prevedere delle linee guida più forti e vincolanti. Le nuove esigenze nel settore edilizio in particolare dovrebbero essere raggiunte con lo sforzo di un azione coordinata che permetta a tutti gli Stati Membri di raggiungere obiettivi concreti sulle nuove costruzioni e sul patrimonio edilizio esistente.

Lo sviluppo di fonti rinnovabili per la produzione di energia

In un momento in cui gli equilibri del mercato globale, a causa della crisi finanziaria, sono scossi, il problema degli scambi commerciali

per l'approvvigionamento di energia da idrocarburi ha assunto una nuova dimensione. Di fronte all'aumento dei consumi e alla scarsità di risorse si cerca una fonte di fornitura di energia meno onerosa e duratura. Il Consiglio Europeo ha ritenuto fondamentale sottolineare l'importanza dell'impiego di fonti rinnovabili nel settore più energivoro, le costruzioni, fino all'emanazione della nuova EPBD 31/2010/UE. La Direttiva si sviluppa a mio parere con un obiettivo molto ambizioso: il raggiungimento di un nuovo standard edilizio di edifici ad energia quasi zero. Leggendo la direttiva mi sono sembrate poco chiare le indicazioni riguardanti la produzione di energia termica ed elettrica da fonti rinnovabili e rimangono molto vaghe e arbitrariamente attuabili. Nell'articolo 8 della Direttiva si fa accenno all'efficacia dei costi. Non viene presa una direzione categorica verso edifici con elevata prestazione energetica ma se l'intervento non è dimostrato in termini di efficacia dei costi, è possibile limitare le prestazioni dell'edificio e l'utilizzo di fonti energetiche efficaci sul profilo di emissioni.

Anche in Italia ci si sta muovendo per promuovere l'uso dell'energia da fonti rinnovabili. Il D.Lgs. 28/2011 prende provvedimenti parlando di percentuali di fabbisogno che devono essere coperte da una propria produzione. Ma anche in questo caso le indicazioni fornite rimangono piuttosto vaghe e non decisive. Vengono introdotti alcuni obblighi per gli edifici pubblici (anche per il patrimonio Erp) dove le percentuali di energia da rinnovabile sono incrementate del 10%.

La certificazione energetica come strumento per la promozione di risparmio energetico

Il Consiglio Europeo ha emanato la Direttiva Europea del 2002/91/CE in cui stabilisce la necessità di diminuire i consumi in ambito residenziale. L'Italia recepisce la Direttiva tramite una legge nazionale, il D.Lgs. 192 del 2005, che conferma la necessità del Parlamento Europeo. Si apre la lunga strada verso la certificazione energetica. Nel D. Lgs 311/06 la legge nazionale articola meglio il tema della certificazione energetica e rimanda a successivi provvedimenti. A questo seguono le linee nazionali generali delle procedure di calcolo dei consumi energetici, il DPR 59/09, che a sua volta rimanda alle norme UNI TS 11300. Infine il D.M. del 26/6/2009 arriva a definire le Linee Guida Nazionali sulla certificazione energetica. Dall'analisi del processo legislativo, concentrato soprattutto al caso specifico dell'Italia, è emerso come i tempi di modifica dell'apparato legislativo esistente risultano essere piuttosto lunghi e complessi e ritardano così lo sviluppo di una nuova mentalità. La Direttiva Europea 2002/91/CE in questo senso dimostra di non utilizzare strumenti sufficientemente efficaci per il raggiungimento degli obiettivi proposti. In particolare nell'ambito della Direttiva si invitano gli Stati Membri a redigere norme e politiche Nazionali ai fini di produrre attestati per la certificazione energetica. Il risultato ottenuto, così come si è visto nel caso specifico dell'Italia, ha promosso difficoltà nel decidere come sviluppare il modello di calcolo a tal punto da allungare i tempi di applicazione e recepimento della Direttiva stessa. Il quadro normativo di riferimento dovrebbe porsi in modo più chiaro e concreto ai fini di permettere una data di raggiungimento dell'obiettivo proposto il più possibile omogenea.

La definizione di parametri omologhi per la valutare i requisiti minimi di consumo energetico

Per ottenere una valutazione standard delle prestazioni energetiche degli edifici è necessaria la definizione di livelli di verifica e l'uso di metodi di valutazione concordati. La Direttiva EPBD 2002/91/CE obbliga l'informazione sui consumi delle abitazioni, tenendo conto del fabbisogno energetico dell'edificio e del rendimento degli impianti, espresso in kWh/m²a. Si comprendono nel conteggio i consumi relativi al fabbisogno di riscaldamento, raffreddamento, illuminazione, ventilazione e riscaldamento di acqua calda sanitaria. In Italia il D.Lgs. 192 del 2005 interpreta a modo proprio la Direttiva definendo i requisiti minimi per l'efficienza energetica degli edifici limitatamente al fabbisogno di energia per il riscaldamento invernale. Il problema della climatizzazione estiva viene toccato marginalmente, prescrivendo una massa minima per le strutture perimetrali e l'adozione di sistemi di schermature, fisse o mobili, delle superfici vetrate per ridurre l'apporto di calore per l'irraggiamento solare durante l'estate. E' il DPR 59/09 che introduce i requisiti minimi per la climatizzazione estiva. Il fine è quello di avere una stima precisa di tutti i consumi energetici degli edifici, è quindi importante raggiungere

una metodologia di calcolo in grado di stimare le prestazioni energetiche degli edifici in funzione del clima esterno ed interno, l'impianto di riscaldamento e di acqua calda sanitaria, l'impianto di ventilazione e il condizionamento dell'aria, integrando cioè tutti i consumi attribuibili all'edificio durante la fase d'uso.

La difficoltà nel raggiungimento di categorie di consumo energetico comuni è dovuta da una mancanza di definizione e di linee guida chiare così da introdurre un quadro di indirizzo comune a livello internazionale. Il proliferare di norme locali diverse, precedenti o contemporanee alle Direttive Europee o a norme regionali o nazionali, ha generato un caotico accavallarsi di indicazioni e prescrizioni spesso in contrasto tra loro.

Anche l'ultima Direttiva EPBD 2010/31/UE risulta poco chiara dal punto di vista della definizione di requisiti minimi da adottare. Lascia la competenza agli Stati Membri di fissare requisiti minimi di prestazione energetica, scelta giustificata considerando le diverse condizioni climatiche locali, senza però definire o fissare le voci di consumo da integrare nella valutazione.

2 Sviluppo di una nuova coscienza sulla necessità di risparmiare energia

Negli edifici costruiti prima dell'introduzione degli impianti, il riscaldamento era ottenuto grazie al camino oppure con bracieri, e, dopo il XV secolo, con stufe in mattoni o in ferro. La massa muraria, la riduzione delle aperture ed il vestiario erano i principali espedienti per ridurre la sensazione di freddo negli edifici.

Alla fine del XIX secolo con l'introduzione degli impianti di climatizzazione (riscaldamento e raffrescamento) e lo sviluppo delle strutture portanti a telaio, in cemento armato o in acciaio, la massa muraria si è slegata da queste necessità dato che le condizioni di comfort erano garantite da questi nuovi dispositivi.

Le tipologie architettoniche, i tipi edilizi, la conformazione del tessuto urbano, risultato di anni di adeguamento al contesto climatico culturale e ai materiali disponibili in loco, sono diventate il riferimento "storico-tipologico" svincolato dagli elementi che ne hanno generato la forma e le scelte tecnico-costruttive (G. Dall'O, 2010).

Il progetto si è svincolato sia dal punto di vista strutturale sia dal punto di vista energetico, lo stesso Le Corbusier dice "Ogni nazione costruisce case adatte al proprio clima. In quest'epoca di compenetrazione sul piano internazionale delle tecniche scientifiche io propongo: un unico edificio per tutte le nazioni e tutti i climi, la casa con *respiration exacte*" (Le Corbusier, 2002).

Il primo studio serio sul rapporto tra il clima e forma architettonica è quello di Victor Olgyay che, con il libro "Progettare con il clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico" del 1962, ha posto le basi per una

corretta progettazione dell'edificio in relazione al contesto climatico.

Gli edifici devono avere uno stretto rapporto con il clima in cui si inseriscono e cercare di ottenerlo con l'impiego il più limitato possibile di energia. Il progetto è il risultato delle risposte ad un insieme di esigenze tra cui quella di carattere energetico, che devono essere risolte secondo la volontà sensibile del progettista, rispetto alle caratteristiche del contesto in cui si opera.

Costruire edifici consapevoli climaticamente significa anche costruire edifici efficienti dal punto di vista energetico.

2.1 Strategie per la progettazione di edifici energeticamente efficienti

L'architettura a basso consumo energetico viene declinata in vari approcci progettuali, basati su concreti criteri dimensionali, distributivi e morfologici, ma al tempo stesso spinti dall'esigenza di interazione fra uomo, ambiente naturale e clima. Tra questi cito: l'architettura bioclimatica, la casa passiva, la Passivhaus intesa come un abitare sempre meno energivoro, fino ad arrivare agli edifici a consumo energetico zero. Per comprendere i motivi, l'evoluzione e l'idea stessa di questi atteggiamenti progettuali occorre partire da un parametro fondamentale: il consumo energetico.



Figura 2.1: Gli edifici non sono un prodotto industriale serializzato: ogni edificio è un unicum e viene fortemente influenzato dal contesto in cui si inserisce;
Fonte: Christian Schittich, 2006;

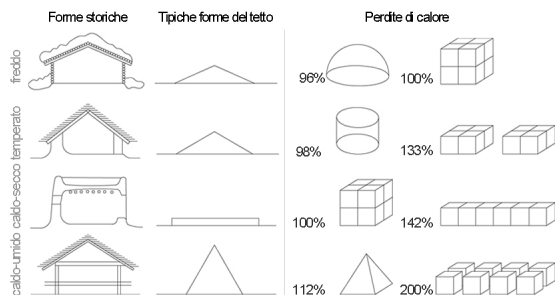


Figura 2.2: Edifici tradizionali nel rispetto della zona climatica in cui si inseriscono (sinistra) e perdite di calore calcolate nelle diverse forme con lo stesso volume (destra); Fonte: Hegger Fuchs, Stark Zeumer, 2008;

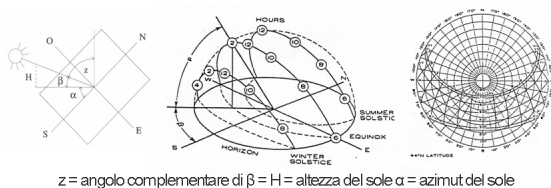


Figura 2.3: Determinazione della posizione del sole rispetto alla terra mediante l'altezza precisata dall'angolo β e dell'azimut α ; Fonte: V. Olgyay, 1981;

Torre del vento del sito culturale di Bastakiya, Dubai, Emirati Arabi

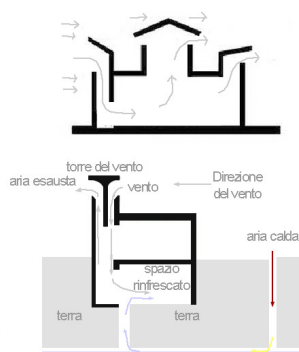


Figura 2.4: Ventilazione tramite effetto camino; Fonte: S. Capolongo, L. Daglio, I. Oberti, 2002;

In Europa si possono attualmente distinguere vari standard di consumo energetico:

- Edifici vecchi che non corrispondono ancora alle più recenti normative sul risparmio energetico
200 – 250 kWh/m²a
- Edifici convenzionali di nuova costruzione
100 – 150 kWh/m²a
- Edifici a basso consumo energetico
25-60 kWh/m²a
- Edifici passivi
15 kWh/m²a
- Edifici a consumo zero
0 kWh/m²a

Il consumo indicato è il consumo energetico annuale al metro quadrato di superficie abitabile riscaldata, pertanto il periodo invernale è preso come riferimento. Questo è dovuto al fatto che nella maggior parte dei paesi europei l'energia necessaria al riscaldamento occupa il primo posto dei consumi energetici nel contesto residenziale; in paesi dove si hanno estati molto calde si dovrà necessariamente considerare anche l'energia impiegata per il raffrescamento estivo. Il consumo energetico specifico è valutato nelle sue caratteristiche da una serie di parametri che costituiscono nel loro insieme l'efficienza energetica dell'edificio in considerazione.

2.1.2 Architettura bioclimatica

In una logica di “sostenibilità” “Occorre inserire l'edificio in un contesto senza alterarlo, considerando gli aspetti geologici, topografici, idrologici, climatici (l'esposizione solare, venti dominanti) (...)” (M. Lavagna, 2008). L'architettura contemporanea ha spesso dimenticato il rapporto che esiste tra forma, dimensione e contesto climatico, non tenendo in considerazione gli effetti che dal punto di vista termico possono essere indotti sull'organismo edilizio da parte dell' habitat circostante.

“L'uomo cerca di raggiungere il punto in cui per adattarsi all'ambiente ha bisogno della minima spesa di energia”(V. Olgyay, 1981).

L'edificio è il principale strumento per soddisfare i requisiti di comfort e vivibilità e a tal scopo modifica l'ambiente naturale e ne assorbe, filtra o respinge le componenti in base al loro contributo benefico o deleterio per il comfort umano. L'architetto Frank Lloyd Wright per la sua sperimentazione sui materiali nella ricerca estetica della forma può essere considerato un antesignano nell'uso dell'Architettura Bioclimatica, specialmente per l'inserimento naturale dei progetti nel contesto ambientale. L'architetto seguiva come canoni progettuali il rispetto della natura e del sito di costruzione.

La bioclimatologia studia le connessioni tra il clima e la vita e definisce le modalità attraverso le quali l'uomo costruisce la propria abitazione tenendo conto delle peculiarità dei vari tipi di clima che si incontrano sul pianeta.

L'Architettura Bioclimatica si basa su un modello abitativo che soddisfa i requisiti di comfort con il controllo passivo del microclima, inteso come una strategia che, minimizzando l'uso di impianti meccanici, massimizza l'efficienza

degli scambi tra edificio e ambiente. La regolazione delle condizioni microclimatiche interne si ottiene controllando attentamente le caratteristiche geometriche, localizzative e tecnologiche della costruzione edilizia.

In questo senso il **diagramma bioclimatico** di Olgay è uno strumento efficace che permette di ottenere un'indicazione sulle misure necessarie a ristabilire condizioni di comfort. Esso rappresenta graficamente i problemi e le contromisure da adottare per garantire il comfort umano in condizioni climatiche variabili. Il suo utilizzo presuppone un'analisi preventiva che copra l'intero ciclo annuale in termini termici, solari e di vento, precipitazioni e umidità. Per questo è essenziale conoscere il sito sul quale si andrà ad edificare e in particolare è necessario conoscerne le caratteristiche climatiche, in base alle quali si potrà poi definire l'**orientamento ottimale**.

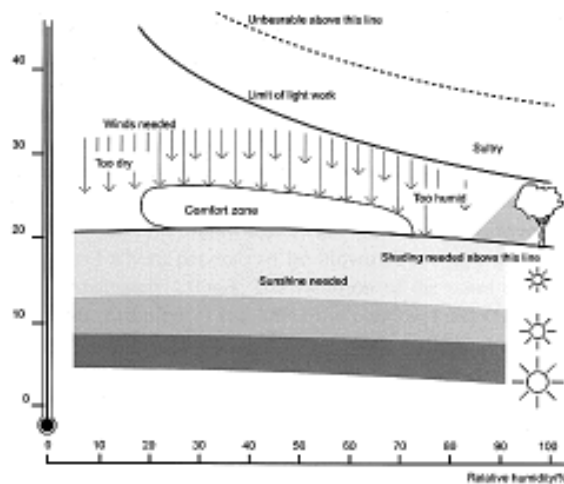


Figura 2.6: Diagramma bioclimatico per gli abitanti della zona temperata degli USA, valido per un'altezza non sup. ai 300 m e per persone con abiti da casa leggeri (1 Clo), intenti in attività sedentarie; Fonte: V. Olgay, 1981;

La **progettazione elio termica**, basata su studi di flussi termici, fornisce delle misurazioni quantitative dell'importanza dei vari elementi dell'edificio. I criteri da seguire sono: la minima dispersione termica durante l'inverno e minimo guadagno termico durante il periodo surriscaldato. L'applicazione architettonica deve tenere conto dell'importanza dei vari elementi. "L'equilibrio climatico inizia al livello del sito, e dovrebbe essere preso in considerazione nella planimetria del complesso residenziale nel progetto delle singole abitazioni" (V.Olgay,1981). Le caratteristiche principali da tenere in considerazione sono l'**esposizione al sole e al vento**: la prima consente di ridurre la necessità di impianti di illuminazione e riscaldamento, e la seconda, mentre da un lato impone determinati requisiti a livello strutturale e formale, dall'altro può essere sfruttata come fonte di energia. Perciò è importante conoscere l'andamento

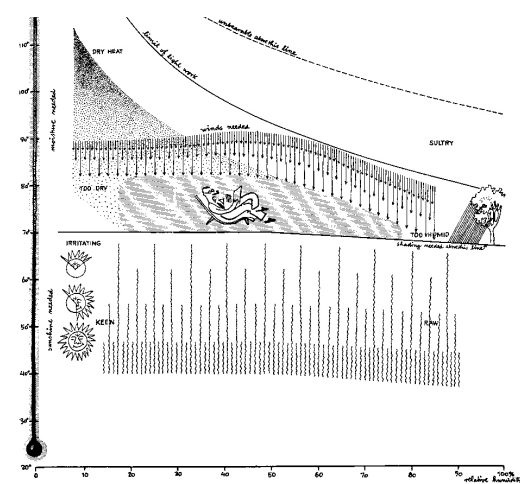


Figura 2.7: Diagramma bioclimatico schematico; Fonte: V. Olgay, 1981;

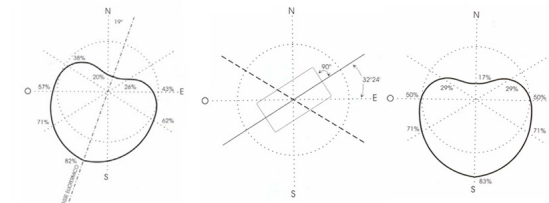


Figura 2.5: Studi relativi all'orientamento dell'edificio nel lotto: diagramma del valore eliometrico (sinistra), orientamento equisolare (centro) e orientamento nord-sud (destra);

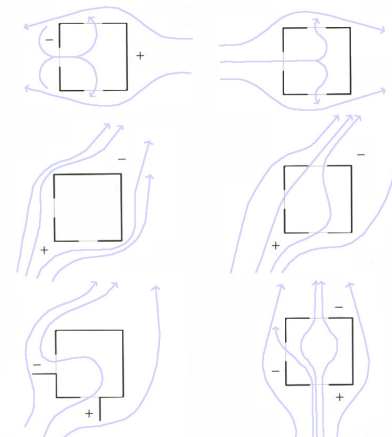


Figura 2.8: Variazione dei flussi d'aria all'interno degli edifici in funzione della diversa direzione del vento; Fonte: P. Gallo (a cura di), 2010;

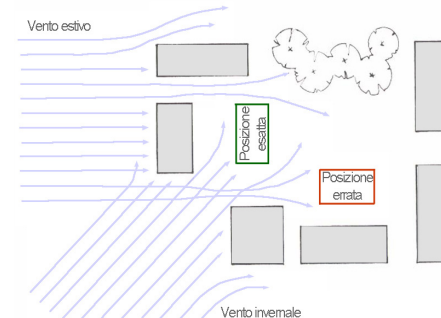


Figura 2.9: Localizzazione di un edificio in un contesto costruito in relazione al vento; Fonte: F. Bigi, A. Carosi, 2007;

	Posizione degli spazi ausiliari	Posizione degli spazi con guadagno solare	Rapporto larghezza lunghezza	Posizione del nucleo dei servizi
Freddo			1:1	
Temperato			1:1.6	
Arido			1:2	
Tropicale			1:3	

Figura 2.10: Rappresentazione schematica della composizione in pianta e della forma di un edificio progettato secondo il clima; Fonte: Hegger Fuchs, Stark Zeumer, 2008;

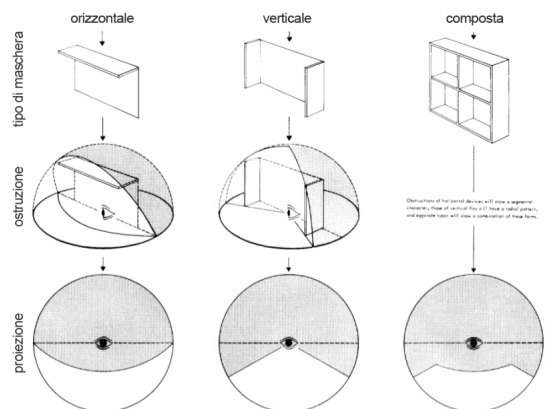


Figura 2.11: Progettazione dei diversi sistemi di ombreggiamento fissi; Fonte: V. Olgyay, 1981;

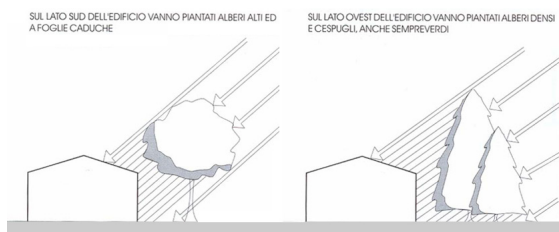


Figura 2.12: Posizione delle alberature per ottenere un efficace ombreggiamento; Fonte: F. Bigi, A. Carosi, 2007;

solare nel corso dell'anno e dell'intensità dei venti che si potranno abbattere sull'edificio. E' possibile definire l'orientamento ideale considerando che "(...) i fattori determinanti sono la radiazione solare, la temperatura dell'aria e l'andamento dei venti dominanti. E' obiettivo primario massimizzare l'effetto sole-aria sull'edificio nei periodi sotto riscaldati e minimizzarlo durante le stagioni surriscaldate (...)" (S. Comandini, A. Dal Fiume, A. Ratti, 1998). Victor Olgyay ha inoltre identificato, per gli edifici, delle regole generali per definirne una **forma ottimale** atta a disperdere la minima quantità di calore d'inverno e ricevere la minima quantità di calore in estate, sempre in relazione al clima: alle latitudini più basse vi dovrebbe essere una diminuzione dell'esposizione a est e ovest, per questo la proporzione in pianta tra larghezza e lunghezza (x e y) dovrebbe essere pari a 1:2 o 1:3 e diminuire avvicinandosi alle latitudini maggiori, dove si avrà preferibilmente un rapporto 1:1 e corrispondente ad un volume quadrato o cilindrico, per garantire la massima esposizione di superficie e quindi il massimo guadagno solare. In particolare nella zona fredda sono preferibili forme chiuse e compatte, edifici quasi quadrati o a doppio affaccio orientati lungo l'asse est-ovest; nella zona temperata sono preferibili le forme sull'asse est-ovest; nella zona caldo-secca sono vantaggiose forme massicce con pianta a schema rivolto verso l'interno, con vegetazione per garantire ventilazione per rinfrescare gli ambienti; nella zona caldo-umida sono vantaggiosi gli edifici liberamente allungati nella direzione est-ovest. Un corretto ed esaustivo studio dell'esposizione solare permette anche di modellare soluzioni di rivestimento e schermatura efficaci che, tenendo conto del mutevole percorso stagionale del sole, forniscano una corretta **schermatura** nel periodo estivo e un efficiente guadagno

termico nel periodo invernale.

Anche il **verde** inteso come alberi ed arbusti in genere, può dare un notevole contributo all'ambiente fisico e al contempo, su un piano differente, soddisfare un bisogno istintivo di protezione. Un posizionamento strategico degli alberi permette di ottenere un efficace ombreggiamento; poiché il sole al mattino e nel tardo pomeriggio è basso sull'orizzonte, le piante danno le loro migliori prestazioni sui lati est-sud-est e ovest-sudovest. I calcoli delle ombre sono quindi basati sul principio che nei periodi invernali sotto riscaldati l'edificio dovrebbe essere esposto al sole, e nei periodi surriscaldati la struttura dovrebbe essere in ombra. Un diagramma dei percorsi solari può descrivere l'efficacia delle schermature.

Altro fattore importante per il verde impiegato è la forma: in particolare conviene ridurre la profondità della pianta al fine di garantire illuminazione e ventilazione naturali, riducendo quindi l'impiego di impianti meccanici.

La presenza della vegetazione risulta essere fondamentale anche per mantenere l'ambiente costruito fresco e salubre, grazie agli effetti della **ventilazione** che essa è in grado di generare. La ventilazione costituisce un altro fattore di rilievo: i venti che ricorrono nei periodi sotto riscaldati dovrebbero essere intercettati e le brezze rinfrescanti dovrebbero essere sfruttate nei periodi surriscaldati. La circolazione dell'aria all'interno dell'edificio dovrebbe adattarsi alle esigenze bioclimatiche. Un equilibrio della temperatura interna si può ottenere in certa misura con giusto uso dei materiali. Per ottimizzare le condizioni interne si possono sfruttare le caratteristiche di isolamento e di ritardo termico dei materiali.

2.1.3 Casa Passiva

Nell'Europa centrale l'espressione casa passiva viene associato allo standard Passivhaus mentre nell'Europa Meridionale (Spagna, Portogallo, Italia e Grecia) non è così. In queste aree il termine Casa Passiva continua ad indicare un'abitazione costruita secondo alcuni principi generali della progettazione passiva, in particolare della progettazione solare passiva (Case passive solari).

Nei "sistemi solari passivi" "(...)" l'edificio viene concepito come una "macchina" idonea a catturare l'energia termica del sole, ad accumularla ed a restituirla per riscaldare l'ambiente quando il sole è tramontato, oppure nei giorni di cielo coperto." (B. Bartoli, 2010). L'edificio viene considerato come un tutto organico con il luogo nel quale esso sorge, con le sue condizioni climatiche, le caratteristiche "vegetazionali" e geologiche, con tutto ciò che ne costituisce il contesto. L'involucro della costruzione anziché essere considerato solo come un semplice elemento di protezione ha la funzione di mediare tra le condizioni climatiche esterne, in riferimento sia alle oscillazioni giornaliere che a quelle stagionali, e di sfruttarle al fine di portare gli ambienti interni al livello di benessere termico: l'edificio nel suo complesso è il sistema passivo.

Si possono indicare cinque indicatori guida :

- Condizioni climatiche locali
- Orientamento dell'edificio
- Elementi ombreggianti nell'ambiente esterno
- Rapporto tra superficie dell'involucro e volumetria
- Disposizione dei locali

Come si può notare dall'elenco proposto, la progettazione di un edificio passivo coincide sotto molti aspetti con i principi già analizzati nell'ambito dell'architettura bioclimatica.

In particolare la casa passiva prevede metodi di sfruttamento dell'energia che possono essere inquadrati nella categoria dei sistemi passivi. I sistemi passivi, "(...)" si basano sullo sfruttamento diretto della radiazione solare, che può essere utilizzata immediatamente per riscaldare gli ambienti interni dell'edificio, oppure in elementi di accumulo che rilasciano gradualmente il calore in modo da mitigare i picchi di temperatura" (G. Maserà, 2004).

In base al meccanismo di cessione del calore allo spazio da riscaldare, l'utilizzo passivo dell'energia solare può essere organizzato:

- **Sistemi a guadagno diretto:** prevedono che la radiazione solare penetri all'interno dell'edificio per mezzo di elementi vetrati rivolti, prevalentemente a sud, e colpisca elementi di accumulo che rilasciano calore nel tempo. Si comprendono finestre, le serre a guadagno diretto e le aperture a *shed*; sistemi caratterizzati dall'economicità, dalla possibilità di escludere la radiazione solare nel periodo estivo grazie all'elevato angolo di incidenza. Bisogna però porre attenzione ai disperdi menti notturni attraverso i vetri e al guadagno diretto indesiderato;
- **Sistemi a guadagno indiretto:** sfruttano il calore solare accumulato da una massa ad alta inerzia termica posta tra il sole e l'ambiente da riscaldare; tra i sistemi si possono elencare in muri captanti massicci con camera d'aria, muri di Trombe, le coperture con specchi d'acqua o Roof pond. Nel muro massiccio e nei Roof pond il trasporto del calore avviene per conduzione,

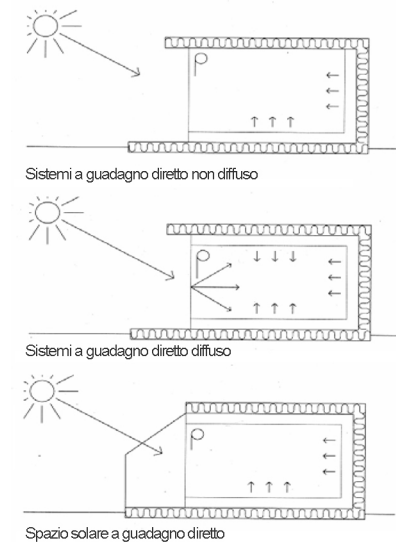


Figura 2.13: Sistemi a guadagno diretto; Fonte: F. Bigi, A. Carosi, 2007;

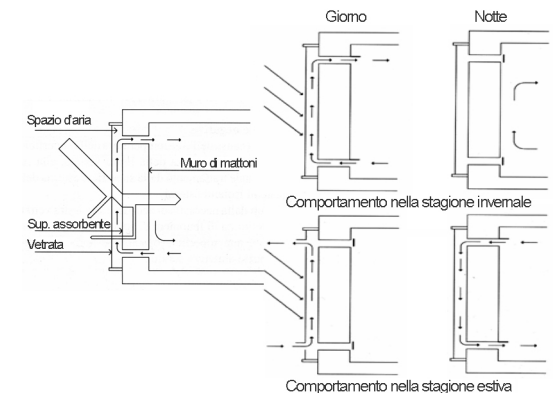


Figura 2.14: Sistemi a guadagno indiretto: muro di Trombe, funzionamento del sistema in estate e in inverno; Fonte: F. Bigi, A. Carosi, 2007;

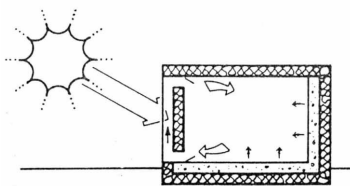


Figura 2.15: Sistema isolati: tipo Barra-Costantini; Fonte: F. Bigi, A. Carosi, 2007;

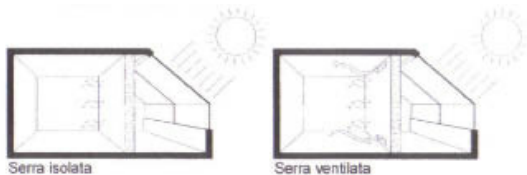


Figura 2.16: Sistema isolati: la serra; Fonte: S. Capolongo, L. Daglio, I. Oberti, 2002;

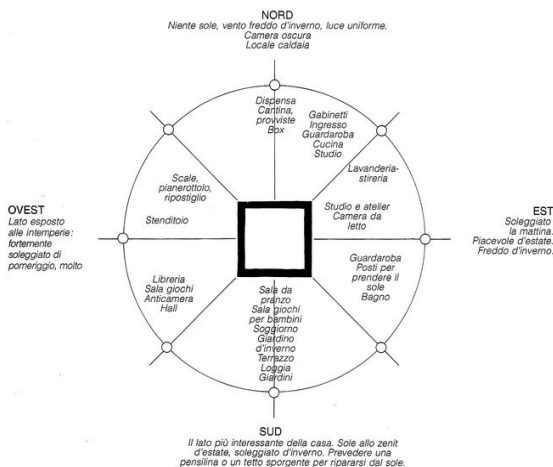


Figura 2.17: Suddivisione interna degli alloggi e corretto orientamento delle funzioni; Fonte: S. Capolongo, L. Daglio, I. Oberti, 2002;

mentre nel sistema muri di Trombe avviene per convezione (movimenti d'aria). I vantaggi consistono in una minore superficie vetrata a contatto con l'esterno; mentre risultano critici gli aspetti economici, causa del raddoppio dell'involucro per le chiusure verticali, e del controllo del comportamento estivo dell'involucro che richiede costante attenzione da parte degli utenti;

- **Sistemi isolati:** si basano sulla concentrazione della funzione di captazione solare in elementi termicamente separati dal resto dell'edificio. Il trasferimento dell'energia termica dal collettore agli spazi abitati avviene con mezzi non meccanici, di tipo radiativo e convettivo. Questa categoria comprende: i sistemi di tipo Barra-Costantini, i muri e le coperture isolanti e le serre separate dagli ambienti interni per mezzo di partizioni opache. Questi sistemi, rilasciando gradualmente il calore accumulato durante la giornata, creano un buffer termico tra il clima interno e quello esterno. Bisogna prestare attenzione al potenziale surriscaldamento degli spazi nelle stagioni calde e alla capacità del sistema di trasferire efficacemente l'energia accumulata verso gli spazi abitati.

Un altro aspetto molto importante da considerare nella progettazione di edifici passivi riguarda la suddivisione interna degli alloggi in differenti zone termiche: i locali più riscaldati (soggiorno, camere da letto) sono esposti sul lato sud, mentre i locali caratterizzati da un basso fabbisogno di riscaldamento sono collocati sul lato nord (bagni, locali di servizio), dove assumono la funzione di "cuscinetti termici".

2.1.4 Passivhaus

Verso la metà degli anni '80 era già prevista per legge, in Svezia ed in Danimarca, la costruzione di nuovi edifici a basso consumo energetico. Sono iniziate ricerche e sperimentazioni volte a sviluppare i principi fondanti della casa a basso consumo energetico: eccellente isolamento termico, assenza di ponti termici, ermeticità, finestre con elevate proprietà termoisolanti e sistema di ventilazione controllata. L'idea di base è di ottenere un involucro tanto efficiente da riuscire a garantire le condizioni di comfort ambientale conservando all'interno dell'edificio tutti i guadagni termici gratuiti disponibili, tra cui quelli derivanti dall'irraggiamento solare diretto, dal metabolismo delle persone presenti, dagli elettrodomestici e dai corpi illuminanti. Il concetto di Passivhaus è stato introdotto per la prima volta nel 1988 dalla collaborazione tra Bo Adamson, dell'università svedese di Lund University, ed il tedesco Wolfgang Dott. Feist, nel Land tedesco dell'Assia. La prima Passivhaus è stata costruita a Darmstadt nel 1991: si tratta di un edificio a schiera con quattro abitazioni caratterizzato da uno strato di isolante di grande spessore in lana minerale (44 cm per la copertura e 26 cm per le chiusure verticali), tripli vetri in gas krypton in intercapedine e condotti interrati per preriscaldamento invernale e raffrescamento estivo dell'aria. "Le Passivhaus sono caratterizzate da perdite di calore attraverso l'involucro così minime che il calore fornito dagli apporti solari (attraverso finestre e vetrate esposte a sud) e quello prodotto e recuperato da sorgenti interne (persone, apparecchiature, macchinari, illuminazione artificiale), può coprire quasi tutta l'energia necessaria per il riscaldamento invernale, permettendo

di rinunciare ad un impianto di riscaldamento convenzionale” (M. Lavagna, 2005). L'edificio passivo rappresenta uno standard energetico caratterizzato da un fabbisogno termico per il riscaldamento invernale inferiore a 15 kWh/m²a e di 120 kWh/m²a per l'illuminazione, raffrescamento e produzione di ACS, standard che si ottiene attraverso:

- Corretto orientamento dell'edificio verso il sole
- Ottimale rapporto tra superficie dell'involucro e volumetria
- Iperisolamento delle strutture opache e assenza di ponti termici
- Vetrate ad alte prestazioni, opportunamente dimensionate per la captazione solare
- Tenuta all'aria dell'involucro ed impianto di ventilazione meccanica con recuperatore di calore ad alta efficienza.

Al fine di ridurre al minimo il carico energetico per il riscaldamento dell'edificio, la misura più importante è l'aumento significativo della resistenza termica delle chiusure, in modo da limitare le perdite di calore per conduzione nel periodo invernale. La trasmittanza termica globale dell'involucro di una Passivhaus, consigliata dal *Passivhaus Institut*, richiede valori attorno ai 0.10 W/m²K per la copertura, 0.13 W/m²K per le pareti perimetrali verticali e 0.20 W/m²K per i solai su cantine o altri spazi non riscaldati. Per rispettare tali parametri occorrono elevati spessori termoisolanti: sono necessari spessori superiori a 25cm, in alcune situazioni possono anche raggiungere 40 cm. Le finestre devono essere in grado di garantire un livello di isolamento termico compatibile con i requisiti Passivhaus e di lasciare passare un'adeguata quantità di radiazione solare nella stagione fredda. Il guadagno solare diretto, in-

fatti costituisce una frazione non trascurabile di calore gratuito che viene considerato all'interno dell'edificio. Sono necessarie finestre con elevate proprietà termoisolanti (valore U < 0.8 W/m²K calcolato mediando il valore del vetro e del telaio) e un fattore solare “g” superiore al 50%. In Italia è stato stimato che sono sufficienti finestre con doppi vetri purché realizzati in modo da garantire un valore U < 2 W/m²K (raggiungibile usando un vetro dotato di una pellicola a bassa emissività applicata sul lato interno) (M. Lavagna, 2005).

L'esposizione a sud risulta la più vantaggiosa dal punto di vista energetico, dal momento che in inverno i raggi del sole possono penetrare in profondità nell'abitazione, mentre in estate le finestre possono essere facilmente schermate. La aperture ad est e ovest portano scarsa energia in inverno e rischiano di creare surriscaldamento in estate.

Affinché le dispersioni di calore siano ridotte al minimo è fondamentale intervenire anche sulle infiltrazioni d'aria, eliminando l'ingresso di aria fredda attraverso chiusure opache e i serramenti. E' necessario adottare soluzioni di serramenti a tenuta e progettare accuratamente l'involucro per evitare che risulti permeabile all'aria. Per evitare perdite di comfort e salubrità interna è necessario installare un impianto di ventilazione meccanica, dotato di uno scambiatore di calore ad alta efficienza (in grado di recuperare calore dall'aria in uscita e di preriscaldare l'aria in entrata), che garantisce adeguati tassi di ricambio dell'aria interna senza necessità di intervenire sull'apertura delle finestre. Lo stesso impianto viene dotato di un sistema di post-riscaldamento dell'aria di mandata in modo tale da fornire il calore ancora mancante alle condizioni di comfort interno.

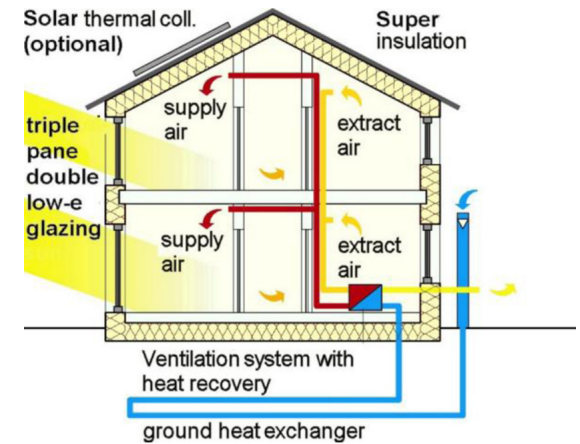


Figura 2.18: Principi per la progettazione di una Passivhaus; Fonte: J. Lausten, 2008;

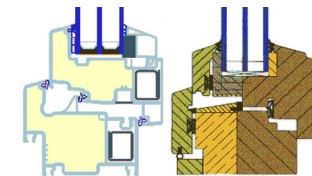


Figura 2.19: Due esempi d'infissi progettati correttamente; Fonte: J. Lausten, 2008;

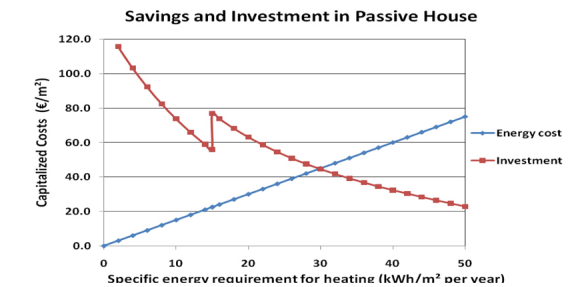


Figura 2.20: Costi per una Passivhaus: l'elevato investimento iniziale è giustificato dalla diminuzione dei costi, grazie all'elevata efficienza energetica, durante la fase d'uso; Fonte: J. Lausten, 2008;

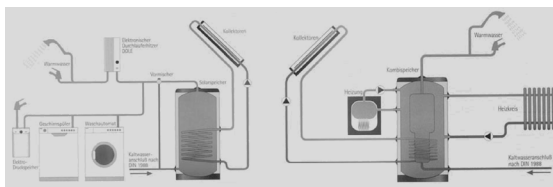


Figura 2.21: Schema di funzionamento del collettore solare: utilizzato solo per la produzione di ACS (sinistra) e per quella di ACS + riscaldamento (destra); Fonte: S. Ferrari, 2008;

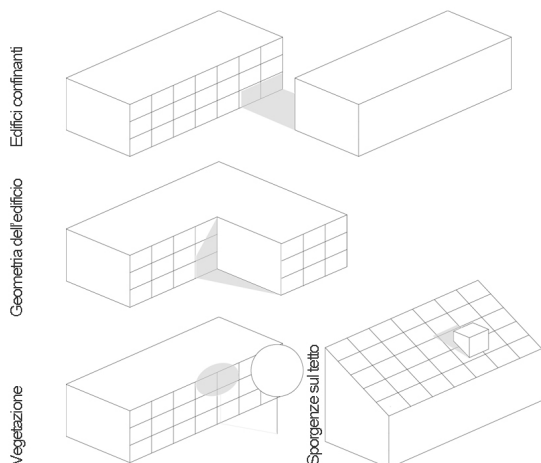


Figura 2.22: Situazioni tipiche di ombreggiamento per i collettori solari e gli impianti fotovoltaici; Fonte: Hegger Fuchs, Stark Zeumer, 2008;

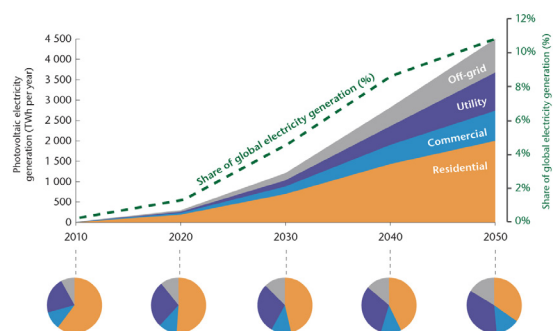


Figura 2.23: Evoluzione della produzione di elettricità dal fotovoltaico; Fonte: International Energy Agency, 2010;

2.1.4.1 Principi di progettazione passiva

I modelli ideati e sperimentati nell'Europa centrale non sono trasferibili tali e quali nell'area mediterranea, in quanto oltre a limitare il fabbisogno termico del riscaldamento invernale si deve contemplare anche quello di un raffreddamento estivo, che comporta un consumo sempre maggiore di energia. Inoltre i valori di trasmittanza termica necessari per un corretto funzionamento delle componenti edilizie dipendono dalla regione climatica del luogo in cui si intende progettare.

E' opportuno combinare in modo integrato soluzioni progettuali proprie dello standard Passivhaus e soluzioni di "tipo solare passivo", tipiche della Casa Passiva, con soluzioni impiantistiche.

Il comportamento ideale di un edificio sotto il profilo energetico dovrebbe consentire le seguenti funzioni:

- capacità di "aprirsi" alla radiazione solare quando questa è disponibile ed utile e di immagazzinare e di immagazzinare calore corrispondente: a questo scopo sono necessarie ampie superfici trasparenti;
- possibilità di "chiudersi" nelle ore notturne della stagione fredda, riducendo le dispersioni attraverso le superfici trasparenti e sfruttando il calore immagazzinato;
- protezione delle superfici trasparenti dalla radiazione solare quando sia indesiderabile;
- capacità di efficiente dissipazione di calore nelle ore notturne della stagione calda.

Gli edifici passivi, non essendo esenti da possibili variazioni climatiche e meteorologiche, spesso ricorrono a sistemi attivi di controllo del

comfort interno che in grado di fornire all'abitazione una quantità di calore tale da compensare le perdite verso l'esterno. Tali sistemi attivi "(...)prevedono un processo di trasformazione della radiazione solare diretta in un'altra forma di energia, oppure lo svolgimento di un lavoro meccanico per il funzionamento di sistema" (G.Masera, 2004).

Tra questi si comprendono:

- I *sistemi fotovoltaici*, nei quali, l'utilizzo di materiali semiconduttori permette di ottenere direttamente corrente elettrica. I modelli più diffusi prevedono l'utilizzo di celle in silicio monocristallino, policristallino o amorfo, collegate in serie a formare dei moduli;
- I *pannelli solari* per il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria, che si basano sull'effetto serra per intrappolare l'energia solare all'interno di una camera. Il calore così accumulato viene ceduto ad una serpentina, in cui scorre l'acqua, per mezzo di una lastra metallica di colore scuro che fa da scambiatore. I pannelli possono essere usati anche per fornire acqua ai sistemi di riscaldamento a bassa temperatura (radianti a pavimento o parete);
- I *sistemi di preriscaldamento* dell'aria di ventilazione, che sfruttano lo stesso principio dei pannelli solari ad acqua per cedere calore all'aria presa dall'ambiente esterno e diretta ad un impianto di ventilazione meccanica.

2.2 Conclusioni

Alcuni architetti enfatizzano le scelte progettuali che stanno alla base dell'Architettura spontanea (sviluppata quando non erano ancora disponibili le tecnologie artificiali del controllo del clima) per una nuova Architettura che possa recuperare lo stesso rapporto con l'ambiente. Alcuni di questi principi devono essere ripresi e riproposti: ad esempio il controllo degli elementi climatici come il sole e il vento, oppure la scelta di materiali di costruzione locali, la scelta stessa del sito o l'utilizzo della ventilazione per la mitigazione del clima. Tuttavia andare oltre, riproporre in modo integrale soluzioni progettuali legate a modelli di vita tanto distanti da quelli attuali, risulterebbe unicamente anacronistico. Non può essere disconosciuta la tecnologia e ciò che di positivo ha fatto nel garantirci un modello dell'abitare più confortevole e adatto ai nostri stili di vita attuali. Vi è la ricerca di un miglioramento continuo della qualità dell'abitare, obiettivo che può essere raggiunto ripensando tanto all'edificio quanto all'ambiente, eliminando gli sprechi e riducendo gli impatti.

Gli edifici sono soggetti agli effetti d'interazione tra l'involucro edilizio e l'ambiente; diverse situazioni di irraggiamento solare, ventilazione e temperatura dell'aria si ripercuotono nell'edificio in relazione alla semplicità formale o dimensionale e agli aspetti fisico-costruttivi. Gli ambienti adiacenti alle pareti dell'involucro risultano pertanto più sensibili alle variazioni ambientali esterne. La Passivhaus si propone come modello insediativo orientato al mantenimento di condizioni indoor stazionarie e poco sensibili alle alterazioni esterne. L'utilizzo di materiali costruttivi, di elevato spessore nel caso specifico dello strato d'isolamento,

permette agli edifici progettati secondo questo standard edilizio di raggiungere situazioni ambientali interne corrispondenti ad adeguati livelli di comfort, attribuendo minore suscettibilità al complesso. La concezione dell'involucro (isolamenti termici maggiori rispetto a quelli edifici di nuova generazione, serramenti multifunzionali ad elevate prestazioni, ecc.) garantisce lo sviluppo di edifici a basso consumo. Agli impianti è affidato il compito di gestire in modo efficiente i flussi di energia all'interno dell'edificio e tra edificio e ambiente, sfruttando al limite delle potenzialità tecnologiche le fonti energetiche naturali (solare termico, solare fotovoltaico, microeolico).

Dopo aver studiato lo standard Passivhaus mi sono chiesta se sia davvero positivo diminuire la sensibilità di un edificio alle variazioni ambientali in modo così drastico e vincolante. La minore sensibilità alle variazioni climatiche ha diminuito la possibilità di sfruttare a proprio vantaggio i flussi ambientali proposti invece nell'architettura bioclimatica per produrre condizioni di comfort interno. Il sistema Passivhaus mira a preservare il calore all'interno dell'edificio, evitando qualsiasi tipo di dispersione. L'involucro si pone quindi in modo ermetico rispetto all'ambiente circostante negando la possibilità di aprirsi ai flussi ambientali.

La Passivhaus sembra, a mio parere, poco flessibile e inadatto alle esigenze di tutti. Anche la progettazione delle finestre gioca un ruolo fondamentale: l'entità delle bucatore è ridotta al minimo possibile in relazione all'involucro edilizio, le superfici trasparenti sono posizionate in modo da ottenere il massimo sfruttamento dell'irraggiamento solare e soluzioni tecnologiche permettono di ottenere superfici efficienti dal punto di vista energetico. Ma in questo contesto viene meno l'idea della permeabilità, negando la possibilità di apertura delle finestre

per consentire un piacevole ricambio d'aria dato dal flusso del vento. Riducendo le finestre al rapporto aeroilluminante minimo e affidando il ricambio dell'aria negli ambienti ad unità di ventilazione meccanica controllata (sebbene regolabili a seconda delle esigenze dei singoli individui), si rischia di ottenere il risultato opposto e di sfavorire di fatto il benessere dell'individuo. Il benessere visivo, dato dalla quantità di luce e di illuminazione di un ambiente, e termo igrometrico, dato dalla temperatura e dal movimento dell'aria, contribuiscono indubbiamente al benessere psicologico della persona. Le persone trascorrono fino al 90% del proprio tempo in ambienti confinati, è quindi importante progettare luoghi che abbiano effetti positivi sia sulla salute sia sul benessere psico-fisico dell'uomo.

Lo standard abitativo Passivhaus costituisce a mio parere un valido modello di definizione del-

le caratteristiche fisico-costruttive da prendere in considerazione nella progettazione di edifici finalizzati a raggiungere gli obiettivi di efficienza energetica. Se però da una parte è auspicabile fare propri gli obiettivi di diminuzione delle perdite di calore di tale modello (attraverso ad esempio all'utilizzo di involucro e superfici trasparenti efficienti), dall'altra non bisognerebbe perdere di vista l'obiettivo di creare spazi abitativi flessibili e utilizzabili da tutte le diverse utenze.

Anche da parte nostra sono richiesti molti sforzi nella diminuzione di consumi e nell'adattamento a scenari abitativi diversi rispetto a quelli in cui siamo abituati a vivere. Però forse le componenti innovative della progettazione dovrebbero consentire un comportamento adattivo meno drastico per l'utenza.

3 Edificio a energia zero. Definizioni e interpretazioni.

La riformulazione della *Directive on the Energy performance of buildings* (EPBD) suggerisce a tutti gli stati membri dell'Unione Europea di redigere piani nazionali e stabilire livelli minimi per raggiungere l'obiettivo comune di edifici a basso o zero consumo di energia.

Non c'è una definizione comune di edificio basso-energetico ma in generale questo indica un edificio che possiede una performance energetica migliore rispetto a quanto richiesto dal regolamento edilizio standard. Gli edifici con un fabbisogno energetico basso sono caratterizzati da un'alta quantità di isolamento, vetri basso-emissivi, livelli bassi di infiltrazioni d'aria e recuperatore di calore per minimizzare le dispersioni termiche e possono prevedere l'utilizzo di tecnologie solari attive o passive.

In Europa gli edifici progettati seguendo principi d'efficienza energetica sono conosciuti con nomi diversi. Un'indagine svolta nel 2008 nell'ambito del *Concerted Action*, organo di consultazione nato a supporto dell' EPBD per armonizzare le differenze di procedura per la certificazione energetica degli edifici, ha identificato 17 termini diversi utilizzati in tutta Europa per descrivere questi edifici: edifici basso energetici, Passivhaus, casa passiva, edifici ad alte performance, edifici basso emissivi, casa ad energia positiva o casa a tre litri. Le differenze non riguardano soltanto le definizioni utilizzate, ma anche l'energia presa in considerazione per la metodologia di calcolo. La performance minima dovrebbe essere calcolata considerando tutti i tipi di energia richiesti per il riscaldamento degli spazi, il raffrescamento, il riscaldamento

dell'acqua così come il consumo di elettricità; non sempre risulta essere così.

Low Energy Building

Tutti gli edifici con prestazioni energetiche sensibilmente migliori rispetto alle minime previste dalle regolamentazioni vigenti. Si può considerare appartenente a questa categoria ogni edificio che abbia un fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale (riscaldamento) almeno pari alla metà rispetto al minimo previsto dalle norme al momento della sua costruzione.

Passivhaus

Le tecnologie della Casa Passiva comprendono guadagno solare (anche attraverso l'orientamento), vetri isolanti, edificio a tenuta d'aria, elevato isolamento termico. Questo riduce la richiesta annuale di energia per il riscaldamento a 15 kWh/m²a per un totale di energia primaria di 120 kWh/m²a.

Zero Energy Buildings o Zero Emission Buildings

Edifici dove, grazie all'alta efficienza dell'involucro, il fabbisogno di energia primaria è uguale o inferiore alla produzione di energia in loco da fonti rinnovabili (fotovoltaico, solare termico, eolico...). Un edificio con un consumo annuale netto nullo potrebbe essere indipendente dalla griglia nazionale, ma in realtà in alcuni periodi dell'anno il fabbisogno di energia viene prelevato dalla rete in altri invece viene restituito alla rete stessa (le risorse rinnovabili sono spesso

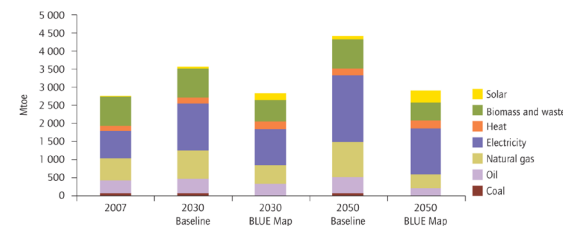


Figura 3.1: Energia consumata nel settore energetico dal carburante e dai diversi scenari; Fonte: International Energy Agency 2011;

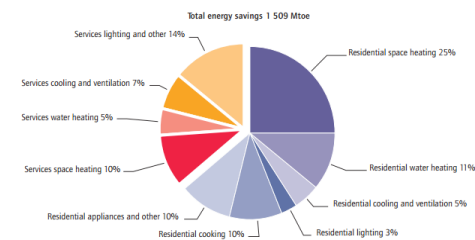


Figura 3.2: Energia risparmiata nel settore edilizio suddivisa per voci di consumo; Fonte: International Energy Agency 2011;

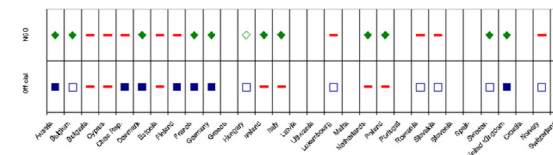


Figura 3.3: Paesi con una definizione esistente (simbolo pieno) o pianificata (simbolo vuoto) di edifici a basso consumo energetico (ufficiale o no); Fonte: K. Engelund Thomsen, K.B. Wittchen, Euro Ace, 2009;

stagionali).

Energy Positive House

Una casa ad energia positiva, *Plus Energy House*, è un'abitazione che in media produce in un anno più energia, proveniente dalle risorse rinnovabili, rispetto a quella di cui ha bisogno.

Nel maggio del 2009 il Parlamento Europeo ha approvato una serie di emendamenti alla Direttiva sul rendimento energetico del 2002, indirizzati a: individuare specifici target nazionali di riduzione di consumo energetico nell'edilizia, dare una definizione comune, a livello europeo, di "edifici a emissioni zero" e definire l'obbligo, entro il 2018, che tutti gli edifici europei di nuova costruzione siano in grado di produrre in loco più energia di quanta ne consumano, grazie all'uso di fonti rinnovabili.

3.1 Zero Carbon Home. Analisi di alcune definizioni.

Il Regno Unito si è staccato dalla situazione Europea con l'intenzione di realizzare entro il 2016 tutti i nuovi edifici secondo l'obiettivo *Carbon Neutral Zero Emission*. Un edificio *Carbon Neutral* non utilizza nessun combustibile fossile per la produzione del proprio fabbisogno energetico e non immette gas ad effetto serra nell'atmosfera, quindi non partecipa al riscaldamento climatico globale. In particolare un edificio può essere definito *Zero Carbon* se in un anno il totale delle emissioni di anidride carbonica provenienti dall'energia consumata risulta essere pari a zero.

Sulla base di queste considerazioni a partire dal 2006, anno di nascita del *Code for Sustain-*

able Home, si sviluppano una serie di definizioni di edificio ad emissioni nulle di anidride carbonica prestabilire una gamma di principi fondamentali da considerare nella progettazione di edifici a zero emissioni di CO₂. Gli obiettivi principali che devono essere conseguiti riguardano: la fattibilità tecnica, la fattibilità economica e finanziaria, l'adattabilità e la flessibilità e rilevanti riduzioni di anidride carbonica. Nel Giugno 2007 il documento governativo ***Building a Greener Future*** prevede che tutti i nuovi edifici residenziali debbano essere costruiti entro il 2016 considerando:

- il livello di emissioni causato dal riscaldamento degli spazi, la ventilazione, la produzione di acqua calda e la predisposizione di impianti di illuminazione;
- il consumo di energia primaria previsto per il funzionamento degli impianti;
- l'importazione e l'esportazione di energia dai quartieri (direttamente connessi ad installazioni di energia) o da reti centralizzate di energia.

Il documento considera, così come già stabilito nel *Code for Sustainable Home*(2006), l'energia consumata in relazione al netto delle emissioni di CO₂ prodotte nel corso di un anno. Gli edifici possono pertanto essere definiti *zero carbon* se:

- vengono progettate secondo alti livelli energetici;
- raggiungono almeno un livello minimo di riduzione di CO₂ attraverso: una combinazione di efficienza energetica, l'erogazione di energia prodotta da fonti rinnovabili sul posto o a basse emissioni direttamente connesse;
- scelgono tra una gamma di soluzioni pro-

Code for Sustainable Homes	Costo netto di carbone risparmiato per ton di CO ₂ (in sterline)	MtCO ₂ /anno risparmiate
Livello 1	- 72.40	1.36
Livello 2	79.21	2.45
Livello 3	211.13	3.40
Livello 4	213.06	5.98
Livello 5	151.83	13.60
Livello 6	213.83	23.60

Figura 3.4: Costi effettivi e anidride carbonica risparmiata dal raggiungimento del livello 6 del *Code for Sustainable Homes*; Fonte: European Commission, 2009;

poste per affrontare le emissioni rimanenti.

Nel 2008 il **UK-Green Building Council** istituisce un gruppo di lavoro per definire chiaramente cosa si intende per edifici *carbon neutral*. La conclusione più evidente è stata che non è possibile, per la maggior parte degli edifici, compensare le emissioni di CO₂ tenendo conto solo delle risorse disponibili sul sito; viene quindi proposta una definizione alternativa che raccomanda una maggiore flessibilità nell'uso di fonti rinnovabili non in loco. Un edificio *carbon neutral* deve soddisfare i seguenti requisiti:

- stabilire rigorosi parametri di efficienza energetica per la progettazione sia di edifici sia di impianti installati;
- prevedere l'utilizzo di risorse disponibili in loco per compensare l'eventuale livello di CO₂ emessa;
- utilizzo di soluzioni *off-site*, dove le soluzioni disponibili in loco risultano scarse o insufficienti, il cui utilizzo preveda basse o scarse emissioni di CO₂;

Nel giugno del 2009 viene istituito un **Task Group** speciale per definire lo standard energetico minimo richiesto alle abitazioni. Il **Task Group** si focalizza su due temi principali: il sistema metrico più appropriato per descrivere lo standard: si preferisce definire le performance energetiche in kWh/m²a piuttosto che in kg/CO₂a, in quanto unità di misura più appropriata per la domanda di energia e indipendente dal tipo di carburante usato;

- l'identificazione di due livelli di costruiti: il primo comprende il blocco di appartamenti e le case a schiera (le quali hanno meno superficie calpestabile e sono in grado di

raggiungere valori specifici di kWh/m²a per riscaldamento e raffrescamento, con meno soluzioni costruttive rispetto ad altre tipologie edilizie) e la seconda comprende le case isolate o semi-isolate.

- lo standard minimo sull'efficienza energetica fissato sui livelli di consumo per il riscaldamento e il raffrescamento. La task Group raccomanda quindi gli standard minimi:
 - 39 kWh/m²a per le case a schiera e gli edifici a blocco;
 - 46 kWh/m²a per edifici isolati o semi-isolati.

Il governo inglese si ripropone di elaborare da qui al 2016 ulteriori documenti per divulgare con chiarezza e comprensione le pratiche da adottare per la progettazione di edifici *carbon neutral*, al fine di aumentare la progettazione di edifici a zero emissioni di CO₂ e minimizzare la richiesta energetica dei manufatti.

3.2 Zero Energy Building. Analisi di alcune definizioni.

È difficile trovare un edificio che può essere chiamato il primo edificio a Zero Emissioni o a Zero Energia, *Zero Emissioni o Zero Energy Building*. Una ragione è sicuramente che non esiste a tutt'oggi una chiara e condivisa definizione di questo standard edilizio. Sono disponibili molti studi e documenti, nei quali gli autori hanno cercato di proporre diverse definizioni in relazione a come è raggiunto l'obiettivo *Zero Energy*: **interazione con la rete, tipo di energia considerata nel bilancio, confini del sistema considerati nel bilancio**. L'elaborazione di una definizione completa e

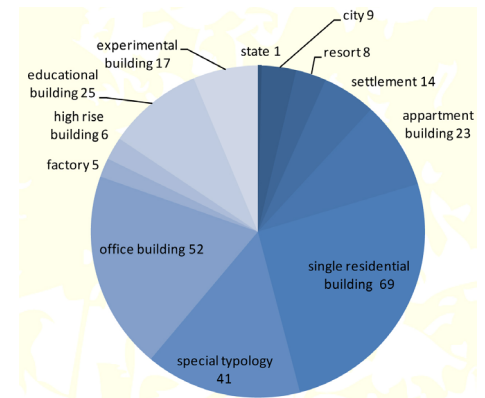


Figura 3.5: Edifici ad alte prestazioni energetiche registrati nell'US DO Data Base, suddivisi per tipologia (sopra) e clima (sotto); Fonte: Aalborg University, 2010;

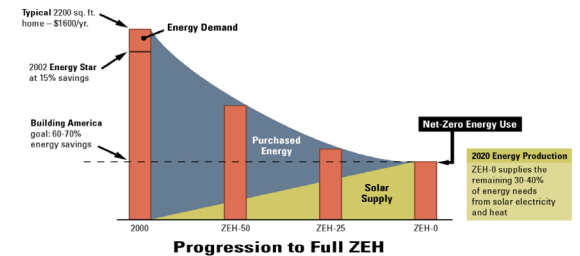
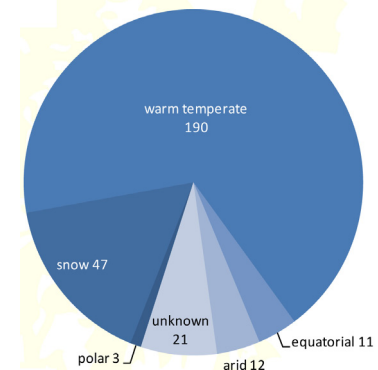


Figura 3.6: Verso gli edifici ad energia zero negli USA. Nel 2020 si aspetta il raggiungimento del livello Net Zero Energy Buildings; Fonte: J. Lausten, 2008;

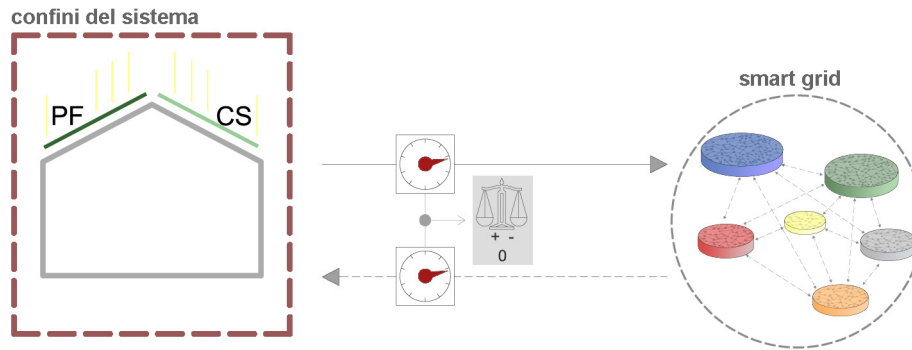


Figura 3.7: Schema di spiegazione della definizione Net Zero Site Energy Building data da Torcellini et. al. (2006);

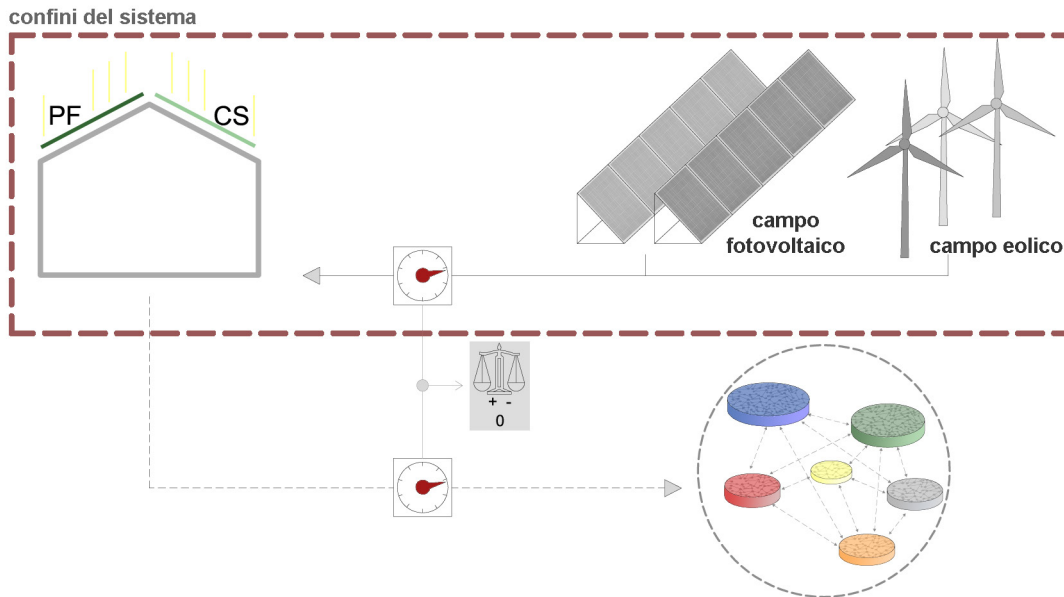


Figura 3.8: Schema di spiegazione della definizione Net Zero Source Building data da Torcellini et. al. (2006);

condivisa è un obiettivo sia del Parlamento Europeo sia del progetto *Task 40-Annex 52* dello IEA, *International Energy Agency*. Le molteplici definizioni di *Zero Energy Building* si differenziano per il parametro considerato nel raggiungimento del bilancio zero: energia, exergia, emissioni di CO₂, costi dell'energia. Nell'ambito della trattazione ho cercato di elaborare un elenco esaustivo per analizzare le definizioni più importanti fino ad oggi pubblicate.

Per poter ottenere uno ZEB occorre innanzitutto ridurre drasticamente il fabbisogno energetico e quindi avere come obiettivo progettuale un *Net-Zero Energy Building*. Il fabbisogno energetico viene quindi garantito dalla produzione da fonti rinnovabili in loco.

Nel **2004** il **Dipartimento dell'energia** degli U.S. (**DOE**) nell'ambito del *Building Technologie Program* definisce come *Zero-Energy Building* un edificio residenziale o commerciale che riduce drasticamente il suo fabbisogno energetico grazie a una progettazione dell'involucro efficiente e all'ottimizzazione dei guadagni termici. Nell'edificio il fabbisogno energetico viene soddisfatto tramite impianti che producono energia da fonti rinnovabili.

Nel **2006** **Torcellini et al.** pubblicano il report *Zero Energy Building: A critical look at the definitions*, nel quale spiegano che la definizione di ZEB può essere sviluppata in modo diverso a seconda degli obiettivi del progetto, delle intenzioni dell'investitore, con particolare attenzione al cambiamento climatico o alle emissioni di gas serra, oppure ai costi finali dell'energia. Torcellini et al. (2006) distinguono e richiamano l'attenzione su vantaggi e svantaggi delle quattro definizioni più comunemente utilizzate:

Net Zero Site Energy Building, edificio che produce come minimo tanta energia quanta è necessaria in un anno, assumendo come confini del sistema l'edificio;

Net Zero Source Building, edificio che produce come minimo tanta energia quanta è necessaria in un anno, assumendo come confini del sistema la fonte di produzione di energia; Source Energy si riferisce all'energia primaria necessaria per generare e distribuire l'energia. Per calcolare la Source Energy totale di un edificio, l'energia importata ed esportata viene moltiplicata per un appropriato fattore di conversione sito-fonte (questa è la definizione che corrisponde a quella data dalla Commissione Industria del Parlamento Europeo);

Net Zero Costs Buildings, il cui bilancio viene operato non sull'energia ma sui costi dell'energia (bilancio economico tra l'energia venduta in rete e l'energia acquistata in rete);

Net Zero Energy Emission, il cui bilancio di emissioni deve essere zero. L'edificio deve garantire un bilancio tra l'energia prodotta da fonti rinnovabili a zero emissioni ed energia consumata da fonti che producono emissioni).

“Quest'ultima definizione mette in evidenza che una definizione di ZEB basata sul bilancio dell'energia primaria non corrisponde necessariamente a una definizione di ZEB basata sul bilancio delle emissioni di anidride carbonica (...) se l'obiettivo è la riduzione delle emissioni di CO₂ sarebbe opportuno parlare di *Zero Carbon Building*” e non *Zero Energy*. (M. Lavagna, 2010).

Gli autori specificano che ottenere uno ZEB staccato dalla rete risulta essere molto difficile sia perché le tecnologie di accumulo della

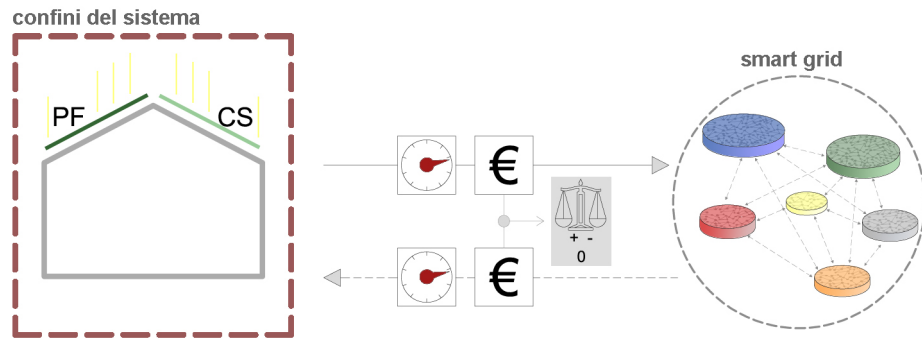


Figura 3.9: Schema di spiegazione della definizione Net Zero Cost Building data da Torcellini et. al. (2006);

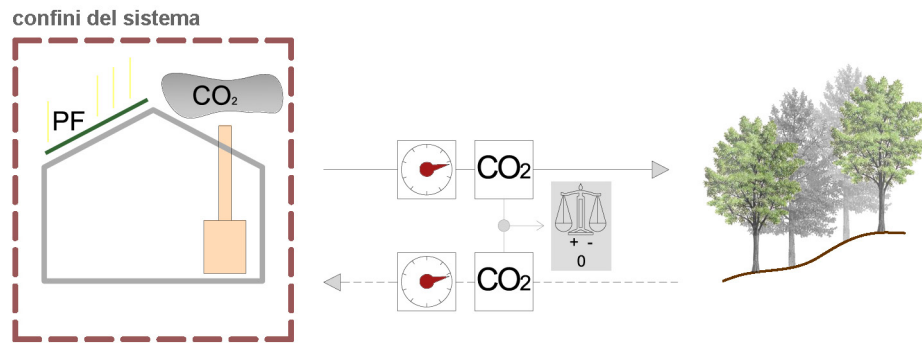


Figura 3.10: Schema di spiegazione della definizione Net Zero Emission Building data da Torcellini et. al. (2006);

Definizioni	Aspetti positivi	Aspetti negativi	Altri aspetti
Site ZEB	Facile da applicare; Verificabile attraverso provvedimenti On-Site; Approccio conservativo per raggiungere ZEB; Semplice da comprendere per la comunità degli edifici; Agenti esterni non influiscono sulle prestazioni; Incoraggia misure di progettazione energetica efficiente;	Richiede più esportazioni dal fotovoltaico, per compensare l'uso di gas naturale; Non vengono considerati tutti i costi della rete; Non è in grado di paragonare due tipi di carburante diversi; Non tiene conto delle differenze tra i diversi tipi di carburante a zero energia (disponibilità, alimentazione, inquinamento);	
Source ZEB	In grado di equiparare il valore energetico dei tipi di combustibile utilizzati nel sito; Modello migliore per l'impatto sul sistema energetico nazionale; Facile da raggiungere lo ZEB;	Non tiene conto delle differenze tra i diversi tipi di carburante a zero energia (disponibilità, alimentazione, inquinamento); Confini di calcolo troppo ampi (non tiene conto delle variazioni regionali o giornaliere dei tassi di produzione di energia elettrica); Il rendiconto della fonte energetica usata e lo scambio di combustibile possono avere un impatto maggiore delle tecnologie efficienti; Non considera tutti i costi dell'energia;	Bisogno di sviluppare un fattore di conversione sito-risorsa, il quale richiede molte informazioni;
Cost ZEB	Facile da implementare e misurare; Il mercato risulta in equilibrio tra i diversi combustibili; Consente il controllo di domanda-risposta; Verificabile dalle bollette;	Non può riflettere l'impatto della rete nazionale per la domanda, come generazione extra dal fotovoltaico può essere più utile per ridurre la domanda sul sito che per il trasporto nella rete; Richiede accordi come: l'energia esportata può compensare le spese dell'energia; Tariffe energetiche precarie rendono difficile il calcolo nel tempo;	Compensazioni di spese mensili e delle infrastrutture richiedono di andare oltre lo ZEB; La metrica di misurazione non è ben definita;
Emission ZEB	Modello migliore per un'energia verde; Tiene conto delle differenze tra i diversi tipi di carburante a zero energia (disponibilità, alimentazione, inquinamento) ZEB facile da raggiungere;		Necessita di appropriati fattori di emissione

Tabella 3.1: Vantaggi e svantaggi delle definizioni di ZEB date da Torcellini et. al. (2006); Fonte: Torcellini et. al. (2006);

corrente elettrica generata dagli impianti eolici e fotovoltaici sono oggi poco sviluppate sia perché, non potendo né importare né esportare energia dalla rete, l'energia prodotta attraverso gli impianti basati sullo sfruttamento di fonti rinnovabili devono necessariamente essere sovradimensionati. Introducono quindi una definizione più precisa di ZEB connesso alla rete, ossia *Net Zero Energy Building* (NZEB).

È possibile quindi utilizzare l'energia prodotta da fonti energetiche rinnovabili che si trovano anche al di fuori dei confini del sistema edificio o del sito in cui l'edificio è collocato.

In particolare Torcellini et al. (2006) sviluppano nel loro report una classifica, in ordine di applicazione preferibile delle diverse tecnologie, secondo i principi di :

- ridurre al minimo l'impatto ambientale globale, incoraggiando lo sviluppo di progetti ad alta efficienza energetica, la riduzione dei trasporti e le perdite di conversione;
- tecnologie ampiamente disponibili anche oltre il ciclo di vita dell'edificio;
- risorse che hanno un elevato potenziale di replica per gli ZEB del futuro.

Questa gerarchia si sviluppa a favore delle risorse rinnovabili reperibili all'interno dell'impronta, *footprint*, dell'edificio o nei confini dell'edificio stesso. L'impianto fotovoltaico e il solare termico sono preferibili per l'applicazione diffusa degli ZEB; altre tecnologie, come impianti eolici o fotovoltaici a terra, possono essere disponibili per applicazioni limitate. Possono essere utilizzate anche risorse al di fuori del perimetro del sistema per permettere all'edificio di raggiungere un consumo netto di energia pari a zero. Viene quindi introdotta la definizione di *off-site* ZEB. Gli *off-site* ZEB si possono ottenere ac-

quistando energia rinnovabile dalla rete e quindi collocando la produzione di energia rinnovabile in luoghi concentrati, come per esempio campi fotovoltaici o eolici, che possono avere maggior rendimento rispetto alla produzione diffusa.

Gli autori, e con loro molti studiosi, mettono in discussione il vincolo di generare l'energia rinnovabile in loco, promuovendo invece la possibilità di una generazione tramite impianti centralizzati di grandi dimensioni (campi fotovoltaici o eolici) e l'acquisto di energia (rinnovabile) in rete. La produzione centralizzata ha un maggiore rendimento e inoltre l'immissione in rete da produzioni puntuali rischia di mettere in crisi la rete.

Ma "Una buona definizione di ZEB dovrebbe innanzitutto promuovere l'efficienza energetica e quindi utilizzare fonti energetiche rinnovabili in loco. Un edificio che acquista tutta la sua energia da un impianto eolico o altre centrali ha poco incentivo a ridurre i carichi dell'edificio, motivo per cui ci si riferisce a questo come un *off-site* ZEB. (...) L'efficienza energetica è solitamente disponibile per tutta la vita dell'edificio, le risorse *off-site* devono essere controllate per verificare se continuano a risparmiare energia" (G. Dall'O, 2010)

Determinare i limiti di un progetto in cui le risorse possono essere esterne all'impronta dell'edificio è un aspetto importante per la definizione di edifici ad energia zero. Molte città, come la città di Boulder in Colorado, hanno istituito ordinanze che dichiarano diritto di proprietà sull'utilizzo del sole come risorsa naturale di energia. L'ordinanza garantisce l'accesso solare negli edifici esistenti, limitando la quantità di ombreggiamento che le nuove costruzioni possono causare su edifici esistenti, mantenendo così il potenziale per l'utilizzo di sistemi

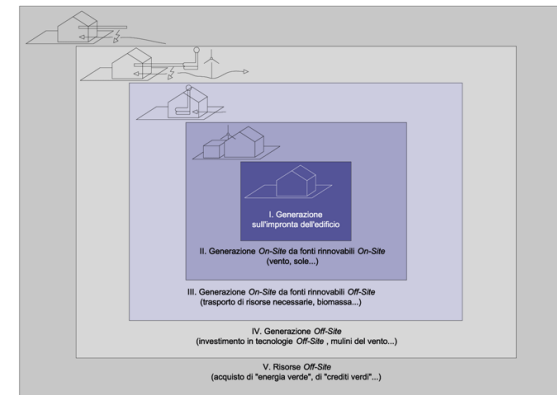


Figura 3.11: Possibili opzioni d'approvvigionamento energetico da fonti rinnovabili; Fonte: A. J. Marszal et. al., 2010;

d'energia rinnovabile. Utilizzare un campo vicino per generare elettricità risulta non essere così favorevole come l'utilizzo di un tetto fotovoltaico; l'area esterna all'impronta dell'edificio può essere sviluppata in futuro, quindi, non garantire la fornitura di energia a lungo termine.

Nel **2007 Kilkis** si riferisce nel suo lavoro al report di Torcellini et al. (2006) anche se la sua definizione di ZEB prende un'altra direzione. Kilkis evidenzia che nel bilancio zero dovrebbe essere considerata non solo la quantità ma anche la qualità dell'energia (exergia), in modo da poter valutare l'impatto complessivo che si determina sull'ambiente. "(...) anche se la definizione di ZEB sembra logica, è fondamentale riconoscere l'importanza dell'exergia nel valutare l'impatto totale degli edifici sull'ambiente. Per esempio se uno ZEB è collegato ad un sistema energetico di quartiere e riceve calore ad alta temperatura e fornisce energia elettrica e calore a una temperatura più bassa e la stessa quantità di energia per il quartiere, l'edificio non è bilanciato per quanto riguarda l'exergia che riceve e offre. Questo NZEB è ancora ad impatto ambientale, perché l'equilibrio negativo deve essere bilanciato da una spesa maggiore di carburante anche se la quantità di calore e il flusso di potenza attraverso il confine edificio-quartiere sono equilibrati" (A. J. Marszal, 2009). L'autore introduce una nuova definizione, *Net Zero Exergy Building*. "Un edificio che in un sistema energetico di quartiere ha un bilancio complessivo annuo del trasferimento di exergia in tutto il confine edificio-quartiere, pari a zero; in tutti i trasferimenti elettrici e altri trasferimenti che stanno avvenendo in un certo periodo di tempo" (A. J. Marszal, 2009).

Kilkis inoltre sottolinea che prendendo in considerazione l'equilibrio di exergia, anziché il bilancio energetico, si possono quantificare le

emissioni di carbonio di un edificio, per quantificare anche il preciso tasso di inquinamento ambientale. Egli infatti dichiara che ingegneri e architetti devono ritenersi responsabili delle decisioni che prendono e riconoscere gli effetti nocivi delle emissioni e le questioni del riscaldamento globale, argomenti che non possono essere pienamente affrontati dalla semplice considerazione sul bilancio energetico zero.

Sempre nel **2007** anche **Mertz et al.** distinguono due diverse definizioni di ZEB: *Net Zero Energy Building* e *Net Zero CO₂ Building*. Le loro definizioni, che riprendono in buona parte le considerazioni effettuate da Torcellini et al. (2006), evidenziano lo scopo di raggiungimento di limitazione di risorse nel caso di edifici ad energia zero e il minore impatto ambientale nella progettazione di edifici a zero emissioni di CO₂. Nel loro rapporto definiscono una *net zero Home* come un edificio che, durante il corso dell'anno, genera tanta energia quanta ne consuma. L'energia viene generata attraverso l'utilizzo di pannelli fotovoltaici, turbine eoliche o generatori a biogas e viene restituita alla rete per compensare l'energia acquistata. L'edificio a zero emissioni di CO₂ invece si distingue dalla mancanza di emissioni prodotte durante la fase.

Da questo quadro di definizioni proposte emerge una prima considerazione: esistono di fatto due definizioni diverse, *Zero Energy Building* o *Zero Emission Building*, considerate sinonimi e abbinate all'acronimo ZEB. In particolare si considera *zero energy* una produzione di energia da fonti rinnovabili, per cui energia gratuita, *zero emission* una produzione di energia priva di emissioni.

Per quanto concerne la definizione *zero emission* in genere viene considerata nel bilancio delle emissioni solamente l'anidride carbonica

e non vengono stimati tutti i tipi di emissioni inquinanti.

Nel **2008** il rapporto scritto da **Jens Lausten** presso la International Energy Agency (IEA), discute ulteriormente la possibilità di una nuova definizione di ZEB. J. Lausten propone una definizione generale: gli Zero Energy Buildings secondo J. Lausten “(...) non utilizzano combustibili fossili ma ottengono la loro energia richiesta solo dall’energia solare e altre fonti di energia rinnovabile”(A. J. Marszal, 2009). Tuttavia l’autore evidenzia i punti deboli della definizione sottolineando che rispetto allo standard della casa passiva non esiste una definizione esatta per quanto riguarda il modo di costruire o di ottenere uno edificio ad energia zero. “In linea di principio questo può essere un edificio tradizionale, fornito di molti collettori solari e pannelli fotovoltaici. Se questi sistemi offrono, in un anno, più energia di quella che il palazzo consuma, sono edifici a zero energia netta” (J. Lausten, 2008).

J. Lausten riprende la doppia definizione fornita da Merzt et al. (2007) un anno prima. Anche lui distingue due diverse definizioni: *Zero Net Energy Building* e *Zero Carbon Building*.

Zero Net Energy Building: sono edifici che per più di un anno sono neutrali; offrono più energia alle reti di alimentazione di quanta ne richiedono. In linea teorica non necessitano di combustibili fossili per il riscaldamento, raffrescamento, illuminazione o altri usi energetici; a volte però devono trarre energia dalla rete;

Zero Carbon Building: sono edifici che per più di un anno sono neutrali; non utilizzano energia che comporta emissioni di biossido di carbonio. Nel corso dell’anno questi edifici sono carbon neutral o positivi nel senso che producono abbastanza energia libera da CO₂ sufficiente a colmare il loro bisogno di energia. Differiscono

dai *Zero Net Energy Building* in quanto utilizzano per la produzione di elettricità fonti prive di emissioni di CO₂, come ad esempio campi di pannelli fotovoltaici o eolici.

Nel **2010** l’*Industry Committee, Member of European Parliament* (MEP), **Comitato Industria**, sviluppa una definizione di ZEB inteso: “(...) come risultato di un’alta efficienza energetica dell’edificio dove il consumo totale annuale dell’energia primaria dell’edificio risulta essere uguale o inferiore alla produzione energetica ottenuta in loco con le energie rinnovabili”.

Nel **2010** viene redatto anche un nuovo documento dal gruppo **Torcellini et. al.** nel quale si sviluppa un metodo di classificazione degli edifici che assume come parametro di valutazione le risorse rinnovabili sfruttate nel progetto. Un edificio che compensa tutto il suo consumo di energia da fonti rinnovabili collocate all’interno della propria impronta, è al vertice del sistema di classificazione NZEB (NZEB: A). Un edificio che raggiunge una definizione NZEB attraverso una combinazione di risorse rinnovabili *on-site* e *off-site* e partecipa all’acquisizione di crediti da risorse rinnovabili, è collocato ai livelli più bassi della classificazione (NZEB: D).

Questa nuova classificazione ha lo scopo di favorire, in primo luogo, lo sviluppo di strategie per il raggiungimento dell’efficienza energetica, e solo in secondo luogo, la progettazione di sistemi a risorse rinnovabili sull’impronta dell’edificio. I benefici di queste opzioni includono: la fruibilità a lungo termine della generazione di energia, una minore dipendenza dell’edificio dal sistema della griglia, meno energia necessaria in quanto le perdite di energia attraverso la conversione, trasmissione e distribuzione, risultano minori, e meno problemi di picchi di

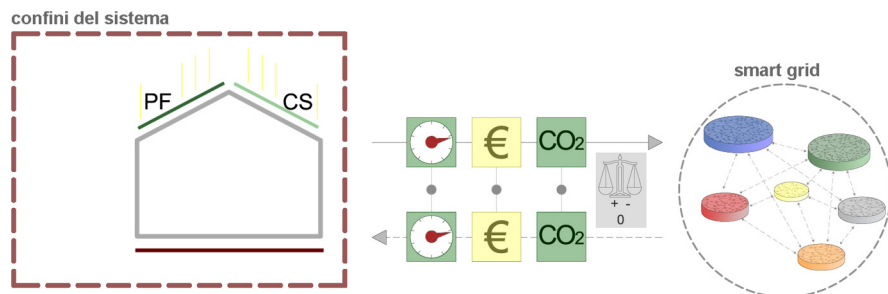


Figura 3.12: Schema di spiegazione della definizione di edifici classificati come NZEB: A da Torcellini et. al. (2010);

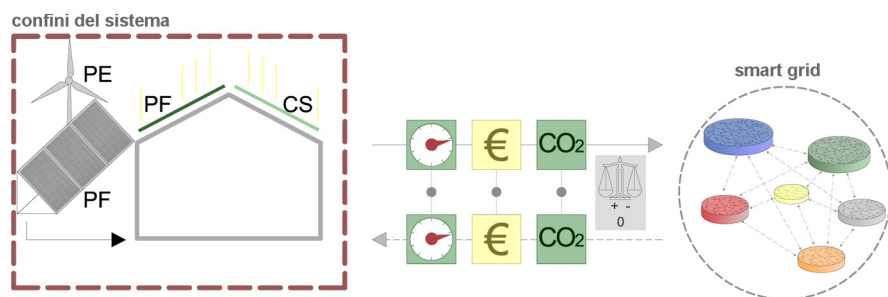


Figura 3.13: Schema di spiegazione della definizione di edifici classificati come NZEB: B da Torcellini et. al. (2010);

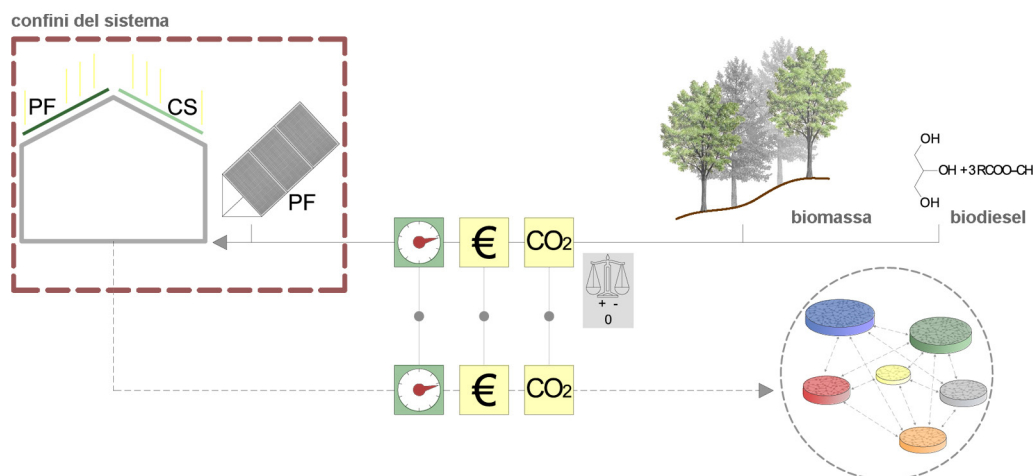


Figura 3.14: Schema di spiegazione della definizione di edifici classificati come NZEB: C da Torcellini et. al. (2010);

domanda con le *utility*.

Sono previsti quattro diversi metodi di classificazione:

Edifici classificati come NZEB:A Edifici che generano e utilizzano energia attraverso una combinazione di efficienza energetica e risorse rinnovabili collocate entro l'ingombro dell'edificio;

Edifici classificati come NZEB:B Edifici che generano e utilizzano energia attraverso una combinazione di efficienza energetica, risorse rinnovabili collocate entro l'ingombro dell'edificio e risorse rinnovabili all'interno dei limiti di confine;

Edifici classificati come NZEB:C Edifici che utilizzano le stesse strategie progettuali previste per gli NZEB:B sommate al trasporto di risorse, disponibili *off-site*, per produrre energia;

Edifici classificati come NZEB:D Edifici che sfruttano al massimo le risorse rinnovabili disponibili on-site, che sfruttano la produzione di energia da fonti *off-site* e si avvalgono anche al sistema di acquisizione di crediti da fonti rinnovabili certificate.

In tutte le definizioni analizzate manca un approccio al ciclo di vita dell'edificio che valuti, in un bilancio completo, l'energia e le emissioni generate dalle tecnologie utilizzate per ottenere l'obiettivo delle *Zero Emission*. Si pensi alla produzione di energia attraverso il nucleare; è certamente una tecnologia che, nella fase di produzione di energia, ha emissioni molto basse, ma genera una grande quantità di scorie non smaltibili se non in centinaia di anni. Alcune scelte tecnologiche rivolte alla riduzione dei consumi di energia e delle emissioni di CO₂

nella fase d'uso possono incrementare gli impatti in altre fasi.

"(...) le definizioni di ZEB individuabili a letteratura normalmente non includono l'energia spesa e le emissioni generate per la realizzazione dell'edificio (energia e CO₂ incorporata nei materiali da costruzione per la produzione, il trasporto dei materiali al cantiere, la costruzione), per la manutenzione (in relazione alla durabilità dei materiali) e nella fase di fine vita (in relazione ai diversi scenari di dismissione: discarica, riciclaggio, riuso)" (A. J. Marszal, 2009).

3.3 Punti chiave per definire un Zero Energy Building

L'identificazione di un'appropriata definizione di ZEB ha avuto inizio con uno studio approfondito della letteratura tecnico-scientifica. Il progetto Task 40- Annex 52 dello IEA ha individuato i seguenti punti di labilità nella definizione degli ZEBs:

- Unità di misura;
- Periodo del bilancio;
- Tipi di consumo energetico considerati;
- Tipi di bilancio;
- Fonti utilizzate per la produzione in sito di energia. Fonti energetiche rinnovabili;
- Confini del sistema rispetto al quale calcolare il bilancio;
- Connessione con la rete elettrica.

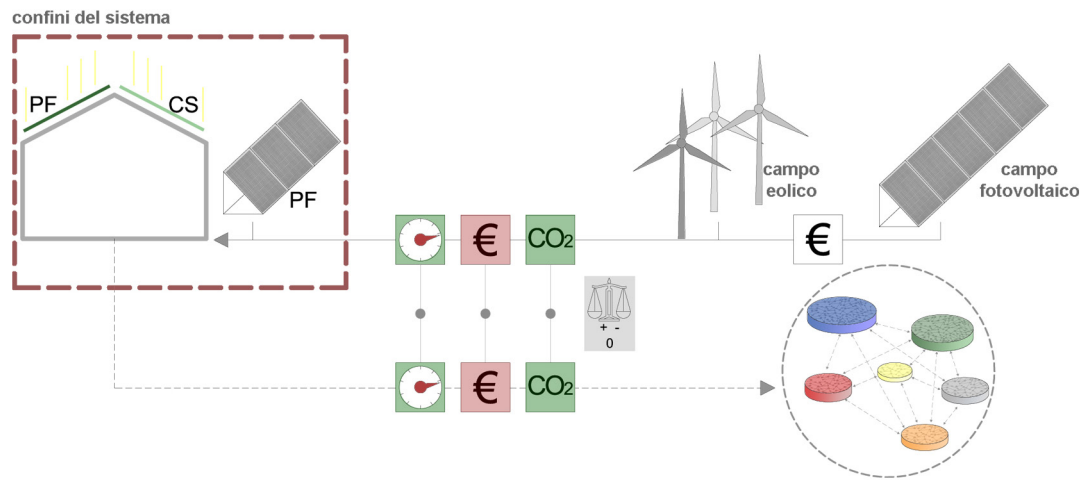
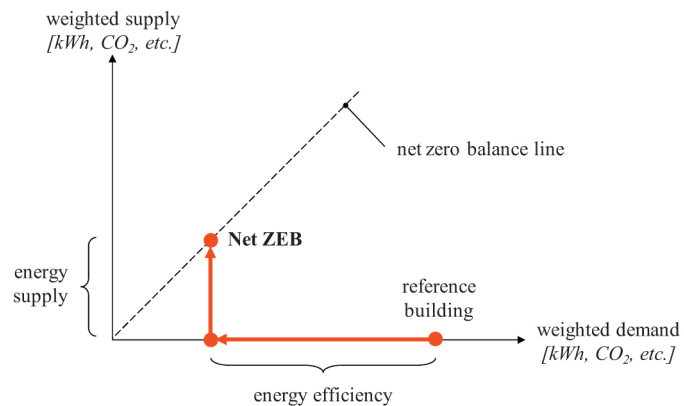


Figura 3.15: Schema di spiegazione della definizione di edifici classificati come NZEB; D da Torcellini et. al. (2010);



- 1 Building system boundary
 - 1.1 Physical boundary
 - 1.2 Balance boundary
 - 1.3 Boundary conditions
- 2 Weighting system
 - 2.1 Metrics
 - 2.2 Symmetry
 - 2.3 Time dependent accounting
- 3 Net ZEB balance
 - 3.1 Balancing period
 - 3.2 Type of balance
 - 3.3 Energy efficiency
 - 3.4 Energy supply
- 4 Temporal energy match characteristics
 - 4.1 Load matching
 - 4.2 Grid interaction
- 5 Measurement and verification

Figura 3.16: Grafico rappresentante il bilancio di edifici Net ZEB; I. Sartori, et. al., 2012;

3.3.1 Unità di misura

Molteplici sono i parametri rispetto ai quali si potrebbe calcolare il bilancio annuale che dovrà risultare *Net Zero*: l'energia finale, l'energia primaria, l'exergia, le emissioni di CO₂ e i costi. La scelta di ognuno di essi comporta dei limiti e delle problematiche di valutazione: ad esempio la selezione dei consumi energetici primari comporterebbe la definizione di adeguati fattori di conversione di energia (A. Napolitano et al., 2009).

Torcellini et al. (2006) indica che l'unità di misura applicata alla definizione di ZEB può variare a seconda delle intenzioni degli investitori, degli obiettivi del progetto, considerazioni riguardo al clima e alle emissioni dei gas serra e ai costi dell'energia. Propone infatti quattro diverse definizioni di ZEB che prevedono l'utilizzo di unità di misura diverse: per il *site ZEB* il *source ZEB* è opportuno utilizzare l'energia primaria, nell'*emissioni ZEB* le emissioni prodotte, e nel *cost ZEB* i costi dell'energia.

Kilkis (2007) dichiara che l'unità di misura per la definizione degli ZEB deve affrontare entrambi i temi di quantità e qualità dell'energia, se vogliamo valutare l'impatto totale dell'edificio sull'ambiente. Il caso studio 16 relativo al Complesso solare di Friburgo (2006) può essere considerato un esempio per la migliore comprensione del concetto di exergia espresso da Kilkis.

Mertz et al. (2007) e **J. Lausten** (2008) distinguono solo due unità di bilancio: le emissioni e l'energia, senza specificare se si tratti di energia primaria o meno. Nella definizione *Near Zero Energy Buildings* data dalla **EPBD 31/2010/UE** è chiaro l'uso dell'energia primaria come unità di misura per definire il bilancio.

L'Energia primaria è quindi l'unità di misura favorita per il calcolo del bilancio degli ZEB, risulta essere anche in linea con i principi definiti dalla Direttiva Europea e permette di considerare le differenze nella generazione e nella distribuzione di 1 kW di energia e di un 1kW di calore o gas naturale. Dal momento che il costo dell'energia non può essere considerato un parametro unitario nel tempo e nel mondo, questa unità di misura non permette la corretta valutazione del bilancio dell'edificio; un edificio può raggiungere l'obiettivo zero solo nel momento stesso in cui viene progettato.

3.3.2 Periodo di bilancio

Il periodo di tempo nel quale viene eseguito il calcolo per la valutazione dell'effettivo raggiungimento di un edificio ad energia zero è variabile. Il calcolo può considerare l'intero ciclo di vita dell'edificio o la fase d'uso dell'edificio stesso (solitamente considerata per un periodo di 50 anni) oppure basarsi su dati rilevati in un periodo di tempo annuale, stagionale o mensile.

Nella letteratura esistente il bilancio effettuato sulla base di dati monitorati in un arco di tempo di un anno, risulta essere il preferito. Tuttavia **P. Hernandez e P. Kenny** (2010), nel loro articolo *From net zero Energy building to zero Energy buildings*, affermano che l'intero ciclo di vita può essere considerato il periodo di tempo più significativo al fine di calcolare l'effettivo raggiungimento di un bilancio zero dell'edificio in quanto permette di valutare sia l'energia richiesta per il corretto funzionamento del manufatto sia l'energia incorporata dai materiali durante le fasi di costruzione, demolizione e installazione

impiantistica, al fine di valutare il vero impatto dell'edificio sull'ambiente.

Ad oggi però, anche i programmi di simulazione, come risultato finale di valutazione energetica di un edificio, forniscono valori relativi al bilancio annuale di energia primaria (A.J. Marszal, 2011).

3.3.3 Tipo di consumo energetico

Il consumo energetico negli edifici è solitamente imputabile a riscaldamento, raffrescamento, illuminazione, ventilazione e produzione di acqua calda sanitaria, tuttavia potrebbero essere prese in considerazione anche altre tipologie di consumo dipendenti dal comportamento dei fruitori dell'edificio, quali i consumi legati all'uso di elettrodomestici, strumenti elettronici, o alla cottura del cibo, etc.

W. Gilijamse (1995) e **M.T.Iqbal** (2004) considerano il fabbisogno elettrico come consumo globale di energia che deve essere considerato nel bilancio di un edificio ad energia zero. L'edificio per Uffici Solar XXI a Lisbona (2002), studiato nell'ambito del quarto capitolo, ne è un esempio, in quanto il bilancio annuale viene effettuato considerando il fabbisogno di elettricità e l'elettricità prodotta da fonti rinnovabili. Anche l'edificio universitario Ener Pos a St. Pierre (2009) (caso studio 4) può essere considerato un esempio in quanto non sono previsti consumi di riscaldamento o per acqua calda sanitaria durante la fase d'uso.

Per una valutazione più completa dei consumi energetici di un edificio, inoltre, si potrebbe anche includere la cosiddetta *Embodied Energy*, ovvero sia l'energia contenuta negli elementi costruttivi e tecnologici, consumata durante tut-

Periodo di bilancio	Vantaggi	Svantaggi
Sotto un anno: mese stagione: inverno-estate	Risorse rinnovabili dimensionate per corrispondere meglio al fabbisogno reale; Cattura le fluttuazioni delle fonti rinnovabili nel tempo;	E' difficile soddisfare l'obiettivo di bilancio zero per tutti i periodi dell'anno causa la discrepanza tra la domanda e la produzione di energia da fonte rinnovabile;
Anno	E' conforme con la maggior parte degli standard e regolamenti edilizi;	Impossibile registrare la mancata corrispondenza tra l'energia richiesta e l'energia prodotta; Sensibile al comportamento degli utenti;
Tempo di operazione dell'edificio, 50 anni	Catturare le variazioni annuali a seconda delle condizioni atmosferiche; Include possibili cambiamenti dell'utenza; Si considera un periodo di start-up per gli impianti;	Lunghe procedure di calcolo
Intero ciclo di vita	Prende in considerazione l'energia immagazzinata;	Diversi confini del sistema: dalla "culla alla culla", dalla "culla alla tomba", Mancanza di solidi dati di input;

Tabella 3.2: Vantaggi e svantaggi dei possibili periodi di bilancio; Fonte: A. J. Marszal, 2011;

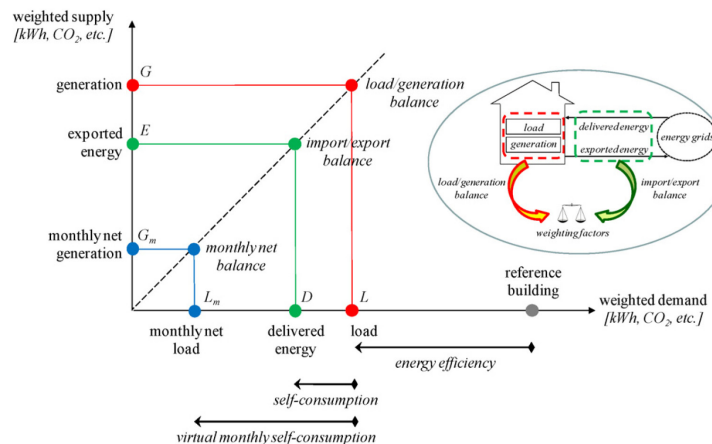


Figura 3.17: Rappresentazione grafica di tre tipi di bilancio: import/export tra l'energia esportata e importata dalla rete, tra l'energia prodotta e quella richiesta, tra l'energia prodotta mensilmente e richiesta mensilmente; Fonte: I. Sartori, et. al., 2012;

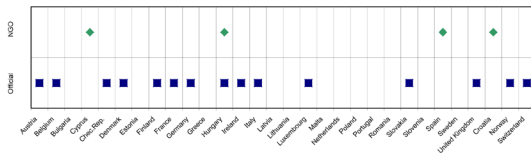


Figura 3.18: Paesi del Parlamento Europeo che inseriscono nella metodologia di calcolo il comfort estivo e la climatizzazione interna;
Fonte: European Commission, 2009;

to il loro ciclo di vita (A. Napolitano et al., 2009). **P. Hernandez e P. Kenny** (2010) propongono un bilancio basato sul calcolo di tale energia.

3.3.4 Tipo di bilancio

Questo problema risulta essere più rilevante riguardo agli ZEB connessi alla rete elettrica (*grid*) dove ci sono due diverse possibilità di bilancio: il primo considera l'energia consumata e l'energia prodotta attraverso l'utilizzo di fonti rinnovabili; il secondo valuta invece l'energia richiesta dall'edificio rapportata all'energia prodotta in eccesso, da fonti rinnovabili, e immessa nella rete. La differenza maggiore tra le due è il tempo di applicazione. Il primo bilancio è più applicabile durante la fase di progettazione dell'edificio, il secondo durante quella di monitoraggio. Nel sistema sconnesso dalla griglia, l'energia usata dall'edificio deve essere compensata dall'energia prodotta dall'utilizzo di fonti rinnovabili.

I casi studio analizzati nell'ambito del quarto capitolo comprendono edifici connessi alla rete elettrica locale. Il caso studio relativo alla scuola elementare a Hohen Neuendorf (2011) può rappresentare un esempio per la prima tipologia di bilancio, in quanto si considera l'energia consumata e l'energia prodotta da fonti rinnovabili; mentre il caso studio dell'edificio per uffici e appartamenti a Villach (2002) può essere considerato un esempio per il secondo tipo di bilancio raggiunto in rapporto all'energia immessa nella rete.

La letteratura esistente è abbastanza inconsistente per quanto riguarda il tipo di bilancio da utilizzare. La maggior parte degli autori citati nel capitolo indica come preferibile il bilancio ef-

fettuato tra la domanda energetica dell'edificio e l'energia prodotta da fonti rinnovabili; **Mertz et al.** (2007) e **J. Lausten** (2008) considerano nelle loro pubblicazioni l'energia richiesta dall'edificio rapportata all'energia prodotta in eccesso e immessa nella rete.

I. Sartori et al. (2010) progrediscono nella definizione sottolineando l'importanza dell'interazione tra l'edificio e la rete in termini di bilancio tra l'energia consegnata, *delivered Energy*, e l'energia ceduta, *feed-in Energy*. Come viene spiegato nel loro articolo queste due quantità non vengono normalmente valutate nelle loro unità di misura standard ma sotto forma di sistema di crediti. "Il sistema di crediti converte l'unità fisica in energia primaria oppure in emissioni di CO₂, in modo da valutare gli effetti dell'intera catena energetica, incluse le proprietà della risorsa naturale, le conversioni del processo e la rete di distribuzione" (I. Sartori et al., 2010).

$$\text{Importata} = \sum_i \text{energia richiesta}(i) \cdot \text{crediti}(i)$$

$$\text{Esportata} = \sum_i \text{energia richiesta}(i) \cdot \text{crediti}(i) \\ i = \text{energia trasportata}$$

$$\text{Net ZEB:} \quad - \geq 0$$

3.3.5 Fonti utilizzate per la produzione in sito di energia. Fonti energetiche rinnovabili

Il concetto NZEB sottintende l'autosufficienza energetica. Tuttavia, occorre chiarire se un NZEB debba fornirsi di energia esclusivamente da fonti rinnovabili, specificando quali, e scambiare con la rete eventuali esuberanti o mancanze, oppure se può ricorrere a fonti fossili, ma in misura tale che l'approvvigionamento energetico da fonti rinnovabili bilanci sia l'apporto della rete che il consumo della risorsa fossile (A.Napolitano,2009).

La maggior parte delle definizioni presenti in letteratura trascura questo argomento e la **Direttiva Europea EPBD** specifica solo che la richiesta di energia di edifici a basso consumo energetico deve essere ricoperta per la maggior parte da fonti rinnovabili. I casi studio analizzati nel quarto capitolo utilizzano fonti di energia rinnovabile quali il sole, il vento (in particolare mi riferisco all'edificio Kleehäuser a Friburgo (2006), collegato ad una turbina eolica collocata nella vicina città di St.Peter), le biomasse (molti casi studio utilizzano la biomassa come fonte di approvvigionamento energetico, tra questi cito: la sede generale Solon a Berlino (2002) e l'edificio Lighthouse a Watford (2000)).

3.3.6 Confini del sistema rispetto al quale calcolare il bilancio

Tale problematica concerne la provenienza della produzione energetica da fonti rinnovabili o delle stesse risorse rinnovabili (biomassa): in pratica, si discute sulla possibilità di conside-

rare o meno eventuali centrali di conversione energetica basate su fonti rinnovabili (idroelettrico o eolico), anche presenti sul sito ma non direttamente appartenenti all'edificio (A. Napolitano et.al., 2009).

Le risorse rinnovabili possono essere reperite sul sito, come ad esempio il sole e il vento, oppure necessitare di trasporto verso il sito, come ad esempio le biomasse. Esistono quindi due tipologie di fornitura: *on-site supply*, fornitura sul sito, *off-site supply*, fornitura fuori dal sito.

La maggior parte delle definizioni presenti in letteratura trascurano questo argomento, con l'eccezione della riformulazione della Direttiva Europea **EPBD 31/2010/CE**, la quale include la possibilità di utilizzare l'energia prodotta da fonti rinnovabili nel sito o nelle vicinanze.

Torcellini et al.(2006) contribuisce significativamente alla trattazione del problema, proponendo una distinzione tra le differenti fonti rinnovabili. Tra le risorse disponibili nel sito egli distingue le risorse rintracciabili all'interno dell'impronta dell'edificio o nei confini di proprietà dell'edificio stesso, mentre tra le risorse disponibili fuori dall'edificio distingue le risorse energetiche rinnovabili comprate fuori dal sito e l'uso di risorse rinnovabili all'esterno per produrre energia all'interno del sito.

Option 1 – Renewable Energy Generated Within the Building Footprint

Tutta l'energia generata e utilizzata proveniente dalle risorse rinnovabili è prodotta nell'impronta dell'edificio. Questa definizione viene applicata al singolo edificio, per la produzione di elettricità o d'acqua calda sanitaria, per minimizzare le perdite di trasmissione e distribuzione, o a sistemi da fonti rinnovabili direttamente connessi all'infrastruttura locale. Tra le tecnologie disponibili si includono pannelli fotovoltaici, pannelli

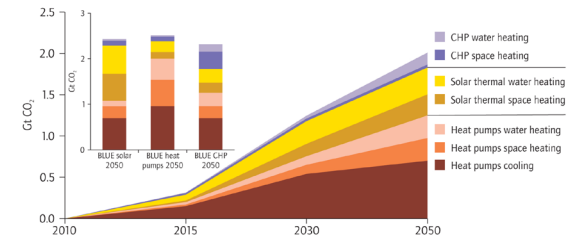


Figura 3.19: Tecnologie utilizzate per riscaldare e rinfrescare che contribuiscono alla diminuzione delle emissioni di CO₂; Fonte: International Energy Agency, 2011;

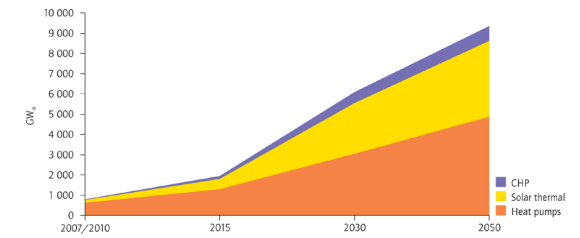


Figura 3.20: Sviluppo totale di tecnologie per riscaldare ad alta efficienza energetica e a basso o zero emissioni di carbonio; Fonte: International Energy Agency, 2011;

solari e turbine a vento (Torcellini et al., 2006);

Option 2 – Renewable Energy Generated Within the Boundary of the Building Site

L'energia generata ed utilizzata è prodotta all'interno dei limiti di confine dell'edificio ma non nella sua impronta. Il sito viene in genere definito come il confine di proprietà, tuttavia, non sempre è così. Le strategie tipiche includono impianti fotovoltaici montati su strutture metalliche a pavimento, collettori solari a terra collegati al sistema di distribuzione dell'acqua calda dell'edificio, turbine eoliche montate nel confine considerato (Torcellini et al., 2006);

Option 3 – Off-Site Renewable Energy Used to Generate Energy On Site

Edifici caratterizzati da un alto consumo ener-

cati, non sono in grado di soddisfare il fabbisogno energetico con il solo utilizzo di risorse rinnovabili disponibili sul sito. I confini del sistema per l'approvvigionamento delle risorse vengono estesi anche off-site. Fonti rinnovabili come pellet, l'etanolo e il biodisel, che vengono importati nel sito sono molto preziose, anche se meno preferibili rispetto a risorse rinnovabili disponibili in loco a causa dell'energia utilizzata e delle emissioni di CO₂ associate al trasporto e alla produzione di tali risorse (Torcellini et al., 2006);

Option 4 – Purchase or Install Renewable Energy Generation Off Site

L'energia può essere acquistata fuori dal sito da fonti certificate, di nuova installazione. Un edificio può compensare la propria mancanza di sistemi rinnovabili, comprando crediti da impianti eolici o altre risorse rinnovabili, purché questi siano certificati da *Green-E* (2009) o altre organizzazioni equivalenti. Questo approccio è poco preferibile in quanto un edificio che acquista tutte le proprie risorse rinnovabili è poco incentivato a ridurre i pochi carichi. In quest'ottica anche un edificio che consuma direttamente una grande quantità di energia può essere classificato come edificio ad energia zero (Torcellini et al., 2006);

Opzione num.	Opzioni di risorse energetiche	Esempi
0	Ridurre il consumo energetico attraverso l'adozione di tecnologie a bassa energia;	Illuminazione naturale, efficienti sistemi HVAC, ventilazione naturale, raffrescamento da evaporazione;
Risorse disponibili sul sito		
1	Utilizzo di risorse rinnovabili disponibili nell'impronta dell'edificio;	PF, collettori solari e pale eoliche collocate sull'edificio;
2	Utilizzo di risorse rinnovabili disponibili nei confini dell'edificio;	PF, collettori solari, idroelettrico a basso impatto e pale eoliche collocate sul sito ma non sull'edificio;
Risorse disponibili fuori dal sito		
3	Utilizzo di risorse rinnovabili disponibili fuori dal sito per produrre energia sul sito;	Biomassa, pellet, etanolo o biodisel che possono essere importati nel sito, flussi di rifiuto prodotti sul sito che possono essere usati per fornire energia o calore;
4	Acquisto di energia rinnovabile fuori dal sito;	Campi eolici, PF, crediti di emissioni o altri acquisti di risorse verdi: a volte viene considerato anche l'idroelettrico.

Tabella 3.3: Gerarchia delle risorse energetiche rinnovabili; Fonte: Torcellini et al., 2006;

3.3.7 Connessione con la rete elettrica

La letteratura si focalizza sia sugli edifici collegati sia indipendenti dalla rete. In entrambi gli approcci l'edificio è sia il consumatore che il produttore di energia da fonti rinnovabili. La differenza principale è la connessione con l'infrastruttura energetica.

L'edificio disconnesso dalla rete necessita di usare un sistema di accumulo dell'elettricità per i periodi di carico di picco. Nella letteratura questi tipi di ZEB sono anche chiamati autonomi, autosufficienti; "Gli edifici autosufficienti sono edifici che non richiedono connessione alla rete. Possono fornirsi da soli energia, e hanno anche la capacità di immagazzinare l'energia per la notte e la stagione invernale" (K.Voss, 2010).

Nella realtà, come si è verificato durante l'analisi dei casi studio proposti, gli edifici ad energia zero autonomi non sono realizzabili in quanto le fonti energetiche rinnovabili hanno dei limiti: la loro disponibilità è legata alle condizioni climatiche e per questo non è costante. Bisogna considerare inoltre che l'energia, termica o elettrica, generata da fonti rinnovabili non può ragionevolmente essere conservata o accumulata a lungo a causa di limitazioni sul piano tecnico ed economico. Sistemi di accumulo termico stagionale sono stati effettivamente realizzati per piccoli insediamenti sperimentali come ad esempio quello di Hannover-Kronberg in Germania. (I. Sartori et. al., 2010).

Tutti i casi studio analizzati, tra i quali cito l'edificio Kraftwerk B a Bennau (2009) e la residenza a Riehen (2007), sono connessi alle rete elettrica locale. In questi casi le reti si trovano a svolgere non più la sola funzione di distribuzione dell'energia prodotta localmente ai tanti utenti, ma anche gestione e bilanciamento di tali flussi di energia.

In questo contesto si genera il concetto di *Smart Grid* e generazione distribuita. *Smart Grid* "non è semplicemente una rete diversa, ma un sistema complesso nel quale due tecnologie, quella del trasporto dell'energia e quella telematica, si fondono in modo sinergico. Essa infatti, include un sistema intelligente di monitoraggio che tiene traccia di tutta l'elettricità che scorre nel

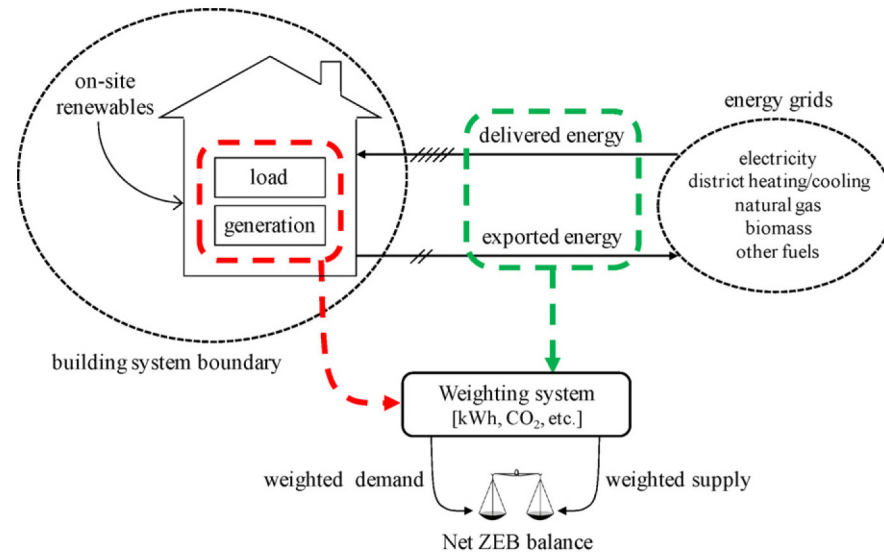


Figura 3.21: Schema di connessione tra l'edificio e la rete energetica; Fonte: I. Sartori, et. al., 2012;

sistema, sia in una direzione che dall'altra" (I. Sartori et. al., 2010).

I NZEBs possono variare drasticamente in termini di:

- corrispondenza temporale della produzione di energia sul posto con il carico dell'edificio (corrispondente carico);
- corrispondenza temporale dell'energia trasferita ad una griglia con le esigenze di una griglia (interazione con la rete);
- corrispondenza tra il tipo di energia importati ed esportati (*fuel switching*).

Un elemento fondamentale di una rete intelligente che diventa anche interfaccia tra l'utente e la rete, è il contatore che, oltre alla misurazione dell'energia consumata, è in grado di trasmettere dati da e verso i sistemi centrali delle società energetiche. Questo assicura una mag-

giore trasparenza e un monitoraggio efficiente dell'energia; permettono anche alle società di variare i prezzi in tempo reale.

Il gruppo di progetto SHC Task 40-ECBCS Annex 52, *Towards Net Zero Energy Solar Buildings* NZEBs ha proposto nel 2010 lo sviluppo di due indici per simulare il comportamento di un edificio definito Net Zero Energy Building: il *load match Index*, corrispondenza dell'indice di carico, e il *Grid Interaction Index*, Indice di interazione con la rete.

Load Match Index

L'indicatore rilevante è la cosiddetta frazione solare che descrive il rapporto tra il rendimento fotovoltaico, o il sistema di produzione di energia in loco, e il carico. La potenza generata che supera il carico è considerata come parte della rete elettrica, in modo che il massimo indice di carico corrisponde a 1 o 100%. Poiché l'indice riflette fortemente la risoluzione temporale considerata, l'intervallo di tempo deve essere parte del nome dell'indice. L'indice di corrispondenza annuale di un NZEB deve essere pari a 1 (K.Voss et.al., 2010).

$$f_{load,i} = \min \left(\frac{P_{gen,i}}{P_{load,i}} \right) \cdot 100$$

i = intervallo di tempo (h,g,m)

The Grid Interaction Index

L'indice di interazione griglia è basato sul rapporto tra la griglia di misurazione, in un dato periodo (ad esempio mensili), rispetto al massimo/minimo all'interno di un ciclo annuale. Un valore positivo descrive un edificio esportatore netto (K.Voss et.al., 2010).

$$F_{grid,i} = \frac{E_{grid,i}}{E_{load,i}} \cdot 100$$

i = intervallo di tempo (h,g,m)

3.4 Efficienza energetica negli edifici a energia zero

Una corretta definizione di ZEB dovrebbe comprendere delle valutazioni in termini di efficienza energetica. Dovrebbero essere definiti da un lato i requisiti vincolanti da tenere in considerazione per una corretta progettazione dell'involucro edilizio (in termini di valori di trasmittanza termica da rispettare per superfici opache e trasparenti, tenuta dell'aria attraverso la promozione di Blower-Door Test) e dell'altro dei limiti in merito ai sistemi HVAC (in particolare specificando la potenza dei ventilatori o il coefficiente di prestazione della pompa di calore). Un esempio concreto in termini di valori proposti per la corretta progettazione di un edificio ad energia zero è rappresentato dall'edificio universitario Ener Pos. L'edificio si propone come prototipo da cui desumere i valori di funzionamento impiantistici e le caratteristiche tecnico-costruttive per progetti sviluppati in un clima caldo-umido.

La definizione di edifici ad energia zero dovrebbe comprendere anche valutazioni in merito al fabbisogno termico ed elettrico di energia primaria dell'edificio.

In letteratura il tema dell'efficienza energetica di edifici ad energia zero non è trattato in modo esaustivo. **J.Lausten** (2008) specifica che l'edificio a zero energia può essere considerato un edificio tradizionale ristrutturato attraverso l'adozione di interventi che ne determinano l'efficienza energetica.

Torcelli et. al. (2006) definiscono un edificio ad energia zero la tipologia edilizia residenziale o commerciale di cui si calcola una ridotta richiesta di energia; non definiscono dei valori assoluti da assumere come limiti di consumo. **M.T.Iqbal** (2004) scrive invece che la Zero

energy home è definita da una combinazione di tecnologie costruttive energeticamente efficienti e l'utilizzo di sistemi produttori d'energia rinnovabile; non si esprime in merito ai coefficienti prestazionali degli impianti.

Nel marzo 2010, nell'ambito del progetto SHC Task 40-ECBCS Annex 52, viene pubblicato l'articolo *Comfort and Energy Efficiency Recommendations for Net Zero Energy Buildings*, nel quale si identificano due strade per esprimere raccomandazioni sull'efficienza energetica. Uno è il metodo prescrittivo, *prescriptive method*, che consiste nel dare specifiche richieste tecniche per un set di elementi e caratteristiche di sistemi tecnici; l'altro è il metodo delle performance, *performance method*, che consiste nel porre dei limiti in termini di richiesta di energia primaria o di riscaldamento e raffrescamento.

Nell'articolo vengono identificati due diversi carichi degli edifici da prendere in considerazione durante la fase di progettazione e valutazione prestazionale dell'edificio: i carichi dell'edificio e i carichi degli utenti.

I carichi degli utenti (prese di corrente, utilizzo dell'acqua) rappresentano una porzione significativa del consumo di energia totale nei *low Energy buildings*; questi risultano essere totalmente indipendenti dal tipo di clima, ma sono influenzati dal tipo di edificio, dal numero degli occupanti e dalle abitudini degli inquilini.

Vengono quindi definiti gli approcci da adottare per le due categorie di edifici: residenziali e altre tipologie.

Edifici residenziali:

- *illuminazione ed elettrodomestici metodo prescrittivo*: tutti gli elettrodomestici e gli impianti di illuminazione artificiale devono essere ad alta efficienza energetica certificata dalle etichette EU Energy, Energy Star o equivalenti previste dalla giurisdizio-

ne. Le principali apparecchiature sono: impianti di refrigerazione (frigoriferi e freezer), lavatrice, asciugatrici, scaldabagni e cucina;

- *illuminazione ed elettrodomestici metodo delle performance*: gli edifici *Net Zero Energy* sono tenuti a fare un uso ottimale della luce diurna, con conseguente un consumo di energia elettrica per l'illuminazione vicino a 3kWh/m²a per le latitudini di ca. 45°; dovrebbero limitare il loro consumo di energia elettrica negli apparecchi a meno di 800 kWh/anno per gli occupanti;
- *Acqua calda sanitaria metodo delle performance*: gli edifici *Net Zero Energy* non devono superare un consumo di acqua calda e di energia corrispondente ad una media giornaliera di 2,75 kWh di energia termica al giorno per occupante (circa 50 l / giorno / persona, assumendo una tipica AT tra la temperatura desiderata e l'acqua nella rete di circa 45 K).

Altre tipologie di edifici:

- gli edifici *Net Zero Energy* sono tenuti ad avere un uso specifico di energia elettrica per l'illuminazione inferiore a 8 W/m², ottimizzando l'utilizzo della luce del giorno e utilizzando sistemi di illuminazione efficienti;
- deve essere previsto un sistema di controllo automatico d'illuminazione durante la fase di pianificazione dell'edificio;
- Gli impianti degli uffici *Net Zero Energy* devono essere nella categoria più alta delle etichette EU Energy, Energy Star o equivalenti secondo la giurisdizione;
- Il sistema di gestione dell'energia deve misurare l'energia consumata dai carichi separatamente dall'illuminazione e consumo di energia HVAC.

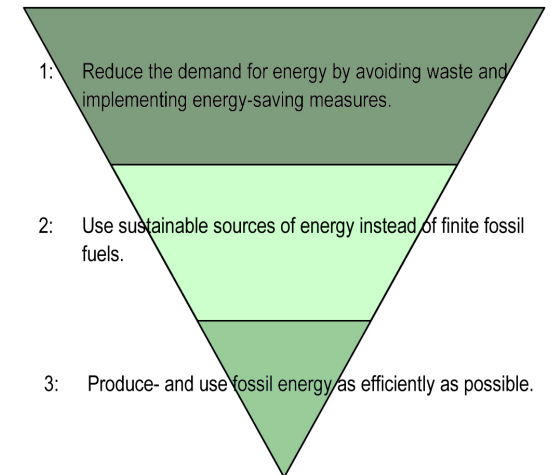


Figura 3.22: Principi di progettazione di un edificio ad energia zero; Fonte: International Energy Agency, 2011;

3.4.1 Criteri di comfort interno

La maggior parte delle definizioni di ZEB presenti in letteratura trascurano la trattazione di criteri di definizione per garantire comfort all'interno degli edifici.

ASHRAE Standard 55 e *EN 15251* del 2008 propongono criteri di comfort interno diversi a seconda dal tipo di sistema utilizzato per fornire il comfort estivo; distinguono gli edifici dotati di un sistema di ventilazione meccanica da quelli privi di tale impianto. Gli edifici privi di raffrescamento meccanico sono definiti come "edifici che si basano su altre tecniche per ridurre l'alta temperatura interna durante la stagione calda come moderate dimensioni delle finestre, adeguata schermatura, limitata massa dell'edificio, ventilazione naturale, ventilazione per prevenire il surriscaldamento" (I. Sartori et al. 2010).

Gli spazi dotati di impianto di ventilazione meccanica sono definiti come "ambienti dotati di ventilconvettori, superfici di raffreddamento(...). Gli spazi in questione devono essere dotati di finestre apribili verso l'esterno che possono essere facilmente aperte e regolate dagli occupanti" (I. Sartori et al. 2010).

Non tutte le categorie degli edifici rientrano in questo ambito quindi nella *EN 15251* viene data un'ulteriore definizione in merito alla temperatura interna degli ambienti. "Il limite della temperatura dovrebbe essere utilizzato per il dimensionamento dei mezzi passivi per evitare il surriscaldamento in estate, sfruttando ad esempio le dimensioni e l'orientamento delle finestre, le dimensioni della schermatura solare e la capacità termica degli elementi tecnico-costruttivi. Dove non è possibile garantire un adeguato comfort interno agli ambienti con mezzi di raffreddamento passivo, è inevitabile l'installazione di un sistema meccanico" (I. Sar-

tori et al., 2010).

Per una corretta progettazione del comfort relativo agli ambienti interni *ASHRAE Standard 55* e *EN 15251* propone l'utilizzo di indici di comfort termico: se la ventilazione è garantita da un sistema attivo le temperature devono rispettare gli indici PMV (Voto medio previsto) e PPD (percentuale di persone insoddisfatte) definite dal modello Fanger; nel caso in cui la ventilazione viene garantita in modo naturale deve essere considerato il modello di comfort adattivo che pone in relazione la temperatura di comfort degli occupanti ($T_{operativa}$) e la temperatura dell'aria esterna (T_{em}) ($T_{op} = 0,33 \times T_{em} + 18,8$ temperatura operativa ottimale giornaliera/oraria).

3.5 Recepimento normativa negli stati membri europei

Gli stati membri dell'Unione Europea sono chiamati ad elaborare piani nazionali destinati ad aumentare il numero di *Net Zero Energy Building* sul territorio. La Direttiva EPBD lascia molta flessibilità ed incertezze sul reale livello di ambizione e di emissioni di CO₂ richiesti a tali edifici.

Le definizioni di Zero Energy Building e le metodologie proposte differiscono molto tra i diversi paesi europei. Differenze significative si ritrovano soprattutto nel definire quale tipo di energia viene considerata. Alcune richiedono l'energia minima richiesta per ricoprire il fabbisogno di riscaldamento altri invece prendono in considerazione riscaldamento, raffrescamento e l'acqua calda. Altri ancora inseriscono anche l'energia necessaria per illuminazione e apparecchiature. Molte definizioni inoltre si riferiscono ai nuovi edifici mentre in alcuni casi sono previste delle modifiche anche per edifici sottoposti ad interventi di restauro.

Nell'ambito del progetto *Task 40 Annex 52 "Towards Net Zero Energy Solar Building"* otto paesi hanno esposto la loro metodologia di calcolo per definire il raggiungimento del bilancio in un edificio ad energia zero, tra questi: Germania, Svizzera, Danimarca, Austria e Norvegia.

Lo studio delle metodologie ha mostrato una preferenza per il bilancio effettuato tra l'energia utilizzata dall'edificio e l'energia prodotta attraverso fonti rinnovabili, su base annuale. Solo la Germania propone un bilancio su base mensile. Nel calcolo dell'energia richiesta vengono presi in considerazione tutti gli elementi specifici dell'edificio: riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, illuminazione; e specifici degli occupanti: apparecchiature per cucinare ed

illuminare. L'energia primaria è l'unità di misura prescelta nel calcolo, anche se sono prese in considerazione anche altre unità di misura come le emissioni di CO₂, i costi dell'energia e i crediti acquistati.

Nei regolamenti edilizi dei paesi presi in analisi il concetto di *ZEB* non è ancora incluso, per questo si presenta spesso un grado di separazione tra ciò che si dovrebbe fare e il regolamento edilizio. Il regolamento edilizio è chiamato a fissare requisiti di efficienza energetica al fine di garantire uno sviluppo di modalità costruttive condivise per raggiungere alti potenziali di efficienza. A livello europeo i requisiti di efficienza vengono definiti in diversi modi a seconda dello Stato Membro considerato.

In alcuni paesi il Regolamento Edilizio e gli standard di efficienza energetica sono fissati a livello nazionale e sono denominati Regolamenti Edilizi Nazionali (come nel caso della Danimarca). In questo caso, per gli Stati con grandi differenze climatiche al proprio interno, data la vastità o la particolarità del territorio, il Regolamento dovrebbe includere valori adattabili a seconda delle condizioni locali considerate.

In altri paesi invece (come nel caso della Germania o dell'Austria) le comunità locali o le regioni sono chiamate a definire le modalità costruttive al fine di stabilire requisiti minimi di efficienza energetica. In questo caso viene concepito un Codice di Costruzione a livello nazionale per definire le linee guida principali da rispettare. Le singole regioni o comunità locali sono poi chiamate a modificare il modello proposto a livello nazionale per adattarlo alle proprie condizioni locali.

In altri casi ancora lo Stato delega la fissazione di requisiti minimi direttamente alle autorità locali. In questi casi il consiglio comunale, il governo regionale o federale può autonomamente stabilire e applicare le norme.

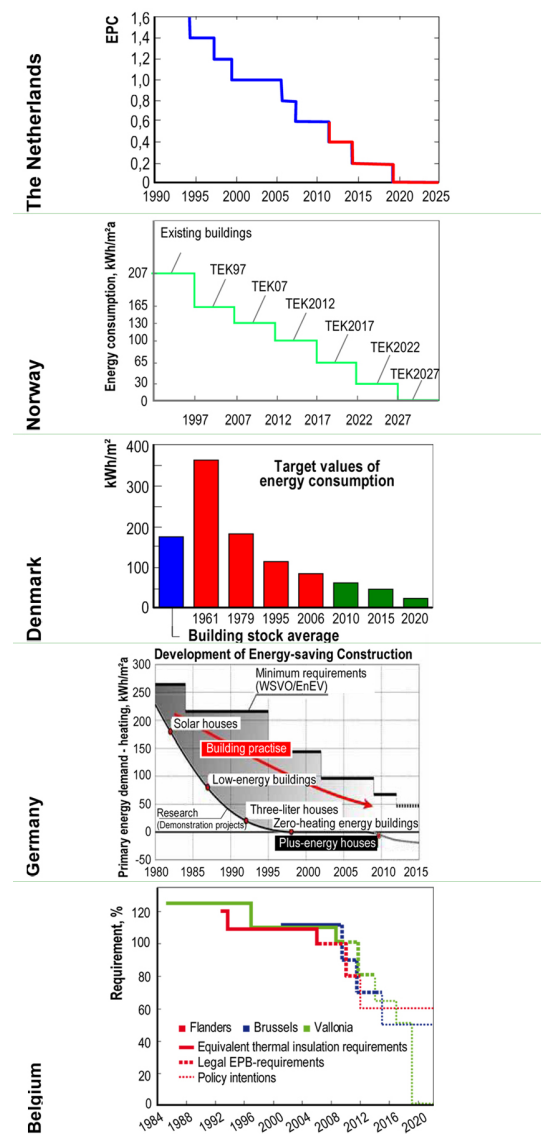


Figura 3.23: Tabella di marcia per alcuni paesi per raggiungere l'obiettivo d'edifici ad energia zero e migliorare le performance energetiche dei nuovi edifici; Fonte: L. Jagenar, et. al, 2011;

Paese	Unità di bilancio				Periodo di bilancio		Tipo d'energia usata			Tipo di bilancio		Risorse rinnovabili			Fattori PE % CO ₂	Caratteristiche uniche
	energia consegnata	energia primaria	emissioni CO ₂	costi energia	Anno	Mese	Energia d'esercizio	Energia totale	Energia d'uso e EE*	Generata/ consumata	Imnessa in rete/ presa	Impronta	on-site	off-site		
AUT (a)		√			√			√			√		√		EN 15603:2008	Il consumo di energia comprende anche lo sforzo per la produzione di energia in loco
AUT (b)		√			√			√			√		√		EN 15603:2008	Il consumo di energia comprende anche lo sforzo per la produzione di energia in loco
AUT (c)		√			√			√			√		√		EN 15603:2008	
DK		√			√			√			√		√		Local	Valutazione indiretta del clima interno- elettricità penale per rinfrescare se la temperatura interna supera i 26°C
DE (a)	√	√	√	√	√			√			√		√	√	Local	Possibilità di utilizzo di risorse energetico esterne
DE (b)	√					√	√				√		√		Not valid	Net ZEB è raggiungibile solo in alcuni casi speciali. Nessun surplus mensile generato può essere accreditato
NOR	√	√	√		√			√			√		√	√	EN 15603:2008	
CH		√			√				√		√		√		Local	Metodi di calcolo speciali per l'energia immagazzinata

*Embodied energy

Tabella 3.4: Metodologie di calcolo per la valutazione del raggiungimento di edifici ad energia zero proposte da: Austria, Danimarca, Germania, Norvegia e Svizzera ;
Fonte: A. J. Marszal, 2011;

In generale nei paesi in cui sono imposti i codici a livello locale viene stabilito un set di raccomandazioni e linee guida da adottare a livello nazionale. Per l'analisi descritta in seguito ho preso in considerazione le linee guida fissate dai Codici Edilizi a livello nazionale, senza analizzare le modifiche specifiche apportate dalle singole regioni.

3.5.1 Il caso della Germania

Il governo tedesco ha implementato le politiche sia per gli edifici esistenti sia per gli edifici di nuova costruzione. Il codice edilizio è stato rivisitato più volte negli ultimi 35 anni al fine di raggiungere una diminuzione della domanda di energia per il riscaldamento degli ambienti e la produzione di acqua calda sanitaria da 300 a 65 kWh/m²a per l'edilizia residenziale. La modifica più recente è avvenuta nel 2009 con l'entrata in vigore del nuovo regolamento edilizio, *Energieeinsparverordnung EnEv 2009*, dove vengono delineati degli *standards* più ambiziosi di performance energetiche. Il codice edilizio è stato supportato dalla norma per le energie rinnovabili, *EEWärmeG*, la quale impone a tutti gli edifici di nuova costruzione l'utilizzo di fonti rinnovabili per il riscaldamento; ad esempio la superficie dei pannelli solari deve essere almeno 0.04m² x m² slp.

Il codice edilizio ufficiale tedesco pone quindi le basi per lo sviluppo di un concetto di edifici ad energia zero. La Direttiva prende in considerazione tutti i consumi rilevanti di energia: energia utilizzata per il riscaldamento degli ambienti, approvvigionamento di acqua calda sanitaria, raffrescamento, ventilazione, illuminazione e consumi elettrici per le apparecchiature elettroniche come computer, elettrodomestici, o

infrastrutture legate all'edificio. L'energia immagazzinata dall'edificio non viene presa in considerazione. La metodologia di calcolo per il bilancio energetico si basa su un calcolo mensile sommato per risultare in un valore annuale. Sia nella direttiva, sia nella metodologia di calcolo proposta, ad esempio, l'elettricità generata in loco dai pannelli solari può essere sottratta dall'energia elettrica caricata in loco fino al limite del consumo mensile. L'energia prodotta in eccesso viene considerata come parte della rete, quindi trascurata; non può essere bilanciata con le esigenze di altri mesi.

Gli edifici energeticamente efficienti si pongono l'obiettivo di raggiungere valori di energia significativamente più bassi rispetto a quelli imposti dalla normativa. La metodologia di calcolo proposta dalla Germania risulta però non essere applicabile per bilanciare richieste non energetiche.

3.5.2 Il caso della Svizzera

In Svizzera nel 1990 il Politecnico di Zurigo sviluppa il concetto di società a 2000 Watt, secondo il quale un individuo non dovrebbe consumare più di 2000 Watt di energia primaria all'anno. Nel 2009 la Società per gli Ingegneri e gli Architetti svizzeri, la SIA (Swiss Association of Engineers and Architects) decide di implementare le linee guida imposte dal regolamento edilizio, *Energieleitbild Bau*, con un nuovo documento dal nome *Effizienzpfad Energie*, redatto sulla base degli obiettivi dettati dalla società a 2000 Watt. Il documento *Effizienzpfad Energie* stabilisce al suo interno dei target minimi da rispettare in termini di energia primaria e di emissioni di CO₂. I Target sono espressi in merito a tre aspetti della costruzione: la produzione (l'ener-

gia grigia necessaria alla produzione, sostituzione e smaltimento dei materiali), gli impianti (aria condizionata, acqua calda, illuminazione e altri elettrodomestici) e il trasporto. L' *Effizienzpfad Energie* stabilisce il calcolo dell'energia totale consumata su base annuale e le relative emissioni prodotte, nell'ambito delle tre categorie individuate.

La metodologia di calcolo sviluppata dalla Svizzera per il raggiungimento di *Net Zeb* propone un approccio integrato, che tenga in considerazione l'energia totale utilizzata, quindi anche l'energia richiesta per la produzione di acqua calda sanitaria e per il riscaldamento; vengono dati, a seconda della tipologia edilizia considerata, valori prefissati da rispettare. La metodologia di calcolo proposta per il raggiungimento di un edificio a bilancio zero risulta concorde con il Regolamento Edilizio nel valutare il bilancio energetico su una base annuale e nell'includere nel conteggio tutte le voci di consumo.

3.5.3 Il caso della Danimarca

Il regolamento edilizio danese distingue le voci di consumo da considerare nel calcolo dell'energia primaria a seconda delle tipologie edilizie. Per gli edifici ad uso non residenziale il regolamento considera nel calcolo i fabbisogni relativi a: riscaldamento, approvvigionamento di acqua calda, illuminazione, ventilazione e raffrescamento; per quanto riguarda gli edifici ad uso residenziale viene omessa invece la voce relativa al fabbisogno per l'illuminazione. Il regolamento edilizio BR10 del 2010, redatto in sostituzione del BR08 del 2008, prevede che la domanda totale di energia di un edificio di tipo residenziale sia inferiore a 52.5 kWh/m²a

per unità di superficie riscaldata, maggiorata di una quantità pari a 1650 kWh/a diviso l'area di superficie riscaldata. In merito agli edifici non residenziali prevede invece una domanda inferiore a 71.3 kWh/m²a per unità di superficie riscaldata, maggiorata sempre di una quantità pari a 1650 kWh/a diviso l'area di superficie riscaldata. Il regolamento BR10 definisce inoltre la classificazione di edifici a basse prestazioni energetiche per il 2015. Un edificio può appartenere alla classe *2015 low energy building* se la domanda totale di energia non eccede i 30 kWh/m²a, per edifici residenziali, e 41 kWh/m²a, per edifici appartenenti ad altre tipologie edilizie; entrambi i valori devono essere maggiorati una quantità pari a 1000 kWh/a diviso l'area di superficie riscaldata.

La metodologia di calcolo proposta dalla Danimarca per la valutazione di edifici ad energia zero risulta essere in linea con il regolamento edilizio BR10. Ci sono due differenze fondamentali: il tipo di energia inclusa nel bilancio finale e la definizione di limiti dell'edificio. Le *performance* energetiche nel regolamento BR10 vengono raggiunte nel conteggio della domanda di riscaldamento, acqua calda sanitaria, raffrescamento. La metodologia va oltre e considera nel bilancio energetico anche l'illuminazione, nel caso di edifici residenziali, e gli elettrodomestici. La seconda differenza riguarda invece le risorse rinnovabili: secondo la metodologia di calcolo proposta per lo sviluppo dei Net ZEB la generazione di energia rinnovabile può avere luogo nell'impronta dell'edificio e nei confini direttamente adiacenti l'edificio stesso. Al contrario, il regolamento BR10 prende in considerazione l'area comune che viene condivisa dal complesso edificato.

	Energy frame [kWh/(m ² a)]	Energy frame [kWh/(m ² a)]	Energy frame [kWh/(m ² a)]
Building Code	BR08	BR10	BR10 - Class 2015
Residential	70 + 2200/A	52,5 + 1650/A	30 + 1000/A
Non-residential	95 + 2200/A	71,3 + 1650/A	41 + 1000/A

Figura 3.24: Domanda di energia primaria per gli edifici di nuova costruzione in Danimarca nel 2008, 2010 e 2015; Fonte: L. Jagenar, et. al, 2011;

3.5.4 Il caso dell'Austria

Nel 2001 il codice edilizio dell'Austria fissava dei valori limite di domanda energetica a 90 kWh/m²a, prendendo in considerazione solo la domanda per il riscaldamento e l'acqua calda sanitaria. Questo standard viene mantenuto fino al 2008, anno in cui viene rinnovato il codice edilizio e vengono proposti dei valori di consumo, relativi sempre limitatamente ai fabbisogni di riscaldamento e acqua calda sanitaria, compresi tra 40-50 kWh/m²a per gli edifici residenziali. Inoltre vengono stabiliti dei valori limite di trasmittanza termica specificati dall'*Austrian Institut of Construction Engineering (OIB)*, nel documento OIB Guidelines⁶, redatto nel 2008. La metodologia di calcolo proposta dall'Austria per la valutazione di edifici ad energia zero non risulta essere in linea con il regolamento edilizio vigente. Il regolamento edilizio utilizza l'energia finale come unità di misura nel calcolo, mentre la metodologia propone l'utilizzo dell'energia primaria. Il calcolo per la valutazione degli ZEB risulta però più corretto in quanto considera nel conteggio tutti i consumi possibili dell'edificio: la domanda di riscaldamento, acqua calda sanitaria, raffrescamento e illuminazione.

3.5.3 Il caso della Norvegia

Il regolamento edilizio nazionale norvegese viene sottoposto, ogni cinque anni, a revisione per raggiungere alti livelli di efficienza energetica nel settore delle costruzioni. Il Regolamento TEK 07 è stato pubblicato nel febbraio 2007 ed è entrato ufficialmente in vigore il 1 febbraio del 2009; si tratta del primo regolamento edilizio

norvegese che pone dei limiti in termini di efficienza energetica. Il regolamento prevede che la domanda totale di energia di un edificio di tipo residenziale sia inferiore a 130 kWh/m²a per unità di superficie riscaldata, maggiorata di una quantità pari a 1600 kWh/a diviso l'area di superficie riscaldata. Per quanto riguarda gli edifici non residenziali prevede invece una domanda inferiore a 150 kWh/m²a per unità di superficie riscaldata, maggiorata sempre di una quantità pari a 1650 kWh/a diviso l'area di superficie riscaldata. Per calcolare il fabbisogno totale dell'edificio vengono presi in considerazione tutte le possibili voci di consumo: riscaldamento, acqua calda sanitaria, ventilazione, raffrescamento, illuminazione e la domanda di energia per gli elettrodomestici. La Norvegia si impone cinque tappe da raggiungere per poter arrivare all'obiettivo edifici ad energia zero nel 2027: TEK 12, TEK 17, TEK 22 e TEK 27.

La metodologia di calcolo proposta dalla Norvegia per il raggiungimento di un *Net ZEB* è, in generale, in linea con il regolamento edilizio TEK 07. Si trovano due differenze: in primo luogo, la metrica usata nel regolamento edilizio riguarda l'energia finale, mentre la metodologia proposta per il calcolo del bilancio di uno ZEB include tre parametri diversi: l'energia finale, l'energia primaria e il calcolo delle emissioni; in secondo luogo, secondo il regolamento TEK 07 l'energia rinnovabile generata sul sito può essere utilizzata per compensare il carico specifico annuale di elettricità, mentre nella metodologia proposta l'elettricità in eccesso viene conteggiata per il raggiungimento dell'obiettivo bilancio zero.

Building Code	Energy frame [kWh/(m ² a)]				
	TEK07	TEK12	TEK17	TEK22	TEK27
Residential	130	100	65	30	0
Non-residential	155	110	70	40	0

Figura 3.25: Standard futuri proposti dalla Norvegia per gli edifici di nuova costruzione; Fonte: L. Jagenar, et. al, 2011;

Nazione	Regolamento edilizio corrente:	2012-2013	2014-2015	2020
Austria	2010: 66.5 kWh/m ² a (energia finale); 15% miglioramento confrontato al 2007;		2015: standard Passivhaus per i nuovi edifici;	
Danimarca	2010: 52.5-60 kWh/m ² a (energia primaria); 25% miglioramento confrontato al 2006;		2015: 30-40 kWh/m ² a (energia primaria) 50% miglioramento rispetto al 2006;	20 kWh/m ² a "edifici ad energia quasi zero" (energia primaria); 75% miglioramento rispetto al 2006;
Germania	2009: 70 kWh/m ² a (energia primaria)	2012: 30% miglioramento rispetto al 2009		Edifici a zero carburante fossile;
Norvegia	2010: 120 kWh/m ² a (energia finale);		Proposte: Standard Passivhaus: 2014: edifici pubblici 2015: tuttiedifici;	Proposte: quasi ZEB
Svizzera	2011: 60 kWh/m ² a (energia primaria);		Proposte: Minergie- P 2015: 30 kWh/m ² a (energia primaria);	

Tabella 3.5: Regolamenti edilizi correnti per gli edifici residenziali e azioni previste future per il raggiungimento di edifici ed energia zero ; Fonte: A. J. Marszal, 2011;

3.6 Conclusioni

Riconoscendo la varietà nella cultura dell'edificato e del clima in tutta Europa, la direttiva EPBD non prescrive né un approccio uniforme per l'attuazione degli Edifici ad energia zero né una metodologia di calcolo comune per il bilancio energetico. Per aggiungere flessibilità impone agli Stati Membri di elaborare piani nazionali destinati ad aumentare il numero di edifici ad energia quasi zero che riflettono condizioni nazionali, regionali o locali. La natura qualitativa della definizione di NZEB data dalla normativa, lascia spazio a libere interpretazioni. Illustra i pilastri principali, la domanda di energia drasticamente ridotta e una quota importante di fornitura energetica da fonti rinnovabili, in termini di "(...) importo quasi pari a zero o molto basso, (...) in misura molto significativa (...) l'energia rinnovabile prodotta in loco o nelle vicinanze (...)"; richiedendo un ulteriore esame e definizione.

E' molto forte la necessità di una definizione coerente, che dovrebbe contribuire nello stesso tempo ad una riduzione sia di energia sia di emissioni di CO₂. Di conseguenza, per definire i requisiti minimi per il rendimento energetico degli edifici si dovrebbe utilizzare un indicatore di energia che possa adeguatamente riflettere sia l'energia sia le emissioni di CO₂ dell'edificio, il ridotto consumo energetico dovrebbe portare ad una proporzionale riduzione delle emissioni di anidride carbonica nell'atmosfera. In generale, il consumo di energia primaria di un edificio riflette accuratamente l'esaurimento dei combustibili fossili, ed è abbastanza proporzionale alle emissioni prodotte di conseguenza (proporzioni distorte nel caso in cui viene coinvolta l'energia nucleare). Tuttavia, se deve essere

adottato un unico indicatore di energia, forse il rendimento energetico dell'edificio deve essere indicato in termini di energia primaria, in quanto in linea anche con la direttiva vigente; per riflettere la rilevanza che il funzionamento di un edificio provoca sul clima, dovrebbe essere aggiunto, come informazione supplementare, anche le emissioni di CO₂.

E' molto importante che i fattori di conversione dell'energia finale in energia primaria si basino su una realtà, non influenzate da considerazioni politiche o da approssimazioni inesatte. I fattori di conversione devono essere continuamente adattati alla situazione reale di energia del sistema.

La definizione di NZEB, per garantire uno sviluppo sostenibile, deve fare i conti con disparità locali e temporali di produzione di energia rinnovabile. Per quanto riguarda le disparità locali, la soluzione più adeguata è quella di sostenere lo sviluppo di sistemi di approvvigionamento energetico sia *on-site* sia *off-site*. Questo approccio può permettere ad un numero più elevato di edifici di raggiungere un consumo netto di energia pari a zero, anche se non è equivalente il raggiungimento di un bilancio zero generando l'energia in loco da quello generato al di fuori del confine considerato. La produzione di energia rinnovabile off-site deve essere adeguatamente controllata e certificata per evitare frodi e doppi conteggi.

Le disparità temporali nella fornitura di energia rinnovabile possono influenzare le emissioni di gas serra associate all'edificio. Il periodo in cui il bilancio dell'edificio è calcolato, è molto importante. I bilanci energetici annuali, necessitano l'introduzione di una metodologia di verifica ulteriore per considerare i gas serra associati alle emissioni causate dalla fornitura di energia in un dato periodo; i bilanci energetici mensili sono invece troppo brevi per offrire una ga-

ranza con le emissioni associate alla fornitura energetica. Per mantenere il concetto più semplice possibile sembra preferibile utilizzare un bilancio annuale.

A mio parere, è molto importante integrare in una definizione di NZEB anche il concetto di *Exergia* introdotto da Kilkis. Il bilancio energetico deve tener conto anche della qualità dell'energia, valutando separatamente elettricità e riscaldamento. La qualità della produzione di energia dovrebbe essere considerata come una condizione importante per evitare un concetto fuorviante di NZEB con risultati inefficaci o controproducenti.

Secondo l'EPBD, per quanto riguarda la fornitura energetica, sono da tenere in considerazione, in una definizione di *Net Zero Energy Buildings*, solo l'energia richiesta per il riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e illuminazione. Tuttavia, ci sono alcune attrezzature, come gli elettrodomestici, ulteriormente integrati al sistema edificio, che devono essere inclusi per fornire una definizione completa.

Il rendimento completo dell'edificio dovrebbe essere accompagnato da una stima del fabbisogno energetico per la produzione, la ma-

nutenzione e lo smaltimento, per mettere in evidenza l'importanza dell'intero ciclo di vita e di ogni fase di consumo. Al momento, questo approccio, risulta essere ben oltre l'intenzione attuale della Direttiva Europea, ma potrebbe essere una raccomandazione pratica per il futuro.

Per ottenere una definizione adeguata bisogna valutare diversi aspetti in un contesto più ampio della società, trasferendoli in uno standard pratico, tenendo conto di aspetti finanziari, giuridici, tecnici e ambientali; bisogna affrontare le sfide presenti e future.

Il concetto di bilanciamento dell'energia e delle emissioni risulta essere semplice, le procedure sono in realtà complesse ed esistono molte questioni aperte. Viene quindi riconosciuto un bisogno comune, non tanto per una definizione condivisa, ma inizialmente per un metodo idoneo per analizzare e presentare questi tipi di progetti, così da poter identificare differenze ed analogie. Nel capitolo successivo vengono presi in esame alcuni casi studio suddivisi secondo le definizioni di ZEB fino ad ora analizzate.

4 Scelta e trattazione dei casi studio

Nel capitolo vengono presentati esempi dimostrativi di edifici ad energia zero con lo scopo di studiare ed analizzare le strategie e soluzioni progettuali adottate per il raggiungimento dello standard progettuale introdotto dalla Direttiva Europea 31/2010/CE. I casi studio vogliono rappresentare una panoramica il più possibile esaustiva dei progetti fino ad ora realizzati limitatamente all'ambito europeo.

Le architetture selezionate sono state scelte assumendo come punto di partenza l'elenco di edifici redatto nell'ambito del progetto di ricerca *Task 40 – Annex 52*, avviato dall'*International Energy Agency* in relazione ai programmi SHC, *Solar Heating and Cooling*, e ECBCS, *Energy Conservations in Buildings and Community System*. Sulla base di questo elenco è stata svolta uno studio per reperire le informazioni necessarie ad un'analisi completa dei casi selezionati.

Grazie all'ausilio di documenti e articoli disponibili in letteratura, di siti internet competenti sull'argomento e dati forniti dagli studi di architettura (solo alcuni hanno collaborato alla raccolta di dati tecnici) è stato possibile redigere le schede di lettura dei progetti.

Data la mancata identificazione di un'appropriata definizione di Zero Energy Building, i casi studio presi in esame sono stati poi catalogati secondo le definizioni descritte nel capitolo precedente. È stato quindi possibile suddividere i progetti in quattro diverse categorie: *Site NZEB*, *Source NZEB*, *Exergy*, *Emmission NZEB*.

Le schede di lettura sono state sviluppate in

modo da poter riconoscere facilmente le caratteristiche di ogni caso e da poter condurre delle comparazioni tra i diversi esempi.

Gli edifici selezionati comprendono interventi di varia natura, sia nell'ambito residenziale, sia nel settore terziario o nel settore dell'istruzione, e sono localizzati in Paesi con condizioni climatiche, economiche e sociali differenti.

Per la maggior parte gli edifici sono localizzati in Nazioni della parte nord-ovest dell'Europa; l'elevato bisogno di riscaldamento e la minore quantità di radiazione solare disponibile, potrebbero rendere difficile il raggiungimento di un bilancio annuale pari a zero, ma l'avanzata conoscenza tecnologica e la continua ricerca nel campo dell'edilizia, rendono l'obiettivo più facilmente raggiungibile.

Le schede di lettura relative ai casi studio prendono in considerazione:

Dati dell'intervento: tabella in cui vengono schematizzate le principali informazioni relative all'intervento, quali dati relativi al progetto, al sito, all'involucro etc.

Strategie progettuali: i casi studio proposti rispettano una serie di linee guida, in questa sezione vengono schematicamente elencate le scelte progettuali intraprese per la realizzazione di un edificio ad energia netta zero;

Tipologia architettonica: in questa sezione l'intervento viene presentato attraverso una breve descrizione degli aspetti architettonici e tipologici;

Principi d'architettura bioclimatica: l'intervento viene presentato analizzando gli aspet-

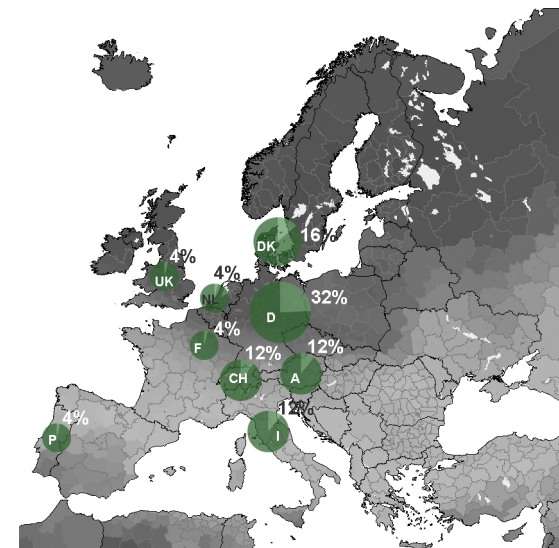


Figura 4.1: Casi studio individuati suddivisi in percentuale ai Paesi Europei di appartenenza;

	ELENCO PROGETTI IDENTIFICATI
Site NZEB	1 <i>Residential Home</i> , Riehen, Svizzera
	2 <i>Scuola elementare</i> , Wolfurt Mähdle, Austria
	3 <i>Sede generale Marchè</i> , Kemptthal, Svizzera
	4 <i>Edificio Ener Pos</i> , Saint-Pierre, Francia
	5 <i>Comunità Energy Plus</i> , Weiz, Austria
	6 <i>Centro ricreativo</i> , Monheim, Germania
	7 <i>Scuola elementare</i> , Laion, Italia
Source NZEB	8 <i>Kraftwerk B</i> , Bennau, Svizzera
	9 <i>Kleehäuser</i> , Friburgo/Vauban, Germania
	10 <i>Scuola elementare</i> , Hohen Neuendorf, Germania
	11 <i>Ufficio + appartamenti</i> , Villach, Austria
	12 <i>Solar XXI</i> , Lisbona, Portogallo
	13 <i>Sede generale Solon</i> , Berlino, Germania
	14 <i>Struttura ricreativa</i> , Steinhude, Germania
	15 <i>Concorso ed. residenziale BOLIG+</i> , Aalborg, Danimarca
Source NZEB / Exergy	16 <i>Solarsiedlung</i> , Friburgo, Germania
	17 <i>Home for Life</i> , Lystrup, Danimarca
	18 <i>Leaf House</i> , Angeli di Rosona, Italia
	19 <i>The Lighthouse</i> , Wattford, Inghilterra
	20 <i>Green Lighthouse</i> , Copenhagen, Danimarca
	21 <i>Stabilimento Solvis</i> , Braunschweig, Germania
	22 <i>Quartier generale WWF</i> , Zeist, Olanda
	23 <i>Naturalia-Baua</i> , Merano, Italia
	24 <i>Blaue Heimat</i> , Heidelberg, Germania
	25 <i>Ed. residenziale prototipo SOLTAG</i> , Hørsholm, Danimarca

BILANCIO CONSUMO ENERGETICO

SISTEMI DI APPROVVIGIONAMENTO ENERGETICO

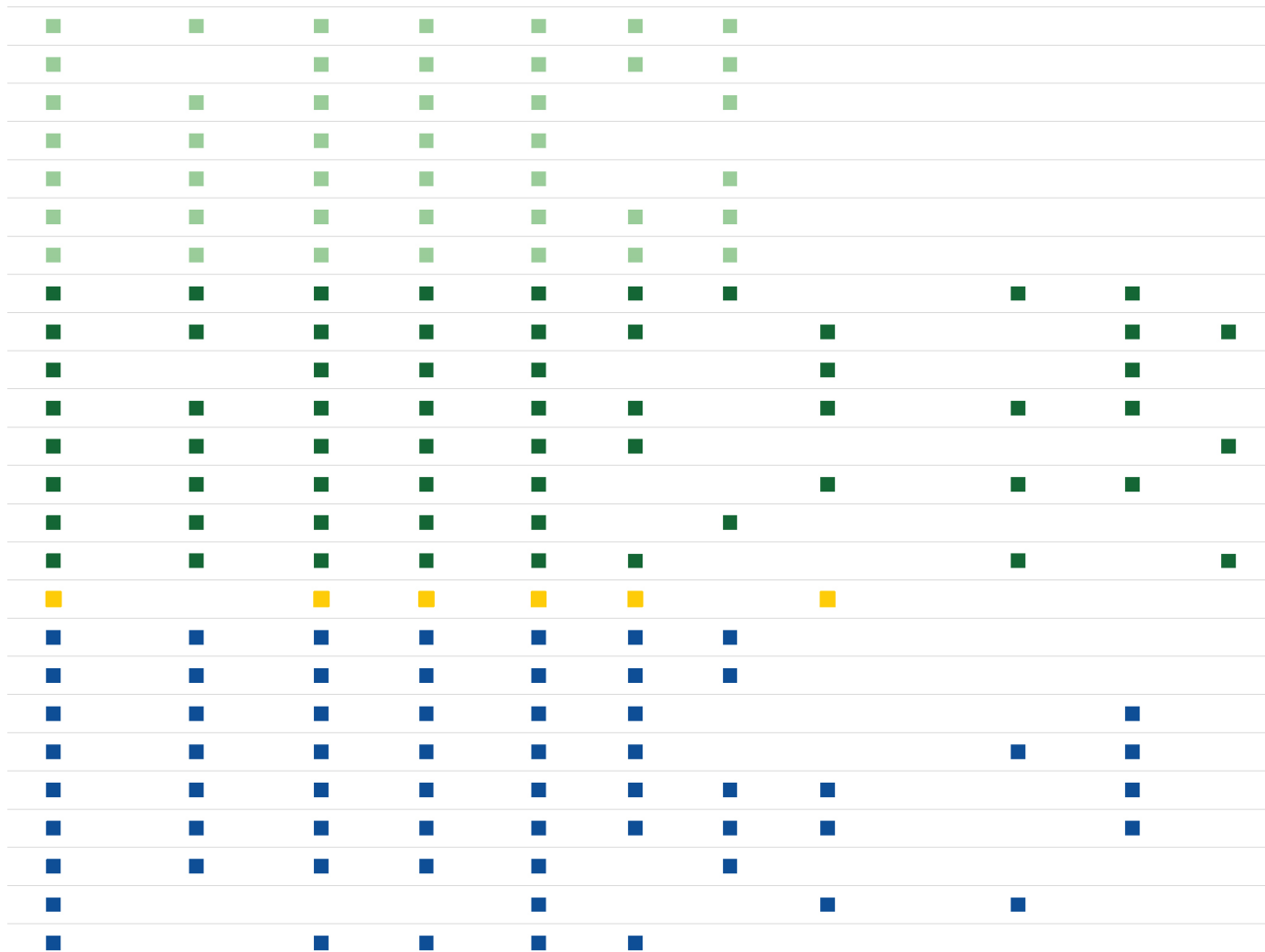
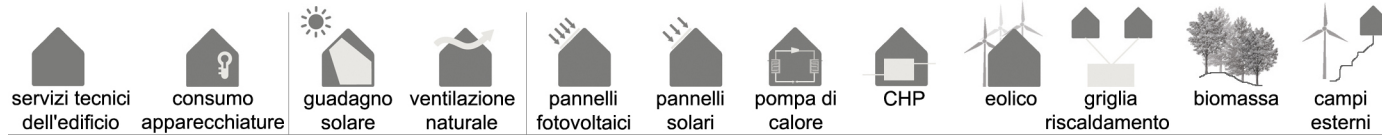


Tabella 4.1: Casi studio individuati analizzati secondo le strategie progettuali adottate;

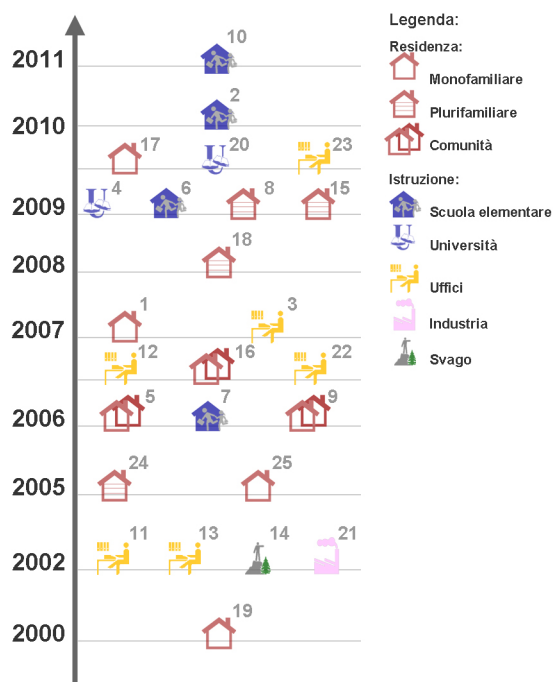


Figura 4.2: Casi studio individuati suddivisi secondo l'anno di costruzione e secondo la tipologia edilizia;

ti che ne determinano l'efficienza energetica per un guadagno passivo, ottenuto attraverso l'orientamento della pianta, un volume compatto, l'illuminazione e la ventilazione naturale;

Soluzioni tecnico-costruttive: l'intervento viene presentato analizzando gli aspetti che ne determinano l'efficienza energetica, raggiunta prima dell'installazione di impianti; viene analizzata la composizione dell'involucro e delle superfici trasparenti;

Impianti: questa sezione l'intervento viene presentato attraverso una breve descrizione dei sistemi utilizzati per il raggiungimento dell'efficienza energetica quali la ventilazione meccanica degli ambienti con recuperatore di calore o apparecchiature elettriche efficienti;

Sistemi di produzione dell'energia: nella sezione vengono analizzati gli aspetti impiantistici che caratterizzano l'edificio, in particolare i sistemi attivi che l'intervento utilizza per sopperire al fabbisogno termico ed energetico;

Bilancio Energetico: vengono effettuate considerazioni sui dati di consumo e produzione raccolti durante i periodi di monitoraggio e ve-

rificato se effettivamente l'edificio risulta raggiungere un bilancio complessivo pari a zero, così come dichiarato;

Monitoraggio: la sezione propone delle soluzioni da apportare all'edificio analizzato, nel caso in cui questo non dimostri di aver raggiunto il livello di bilancio nel tempo di monitoraggio analizzato.

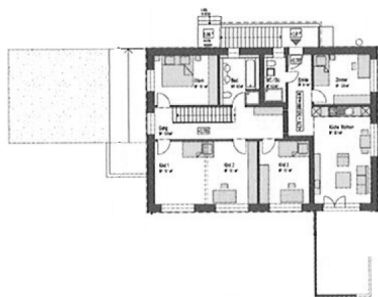


Figura 4.4: Pianta piano primo, scala 1:500;
Fonte: AA.VV., 2009;

Principi d'architettura bioclimatica

L'edificio è molto compatto per diminuire la dispersione termica complessiva e presenta sul lato sud e sud-ovest notevoli finestrate per ottimizzare i guadagni solari facendo penetrare la luce del sole negli ambienti e il calore nella casa quando necessario. Il fronte contrasta con le soluzioni utilizzate per la superficie esposta a nord, che è invece molto chiusa con piccole finestrate. Per prevenire fenomeni di surriscaldamento estivo si è prevista la realizzazione di un pergolato su due delle finestre affaccianti sul giardino mentre le altre finestre sono state dotate di lamelle interne avvolgibili.

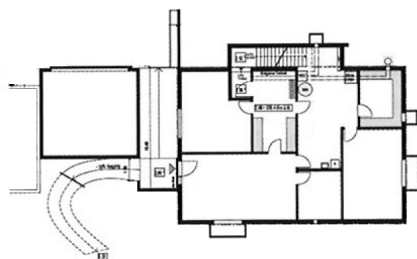


Figura 4.5: Pianta piano interrato, scala 1:500;
Fonte: AA.VV., 2009;

Soluzioni tecnico-costruttive

Si è cercato di dotare l'edificio di un involucro molto isolato con assenza di ponti termici per ridurre lo spreco energetico sia invernale che estivo.

Il rivestimento di facciata in pino bianco pre-patinato è applicato direttamente sulla struttura prefabbricata lignea e isolato con un sistema a cappotto di 38 cm di pannelli in lana di roccia. La scelta del legno come materiale da costruzione è data dalle caratteristiche del materiale e dal basso livello di emissioni di CO₂ che questo consente. Tre mesi dopo il completamento della casa, un test effettuato sull'inquinamento indoor, ha dimostrato che il tasso di formaldeide e di COV risultava essere del 50% inferiore rispetto al livello consentito dalla Federazione Svizzera.

I serramenti, triplo vetro con doppia intercapedine termoisolante caratterizzati da una trasmittanza termica 0.84 W/m²K, consentono alla luce di entrare negli ambienti, impediscono al calore interno di migrare verso l'esterno e proteggono l'ambiente interno da agenti atmosferici.

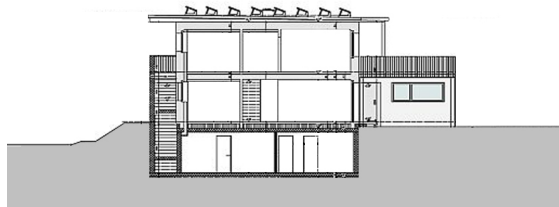


Figura 4.6: Sezione trasversale, scala 1:500;
Fonte: AA.VV., 2009;

Impianti

Il ricambio dell'aria esausta viene realizzato attraverso un sistema di ventilazione meccanica controllata che procura il necessario ricambio d'aria anche in assenza di persone. L'apparato di ventilazione è costituito da un sistema che prende l'aria dall'ambiente esterno, la filtra, per togliere le impurità, e la convoglia in apparecchiature che provvedono al suo riscaldamento immettendola poi nell'ambiente interno. L'aria viziata, ancora calda, passa attraverso un recuperatore di calore che è in grado recuperare il calore e cederlo all'aria in entrata.

Sistema di produzione dell'energia

Per conseguire l'obiettivo di un'elevata prestazione energetica, insieme con l'elevata efficienza dell'involucro edilizio, i progettisti hanno previsto l'installazione di impianti ad alta efficienza per rispondere al fabbisogno termico ed energetico degli occupanti.

L'impianto fotovoltaico, con una potenza pari a 14.4 kW_p, produce quasi il 50% in più dell'energia elettrica necessaria alla famiglia. Il surplus di circa 5000 kWh/a viene immesso nella rete di elettricità. I pannelli fotovoltaici occupano una superficie di 84 m², inclinati di 10°, sono installati sul tetto analogamente ai collettori solari, inclinati invece di 30°. I due sistemi sono difficilmente visibili da strada e non intaccano l'armonia architettonica dell'abitazione.

I collettori solari provvedono al 60% del fabbisogno di acqua calda sanitaria; il restante fabbisogno termico è coperto dalla pompa di calore salamoia-acqua con sonde geotermiche verticali. In inverno, l'aria esterna prelevata tramite un sistema di ventilazione viene riscaldata attraverso un tubo di polietilene che serve da scambiatore di calore con il terreno. In estate un sistema reversibile permette di utilizzare l'aria per raffrescare gli ambienti.

La pompa di calore viene utilizzata per fabbisogno termico dei pannelli radianti, in cui la temperatura dell'acqua viene monitorata da un sistema di regolazione.

Bilancio energetico

Il monitoraggio durante la fase di utilizzo della villa monofamiliare a Riehen ha dimostrato che l'edificio risulta necessitare più energia di quella calcolata durante le fasi di progettazione. L'impianto fotovoltaico è stato progettato se-

guendo orientamento e inclinazione ottimali per favorirne la produzione di elettricità in surplus da immettere nella rete per guadagnare crediti. Risulta che tra Aprile e Settembre venga prodotta una grande quantità di elettricità mentre il periodo invernale tra Novembre e Febbraio è caratterizzato da un forte deficit. Il bilancio annuale dell'edificio risulta comunque essere positivo. In un bilancio totale l'energia data dal sole risulta produrre il 30% in più del fabbisogno reale per la produzione di acqua

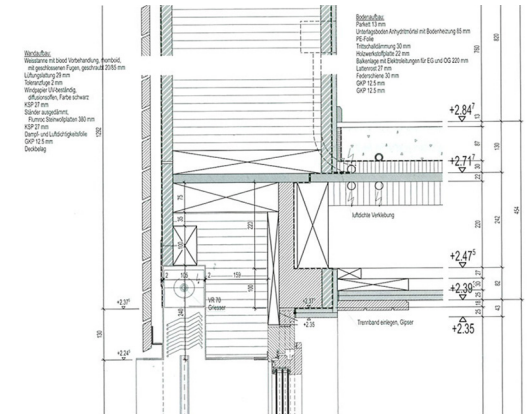


Figura 4.7: Dettaglio di composizione della facciata; Fonte: AA. VV., 2009;

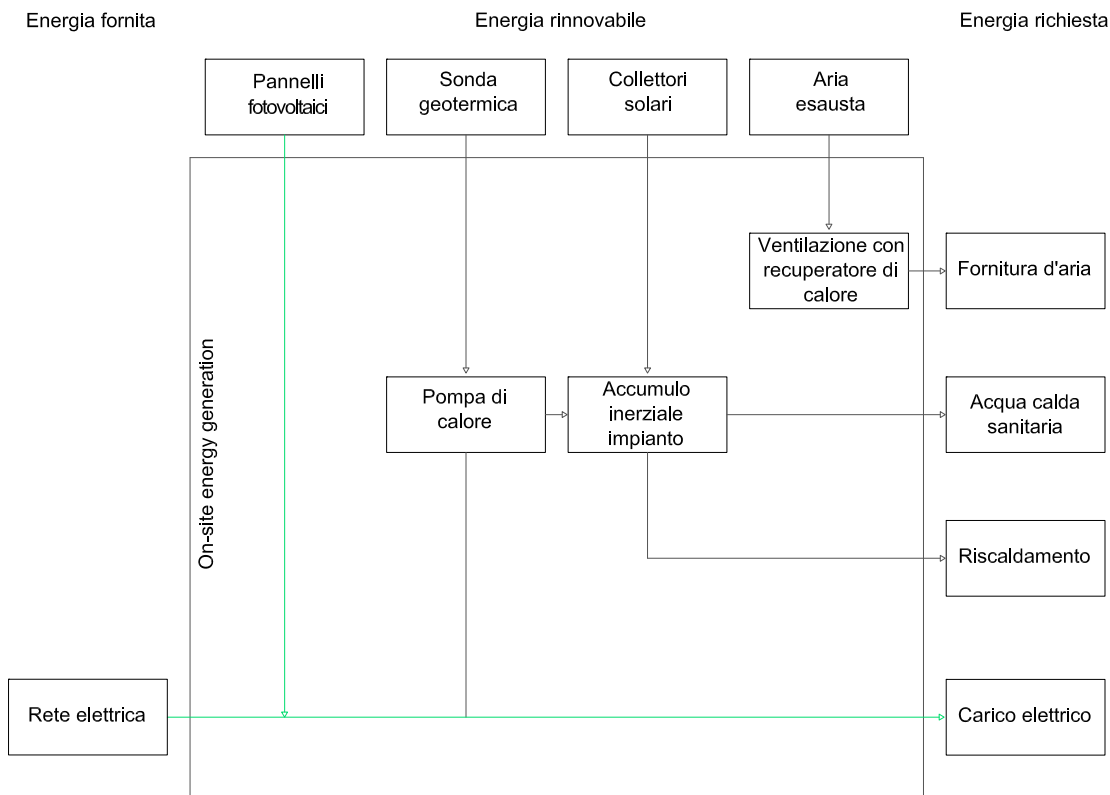


Figura 4.8: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;



Figura 4.9: Vista del prospetto sud-ovest; Fonte: www.setz-architektur.ch;

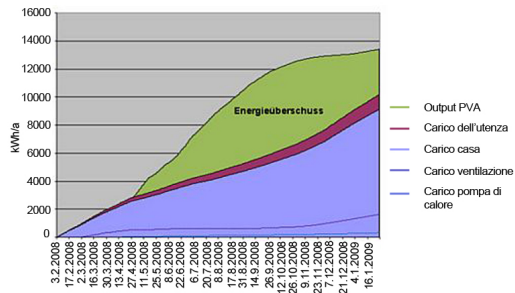
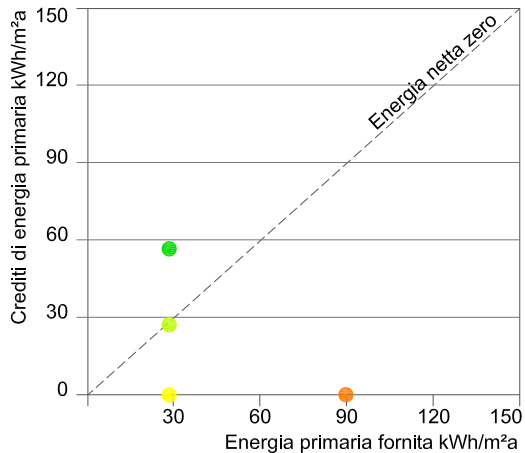


Figura 4.10: Schema del fabbisogno energetico dell'abitazione e produzione dai pannelli fotovoltaici; Fonte: AA. VV., 2009;



L'edificio risulta raggiungere i livelli di NZEB:

- Energia primaria consumata annualmente, inclusa l'energia utilizzata dagli occupanti (87 kWh/m²a)
- Energia primaria generata (60 kWh/m²a)
- Compensazione stagionale sui consumi rimanenti
- Elettricità prodotta in eccesso ceduto agli edifici confinanti (28 kWh/m²a)

Figura 4.12: Valutazione energetica in kWh/m²a; Fonte: K. Voss, 2011;

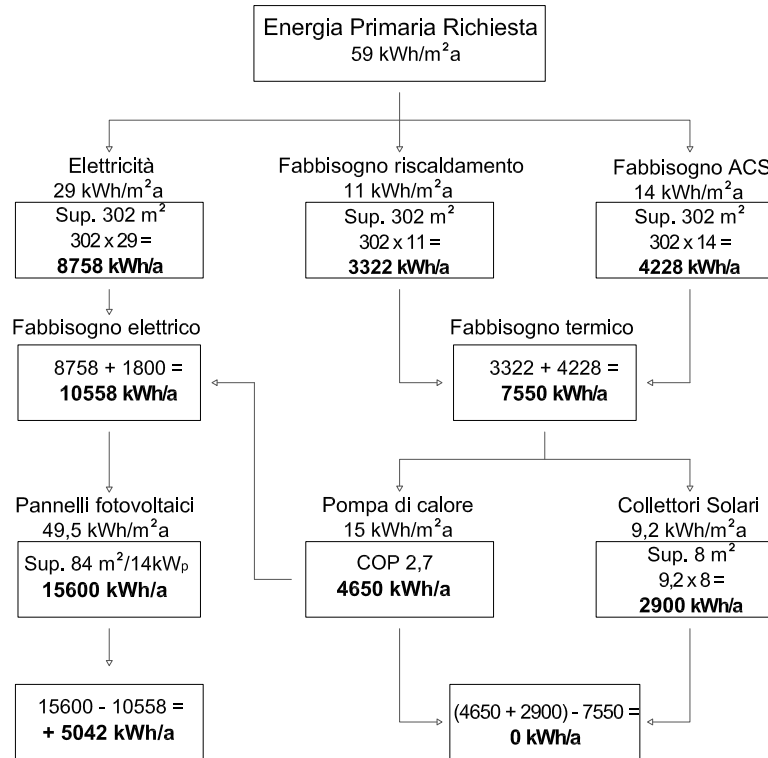


Figura 4.11: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;

calda sanitaria, riscaldamento, ventilazione e funzionamento di illuminazione ed elettrodomestici. I pannelli fotovoltaici sono direttamente connessi alla rete.

Durante il periodo estivo, tra Aprile e Settembre, la maggior parte del fabbisogno di calore viene ricoperto dai collettori solare, la pompa di calore non entra solitamente in funzione.

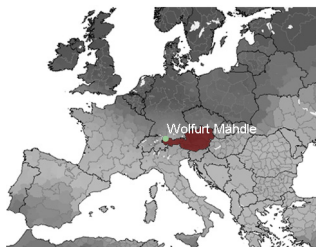
Nel complesso il bilancio positivo dell'edificio compensa parzialmente l'energia immagazzinata dall'edificio durante l'intero ciclo di vita; rimane comunque non sufficiente per compen-

sare la totale energia immagazzinata.

4.2

Caso studio 2: SCUOLA ELEMENTARE

Wolfurt Mähdle, A 2010



Progettista:
Architekt Gerhard Zweier
Consulente energetico:
Bauphysik Spektrum



Dati di progetto

Superficie Netta di Pavimento, SNP	1840 m ²
Superficie Lorda di Pavimento, SLP	3096 m ²
Volume	15006 m ³
Numero totale degli occupanti	180
Sito	Wolfurt Mähdle
Radiazione annuale globale	1090 kWh/m ² a
Temperatura media annuale	8.9 °C
Contesto	Rurale
Caratteristiche dell'involucro	W/m ² k
U, muri esterni	0.13
U, finestre (con telaio)	0.85
U, copertura	0.12
U, solaio inferiore	0.95

Sistema di produzione energetica

Area collettori solari	80 m ²
Volume serbatoio termico	6000 l
Area pannelli fotovoltaici	188 m ²
Capacità	26 kW _p
Rete di infrastrutture e fonti d'energia	
Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica
Fonti di energia	elettricità
Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica
Fonti di energia re-immessa	elettricità

Strategie progettuali

Geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, ventilazione naturale, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, accumulo passivo di calore negli elementi costruttivi, materiali ecologici, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, principi di domotica, sensori di presenza, apparecchiature energeticamente efficienti, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, collettori solari, pompa di calore, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

Dopo 35 anni di esercizio la città di Wolfurt ha deciso di rinnovare l'edificio scolastico della suola elementare. I concetti base per la ristrutturazione sono stati discussi con le insegnanti;

si è cercato di sviluppare un edificio aperto e flessibile in grado di supportare i concetti moderni per l'educazione in gruppo o individuale. Chiudendo lo spazio tra la palestra e l'edificio principale ed espandendo il fabbricato di 4 m è stato possibile ottenere un edificio compatto con rapporto S/V di 0.36 m⁻¹. Esternamente l'edificio appare sobrio e ben organizzato. L'organizzazione in pianta risulta seguire i principi dei due assi romani, il cardo e il decumano. Il corridoio di distribuzione, disposto perpendicolarmente al lato principale dell'edificio, permette l'accesso alle classi e contiene i sistemi di risalita. Questo viene intercettato da un secondo corridoio che consente la distribuzione alla palestra, al guardaroba e altri ambienti. Guardando la sezione longitudinale dell'edifi-



Figura 4.13: Vista da nord-est; Fonte: J. Schoop, 2011;



Figura 4.14: Pianta piano terra;
Fonte: www.architektur-online.com

cio è possibile distinguere chiaramente i due volumi principali della palestra da ginnastica e il corpo fabbrica scolastico, collegati tra loro un corpo comprendente funzioni collettive, quali la sala dell'assemblea e dei macchinari.

Principi d'architettura bioclimatica

L'edificio segue un orientamento secondo l'asse nord-sud. I fronti principali con le aule sono rivolti ad est e ad ovest. Le aule vengono illuminate tramite l'impiego di finestre a nastro continue in modo tale da non creare zone d'ombra. Ad intervalli regolari le finestre di larghezza minore sono rese apribili per garantire la possibilità di ricircolo dell'aria naturale negli ambienti. L'apertura è a vasistas per diminuire al massimo le dispersioni di calore garantendo il rinnovo dell'aria viziata.

Considerando diversi requisiti, quali la temperatura esterna, la temperatura nelle classi, l'altezza del sole e le ore del giorno, i sistemi di ombreggiamento reagiscono alle condizioni regolati automaticamente. Le esigenze degli studenti e delle insegnanti non vengono sottovalutate, infatti i sistemi possono essere controllati anche manualmente.

La struttura edilizia possiede una grande massa accumulatrice termica che mantiene il calore in inverno e contribuisce a prevenire il surriscaldamento estivo.

Soluzioni tecnico-costruttive

La ristrutturazione della scuola elementare di Wolfurt Mähdle integra nel suo progetto un approccio finalizzato a fornire condizioni di studio eccellenti seguendo principi di qualità dello

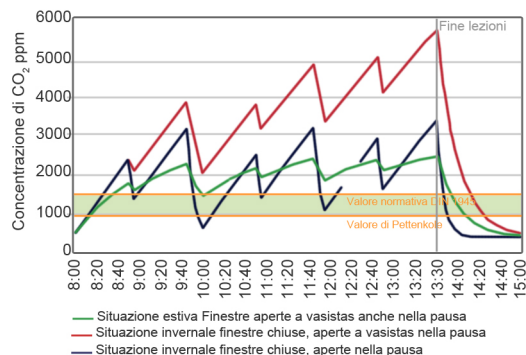


Figura 4.15: Andamento nel tempo della concentrazione di CO₂; Fonte: www.e-plus.at;

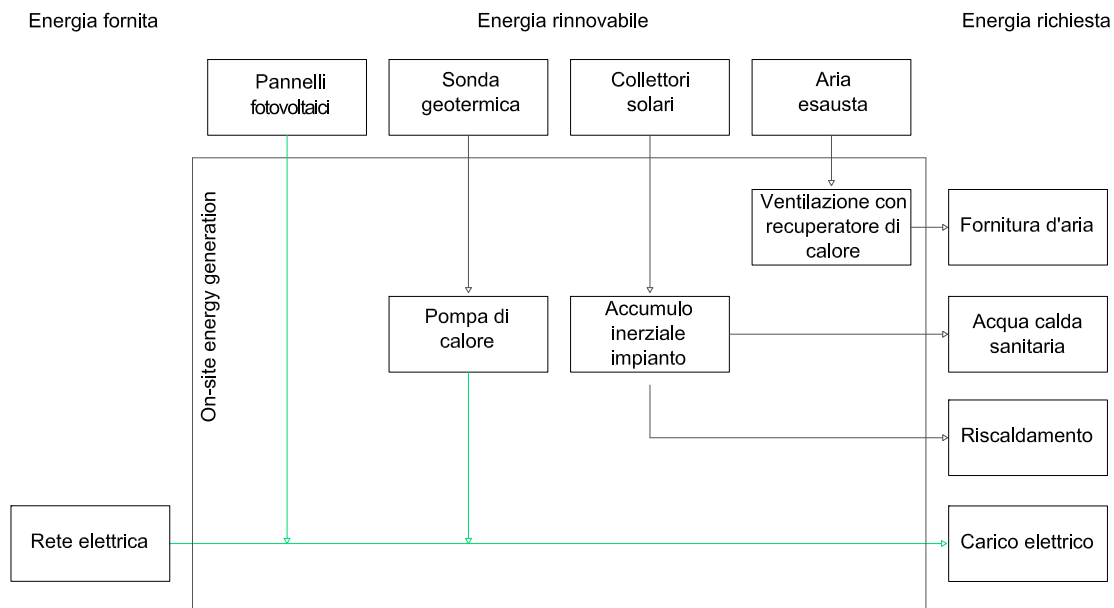


Figura 4.16: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011

spazio, qualità dell'aria, termica e visiva.

I materiali da costruzioni scelti sono per la maggior parte naturale e selezionati secondo principi ecologici. La facciata è caratterizzata da un doppio rivestimento ligneo. La parete è appoggiata direttamente alla facciata già esistente di 25 cm in calcestruzzo e viene supportata da una struttura in legno con uno strato di isolamento di 30 cm in lana di roccia. L'involucro così ottenuto raggiunge un valore di trasmittanza termica di 0.12 W/m²K. Il tetto esistente, composto da 18 cm di cemento armato e 14 cm d'isolamento, è stato integrato con uno strato di 16 cm d'isolamento costituito di polistirene espanso, raggiungendo così una trasmittanza termica U di 0.13 W/m²K.

Impianti

Nell'edificio è installato un sistema di illuminazione artificiale regolato in funzione alla presenza delle persone e in relazione alla profondità degli ambienti. Il concetto prevede l'uso combinato di lampade LED e di sistemi d'illuminazione convenzionali.

Un sistema di ventilazione decentralizzato provvede all'immissione di aria fresca attraverso la facciata nelle classi. Il ricambio d'aria avviene con una media di 0,45 h⁻¹ mentre il consumo specifico risulta inferiore a 0.38 Wh/m³. Anche il sistema di ventilazione viene controllato attraverso dei sensori di presenza.

Per aumentare l'efficienza energetica, tutte le apparecchiature, ventilatori, pompe ed equipaggiamenti installati sono energeticamente efficienti.

Vengono utilizzate anche tecniche per l'accumulo di acqua piovana.

Sistema di produzione dell'energia

L'energia primaria calcolata per l'illuminazione, ventilazione, riscaldamento, acqua calda

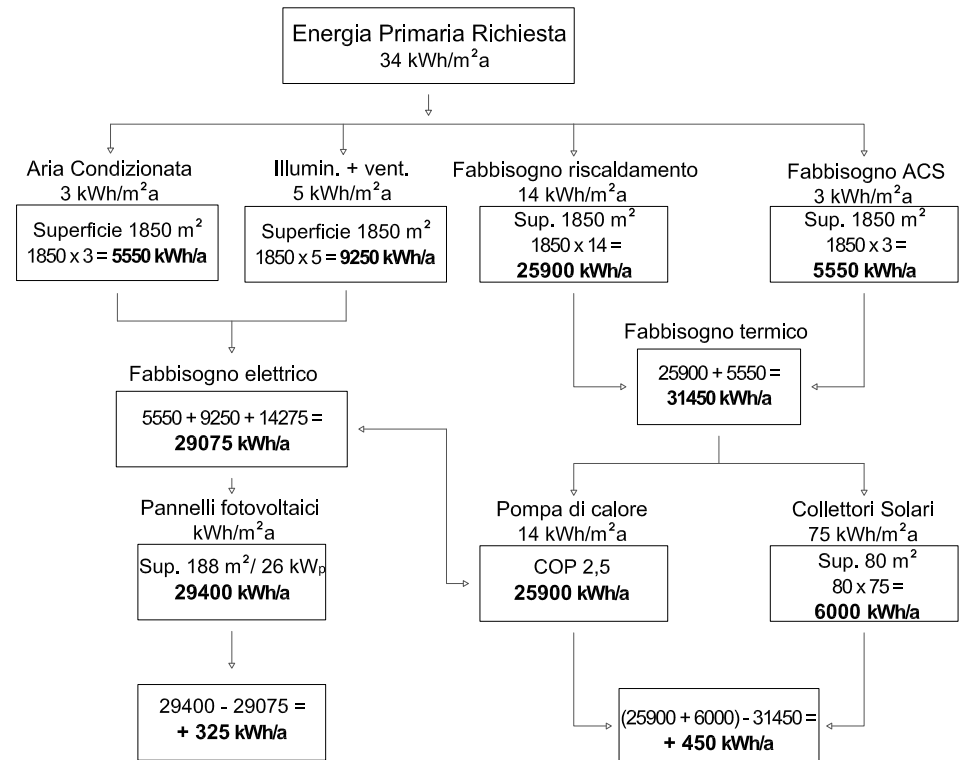
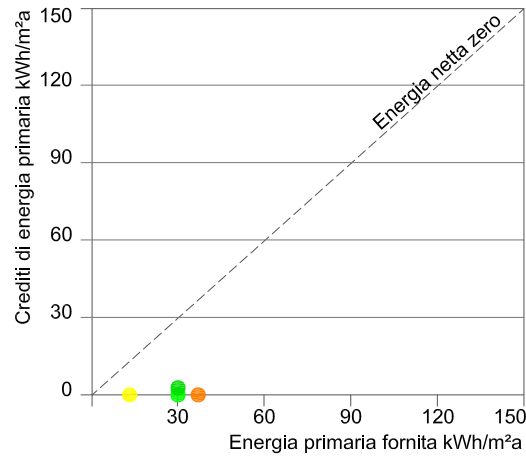


Figura 4.17: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;



Figura 4.18: Particolare delle finestre delle aule esposte verso sud; Fonte: www.architektur-online.com;



I livelli di NZEB non sono stati raggiunti il primo anno di monitoraggio. L'impianto solare è stato disegnato per coprire i fabbisogni dell'edificio. L'obiettivo è stato mancato per l'aumento di calore per asciugare l'edificio, comportamenti sbagliati degli occupanti, pompe non isolate per il riscaldamento e collettori solari coperti da un grande albero.

- Energia primaria consumata annualmente (34 kWh/m²a)
- Consumo di energia primaria specifica dell'edificio (10 kWh/m²a)
- Consumo dell'energia primaria dopo la copertura stagionale (25 kWh/m²a)
- Elettricità rimanente (4 kWh/m²a)

Figura 4.19: Valutazione energetica in kWh/m²a; Fonte: K. Voss, 2011

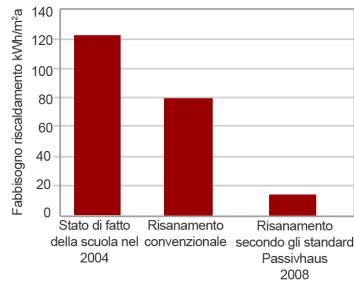


Figura 4.20: Fabbisogno energetico di riscaldamento prima e dopo la fase di restauro; Fonte: www.e-plus.at;

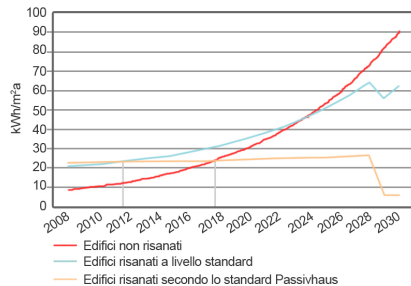


Figura 4.21: Grafico ammortamento dell'investimento di un intervento di restauro secondo lo standard Passivhaus; Fonte: www.e-plus.at;

sanitaria ed altre applicazioni è di 34 kWh/m²a. L'impianto di collettori solari, che occupa una superficie di 80 m², integrato nella facciata orientata a sud dell'edificio, alimenta un serbatoio di accumulo di 6000 l. Con un elevato isolamento termico, le perdite di calore sono minimizzate, e viene utilizzato un solo serbatoio per coprire il fabbisogno dell'edificio. La maggior parte del fabbisogno per il riscaldamento viene coperto da una pompa di calore con una potenza di 56 kW_{th}. Le sonde geotermiche sono collocate a 18 metri di profondità, e vengono utilizzate sia dalla scuola elementare sia dalla caserma dei pompieri confinante. Entrambi gli edifici possiedono poi due sistemi separati di pompe di calore.

Il fabbisogno elettrico viene invece soddisfatto dalla superficie di 188 m² dei pannelli fotovoltaici. I pannelli hanno una potenza di 26 kW_p e riescono a produrre l'energia necessaria per soddisfare sia il fabbisogno dell'edificio scolastico, sia della caserma dei pompieri confinante.

Bilancio energetico

L'impianto fotovoltaico, collocato sul tetto, riesce a coprire il fabbisogno elettrico dell'edificio che ammonta all'incirca a 29075 kWh/a.

I collettori solari hanno una produzione annua di 6000 kWh con cui riescono a coprire il 23% del fabbisogno di acqua calda sanitaria.

L'impianto fotovoltaico è progettato per coprire il fabbisogno di energia di due edifici, la scuola e la caserma dei pompieri, per la domanda di riscaldamento, ventilazione e acqua calda nel bilancio annuale.

4.3

Caso studio 3: SEDE GENERALE MARCHE'

Kempththal, CH 2007



Progettista:
Beat Kämpfen für architektur
Consulente energetico:
neaf energietechnik



Dati di progetto

Superficie Netta di Pavimento, SNP	1267 m ²
Superficie Lorda di Pavimento, SLP	1550 m ²
Volume	5757 m ³
Numero totale degli occupanti	50
Sito	Kempththal
Radiazione annuale globale	1120 kWh/m ² a
Temperatura media annuale	8.9 °C
Contesto	Rurale
Caratteristiche dell'involucro	W/m ² k
U, muri esterni	0.11
U, finestre (con telaio)	0.48 – 0.73
U, copertura	0.10
U, solaio inferiore	0.24

Sistema di produzione energetica

Area pannelli fotovoltaici	480 m ²
Capacità	45 kW _p
Volume serbatoio termico	500 l
Rete di infrastrutture e fonti d'energia	
Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica
Fonti di energia	elettricità
Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica
Fonti di energia re-immessa	elettricità

Strategie progettuali

Standard energetico MINERGIE-P-ECO, geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, distribuzione flessibile, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, accumulo passivo di calore negli elementi costruttivi, materiali ecologici, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, apparecchiature energeticamente efficienti, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, collettori solari, pompa di calore geotermica, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

L'edificio in linea, costruito per ospitare gli uffici della catena di ristoranti Marché, è stato progettato per garantire qualità e comfort all'am-

biente di lavoro secondo i principi dell'etichetta MINERGIE-P-ECO.

I tempi di realizzazione sono stati brevi, dodici mesi, grazie alla scelta di una forma, di finiture, di una costruzione e installazioni tecniche, semplici, in linea con l'immagine chiara dell'azienda, con il basso budget disponibile e i limiti di tempo per la costruzione.

L'orientamento della pianta e l'aspetto sobrio della facciata risultano scollegati rispetto alle preesistenze nel contesto. L'edificio infatti è stato concepito per incontrare al massimo i principi per soddisfare la richiesta energetica senza considerare la realtà in cui è inserito.

Osservando la pianta si può notare la versatilità degli spazi; gli architetti hanno cercato di rispondere alla domanda di poter trasformare gli

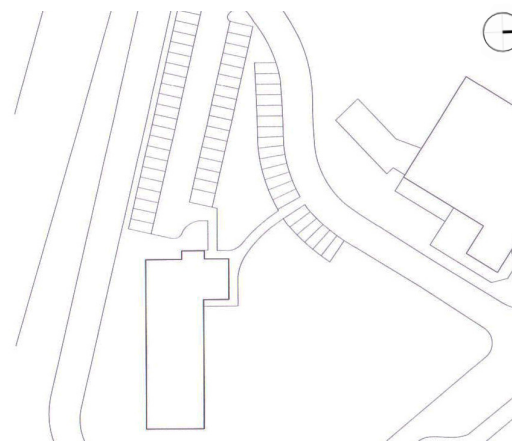


Figura 4.22: Planimetria generale; Fonte: Detail Green, 2009;



Figura 4.23: Pianta piano tipo; Fonte: Detail Green, 2009;

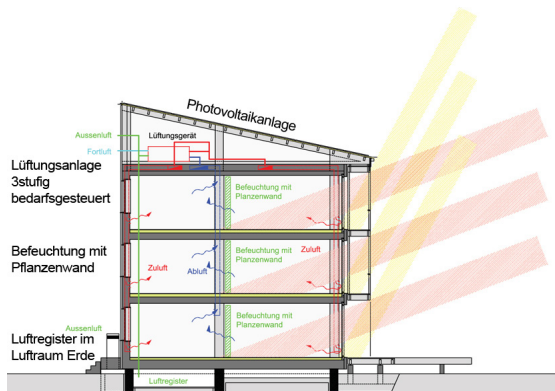


Figura 4.24: Schema della ventilazione naturale e meccanica e dei sistemi di ombreggiamento; Fonte: www.lika-media.ch;

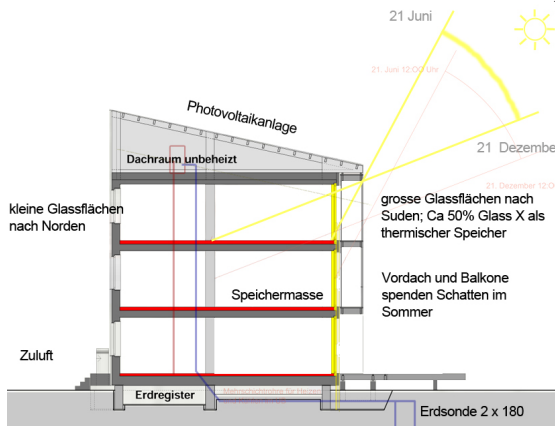


Figura 4.25: Schema funzionamento degli impianti e massa di accumulo; Fonte: www.lika-media.ch;

spazi in piccole sale flessibili, pur mantenendo, se richiesto, lo spazio visivamente il più dilatato possibile.

Principi d'architettura bioclimatica

I fronti maggiori sono rivolti a sud e a nord. Il prospetto rivolto a sud, molto aperto, contrasta con il fronte nord caratterizzato da piccole finestrate e i fronti est e ovest praticamente ciechi.

La facciata esposta a sud dell'edificio è dotata di vetri speciali in grado di restituire gradualmente calore, ottenuto dall'energia dei raggi solari, agli ambienti lavorativi antistanti. Gli elementi in PCM, *Phase Change Material*, non provvisti di tende per non ridurre l'acquisizione solare, sono intervallati a superfici trasparenti in triplo vetro dotate di tende ombreggianti per evitare surriscaldamento e l'infiltrazione dei raggi solari sugli schermi dei computer.

Le tende, di materiale trasparente per permettere la vista verso l'esterno, sono controllate da un sistema automatizzato per garantire una costante gradevole temperatura interna. L'ombreggiamento viene favorito anche dai balconi che si estendono per tutta la lunghezza della facciata con una profondità di 1,30 m.

Elemento caratteristico di ogni piano è la parete verde, un'idrocoltura verticale, che occupa una superficie di 12 m². Componente estetico e decorativo ma anche funzionale, la parete permette di regolare il clima ambientale interno. La vegetazione viene irrigata da una pompa; l'acqua in eccesso viene fornita all'ambiente sotto forma di umidità nell'aria, assorbita dalla struttura in legno e poi ceduta all'ambiente.

La ventilazione degli uffici viene così assicurata evitando l'apertura delle finestre, resa impossibile a causa dell'inquinamento sonoro proveniente dalla vicina autostrada.

Soluzioni tecnico-costruttive

L'efficienza energetica dell'edificio è dettata dai principi della certificazione MINERGIE-P-ECO: un design compatto dell'edificio, elevato isolamento termico, tripli vetri e minimizzazione dei ponti termici. L'edificio è caratterizzato da un involucro totalmente in legno ad alto isolamento termico reso accuratamente ermetico. Lo spessore delle pareti di 45 cm è formato da 32 cm di isolante termico verso sud e 34 cm per gli altri fronti e rivestito esternamente da tavole orizzontali di pino Douglas. Per evitare la trasmissione autistica le pareti lignee sono staccate dai due corpi scala in calcestruzzo gettato in opera.

Il 50% della superficie vetrata è composta da tripli vetri con telaio in legno e un coefficiente di trasmissione termica U di 0.73 W/m²K. Il resto delle finestre è invece composto dai vetri speciali in PCM con coefficiente di trasmissione termica U di 0.48 W/m²K. Queste superfici compensano l'accumulo termico non coperto dalla costruzione in legno; lo spesso di 15 mm ha una capacità di accumulo di 1185 Wh/m² per un cambiamento di fase di temperatura dai 26 ai 28°C.

Impianti

E' stato previsto anche un impianto di ventilazione dotato di recuperatore di calore con fattore 91%, combinato con uno scambiatore di calore terra-aria in grado di minimizzare le perdite di calore e la richiesta di riscaldamento calcolata di 9,3 kWh/m²a. L'aria fresca viene aspirata e regolata nella temperatura, attraverso un'apertura collocata di fronte al vano delle scale di emergenza. Attraverso un condotto in calcestruzzo che attraversa longitudinalmente la costruzione l'aria viene inviata alla centrale tecnologica. Raggiunge poi gli uffici, all'altezza del pavimento, attraverso canali di mandata in-

tegrati nella facciata nord e nella fila meridionale di pilastri. L'aria viziata viene poi recuperata dai pilastri, collocati al centro dell'edificio, ed espulsa dal volume di ingresso.

Sistema di produzione dell'energia

La facciata esposta a sud raccoglie l'energia termica mentre il compito di generare corrente è affidato al tetto inclinato verso sud di 12° , ricoperto da cellule fotovoltaiche a film sottile. I moduli, color antracite, occupano una superficie di 480 m^2 e hanno permesso, data la loro estensione, di fare a meno del rivestimento di tegole o lamiera. Gli architetti hanno saputo integrare molto bene il sistema fotovoltaico alla costruzione ottenendo un grado molto elevato di qualità formale. Grazie all'accurato sistema

la lastra di tetto luccicante risulta al di fuori della portata dello sguardo.

La potenza installata dell'impianto è di $44,6 \text{ kW}_p$ e permette di ricoprire il fabbisogno elettrico dell'edificio e di produrre un surplus da immettere nella rete.

Il fabbisogno termico dell'edificio viene coperto da una pompa di calore con due sonde geotermiche di diametro 40 mm che arrivano ad una profondità di 180 m e con una capacità di $18,3 \text{ kW}_{th}$. Viene così ricoperto il fabbisogno di acqua calda sanitaria, riscaldamento per gli asciugamani e i pannelli radianti. Il sistema può essere utilizzato anche per raffrescare, grazie al raffreddamento libero che sfrutta la differenza di temperatura tra il suolo e l'aria per raffrescare l'ambiente esterno, senza l'ausilio di



Figura 4.26: Interno dell'edificio a pianta libera; Fonte: AA.VV., Schweizer Solarpreis, 2007;

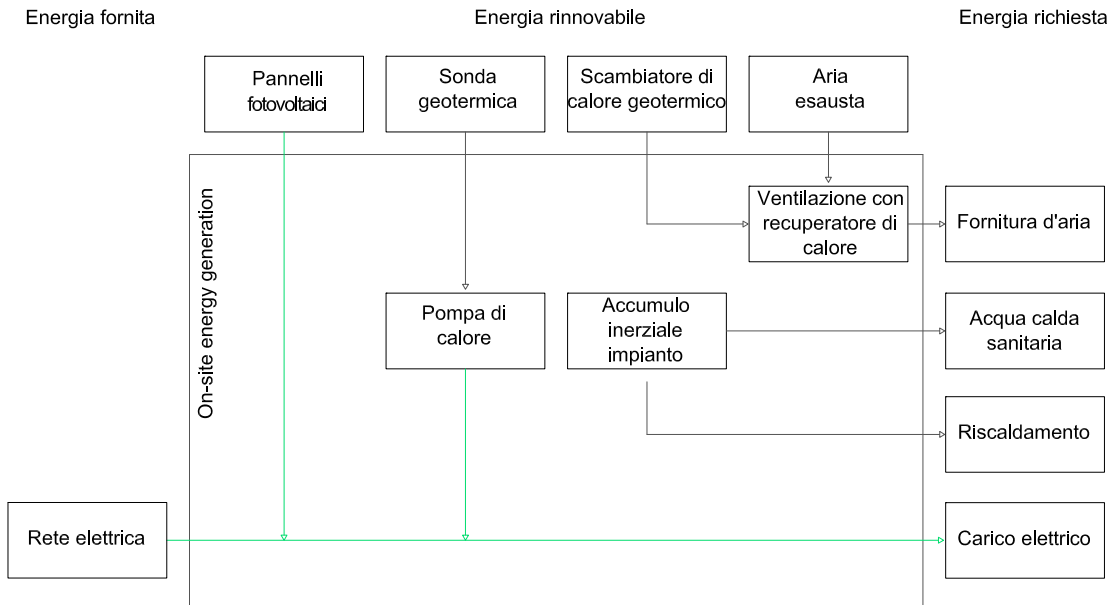


Figura 4.27: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;

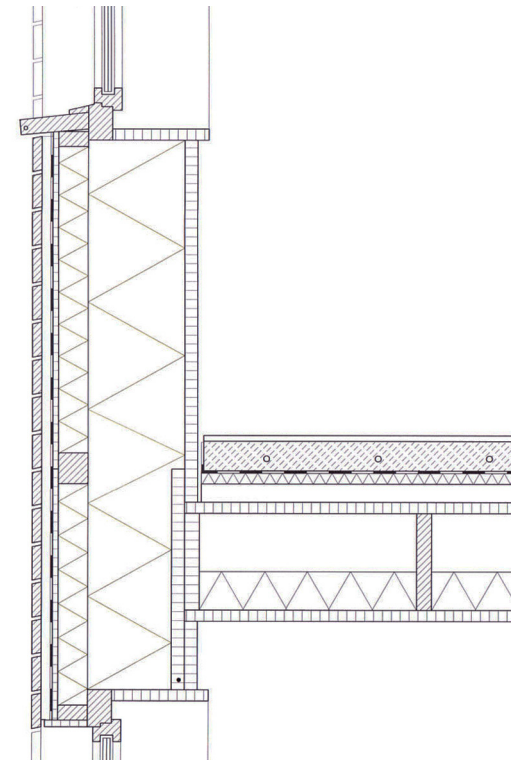


Figura 4.28: Dettaglio della giunzione tra la soletta e la facciata, scala 1:25; Fonte: Detail Green, 2009;

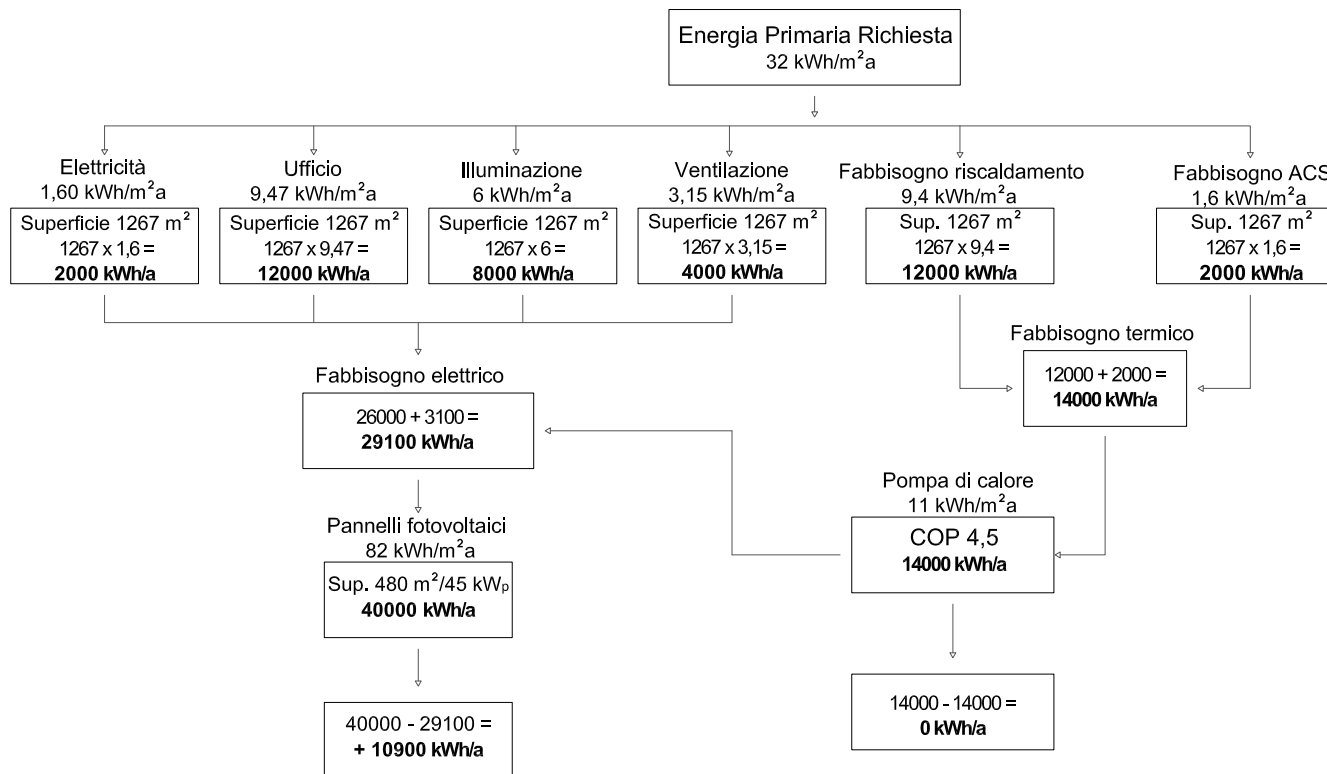


Figura 4.29: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;

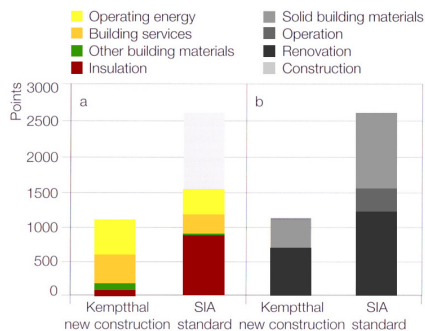


Figura 4.30: Grafico ammortamento dell'investimento di un intervento di restauro secondo lo standard Passivhaus;
Fonte: www.energieagenda.ch;

pompe o ventilatori.

Bilancio energetico

L'impianto fotovoltaico è stato dimensionato per coprire il fabbisogno di elettricità necessario al funzionamento di tutte le apparecchiature: pompa di calore, illuminazione, computer, sistema di ventilazione. Dati gli elevati costi delle tecnologie rinnovabili, pompa di calore e fotovoltaico, questi sono stati sostenuti non dal committente ma dalla compagnia elettrica di Zurigo, EKZ. L'elettricità solare prodotta viene gestita dalla EKZ e viene immessa direttamente

nella rete pubblica. La Marché si trova così costretta a dover ricomprare un quarto dell'energia dalla rete a prezzo di mercato. Il bilancio annuale in questo modo non viene raggiunto, perché questo 25% acquistato, risulta essere sufficiente a bilanciare solo il 25% dell'energia primaria richiesta per il funzionamento dell'edificio. (K. Voss, 2011).

Ai fini di ottenere una diminuzione dell'inquinamento ambientale e dei consumi energetici è stata condotta un'analisi sull'intero ciclo di vita dell'edificio. L'analisi prende in esame i materiali utilizzati per la realizzazione del fabbricato e l'energia richiesta durante la fase di utilizzo

presupposta in un arco di tempo di 50 anni, la demolizione e lo smaltimento.

Mentre la realizzazione dell'edificio porta ad una riduzione di circa il 50% dell'inquinamento ambientale, i valori relativi alla manutenzione, causa riparazioni del legno e dei pannelli fotovoltaici, risultano molto alti quindi negativi.

I dati raccolti indicano nel complesso che il totale dell'energia primaria consumata possono essere ridotti del 60% nell'arco di tempo di 50 anni.

I costi di costruzioni, includendo anche l'impianto solare e le spese di progettazione, sono stati gli stessi di un edificio industriale convenzionale: circa 625 CHF/m³.

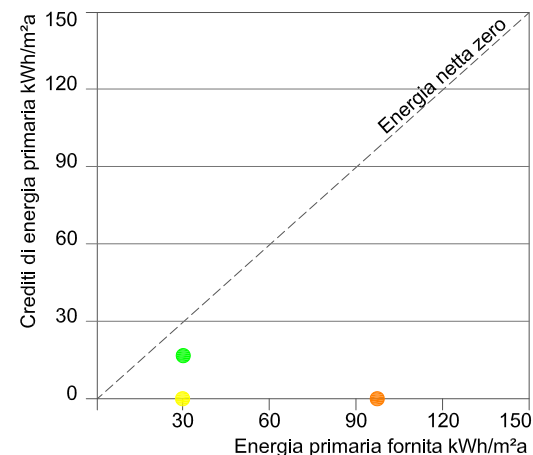
Proiezioni future

L'obiettivo di raggiungimento di un bilancio pari a zero non è stato raggiunto né nel 2008 né nel 2009. I dipendenti hanno potuto godere di spazi molto flessibili dove le proprietà acustiche hanno permesso creare ambienti di alta qualità. La luce filtrata dalle finestre è risultata idonea a svolgere un corretto lavoro con i monitor del computer, e anche la facciata ha svolto un adeguato compito di regolazione della temperatura interna. I dati monitorati hanno

mostrato un aumento del consumo di energia primaria di 7/10 kWh/m²a. Una continuità dell'alimentazione, non prevista, ha causato un aumento dei consumi dei sistemi di servizio dell'edificio. L'uso frequente di stampanti, macchine fotocopiatrici, macchine del caffè e lavastoviglie, insieme con il maggiore periodo di accensione delle luci, regolate manualmente e non con l'ausilio di monitor e sensori, hanno causato un aumento dei consumi.

I pannelli fotovoltaici, dimensionati per produrre una quantità di elettricità di 40000 kWh, hanno effettivamente dimostrato di produrre nel 2008 la stessa quantità, nel 2009 50000 kWh.

Una delle soluzioni possibili potrebbe essere la sostituzione delle cellule monocristalline con celle più efficienti che possano garantire un maggiore rendimento annuale.



Tra il 2008 e il 2009 il quartiere generale di Kempththal non ha raggiunto il bilancio netto di energia zero.

- Energia primaria consumata annualmente (97 kWh/m²a)
- Consumo, trattenuto mensilmente dalla produzione on-site (31 kWh/m²a)
- Consumo rimanente dalla copertura stagionale insufficiente (15 kWh/m²a)

I calcoli indicano una carenza di copertura delle esigenze annuali di 16 kWh/m²a. Il funzionamento del sistema fotovoltaico, l'energia fornita dalla rete di Zurigo, non è inclusa.

Figura 4.31: Valutazione energetica in kWh/m²a; Fonte: K. Voss, 2011

4.4

Caso studio 4: ENER POS

Saint-Pierre, F 2009



Progettista:
Thierry Faessel-Bohe
Consulente energetico:
Dato non disponibile

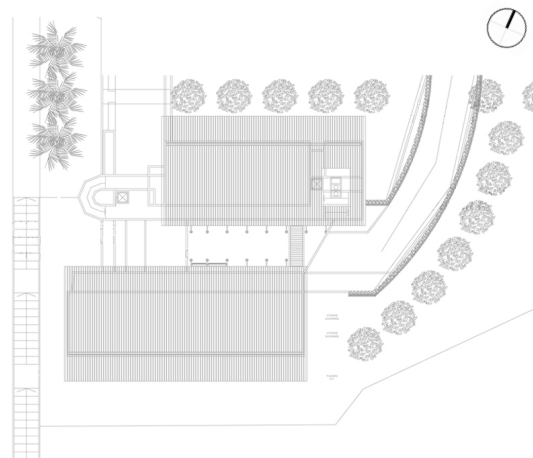


Dati di progetto

Superficie Netta di Pavimento, SNP	739 m ²
Superficie Lorda di Pavimento, SLP	1421 m ²
Volume	3847 m ³
Numero totale degli occupanti	170
Sito	Saint-Pierre
Radiazione annuale globale	1929kWh/m ² a
Temperatura media annuale	25 °C
Contesto	Suburbano
Caratteristiche dell'involucro	W/m ² k
U, muri esterni (ovest-est)	0.67
U, muri esterni (nord-sud)	3.30
U, finestre (con telaio)	6.00
U, copertura	0.43
U, solaio inferiore	0.26

Sistema di produzione energetica

Area pannelli fotovoltaici	370 m ²
Capacità	49 kW _p
Rete di infrastrutture e fonti d'energia	
Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica
Fonti di energia	elettricità
Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica
Fonti di energia re-immessa	elettricità



Strategie progettuali

Geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, patio centrale, ventilazione naturale, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, vegetazione, materiali ecologici, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, controllo dell'illuminazione artificiale con Led, principi di domotica, sensori di presenza e movimento, ventilatori, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

Il progetto Enerpos è stato sviluppato secondo l'obiettivo di sviluppare un edificio ad energia zero, in un ambiente climatico molto caldo e umido, attraverso l'utilizzo di soluzioni passive e di un programma di simulazione comporta-

mentale. Il progetto di ricerca è stato seguito dal 2005 da tre università francesi: la Reunion, LPBS, Chambéry, INES/LOCIE, e Toulouse, PHASE.

L'edificio universitario della Reunion, è collocato nel Campus di St Pierre a sud dell'isola. L'isola della Reunion in termini politici appartiene al governo francese ma è collocata 800 km ad est del Madagascar.

L'edificio è composto da due piccoli edifici paralleli chiamati rispettivamente edificio A, collocato a sud, ed edificio B, collocato a nord, organizzati intorno ad un patio centrale ricco di vegetazione.

Gli edifici comprendono: un laboratorio di ricerca al piano terra dell'edificio collocato a sud, cinque classi e due aule informatizzate. Delle

Figura 4.32: Planimetria generale; Fonte: Imageen, 2011;

passerelle coperte permettono il passaggio, al primo piano, da un edificio all'altro beneficiando della luce solare e portando ombra sulle altre finestre.

Principi d'architettura bioclimatica

Uno degli obiettivi da perseguire è la riduzione delle ore di utilizzo delle luci artificiali; il guadagno solare della luce diurna è possibile grazie a grandi superfici vetrate esposte a est e ovest, e in piccola parte anche a nord. Nell'emisfero sud la facciata esposta a nord è la più soggetta a fenomeni di surriscaldamento. L'estensione di 2,40 m del tetto e dei sistemi fissi di *brise soleil* permettono di fare filtrare la luce naturale ma allo stesso tempo di proteggere dai raggi solari evitando fenomeni di abbagliamento ed eccessiva penetrazione di calore nelle aule. Le facciate esposte ad ovest e ad est sono invece protette da lamelle in legno fisse e isolate con pannelli in lana di roccia di spessore 4 cm.

Le superfici vetrate comprendono il 30% della facciata e sono orientate verso nord e sud per sfruttare al massimo le brezze marine. Tutte le

aule sono dotate di un doppio faccio che assicura la ventilazione e il ricambio di aria naturale. Le finestre sono composte da lamelle vetrate apribili che fanno filtrare l'aria offrendo una maggiore sicurezza rispetto alle vetrate tradizionali.

Una fascia di tre metri di vegetazione locale abbraccia l'edificio per proteggere gli ambienti da un surriscaldamento eccessivo. Anche il parcheggio è stato collocato al di sotto dell'edificio per evitare fenomeni di "cementificazione" quindi eccessivo calore accumulato dall'asfalto, data l'elevato irraggiamento, e cessione all'edificio.

Soluzioni tecnico-costruttive

L'involucro edilizio è costituito da cemento armato per la maggior parte non isolato, data la minore differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno dell'edificio nel clima caldo e umido.

Impianti

Anche se resa al minimo l'illuminazione artificiale viene fornita da lampade a LED che con-

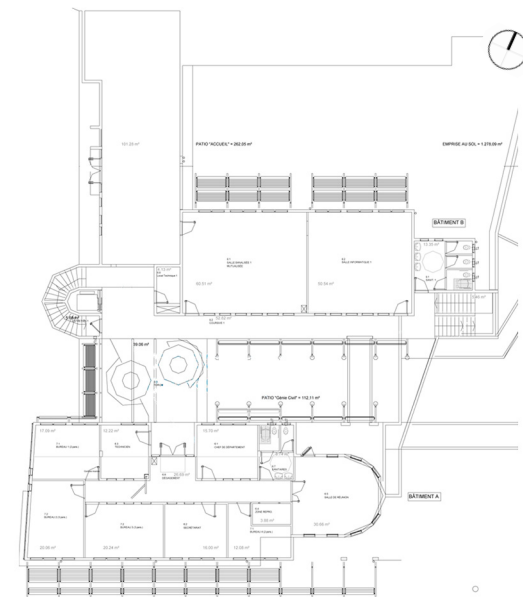


Figura 4.33: Pianta piano terra; Fonte: Imageen, 2011;

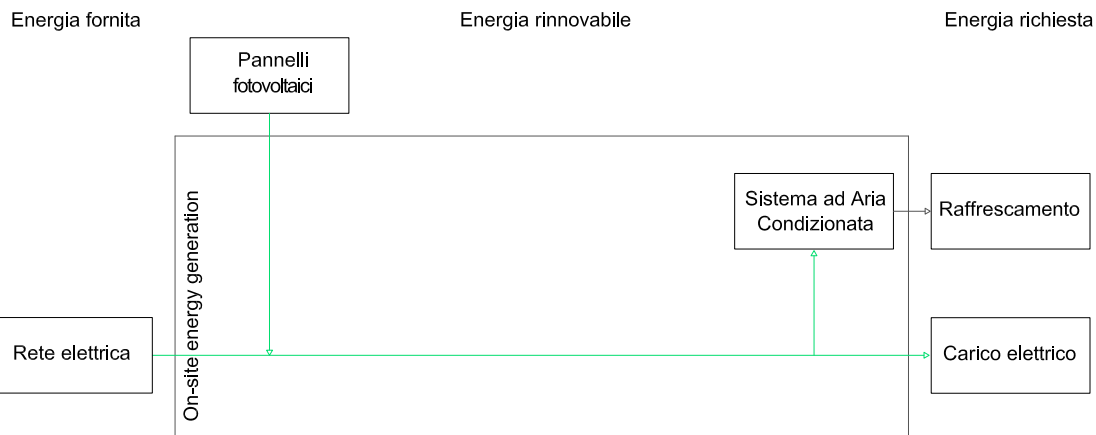


Figura 4.34: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;

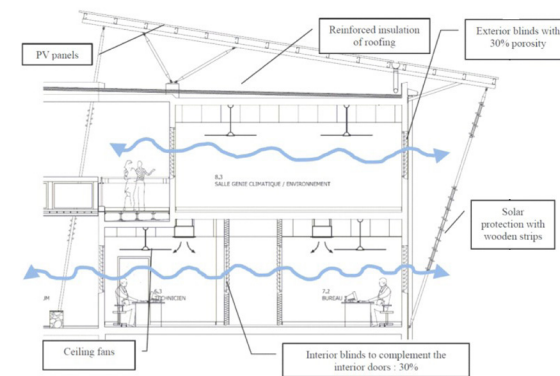


Figura 4.35: Sezione trasversale raffigurante i principi passivi dell'edificio Ener Pos; Fonte: M. Franco, et. al., 2012;

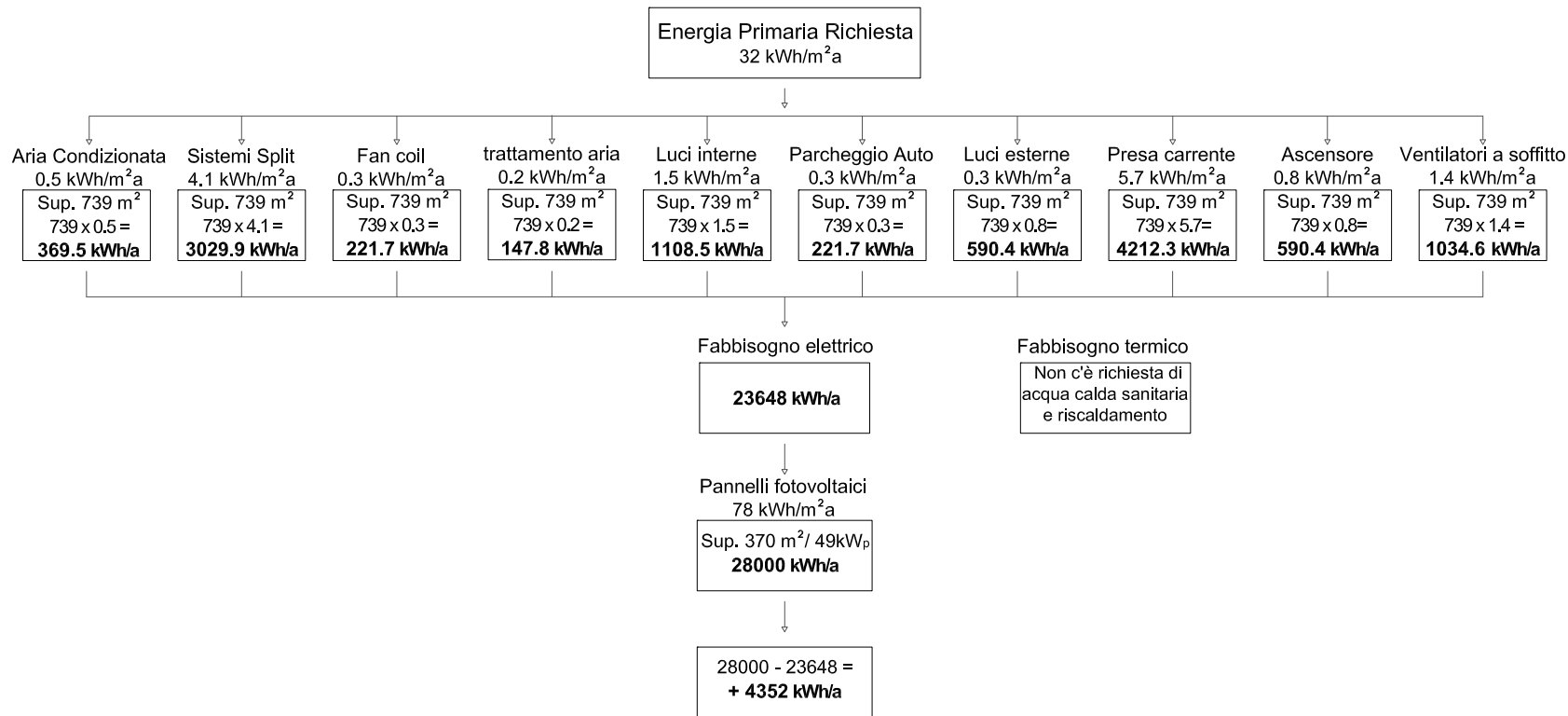


Figura 4.36: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;

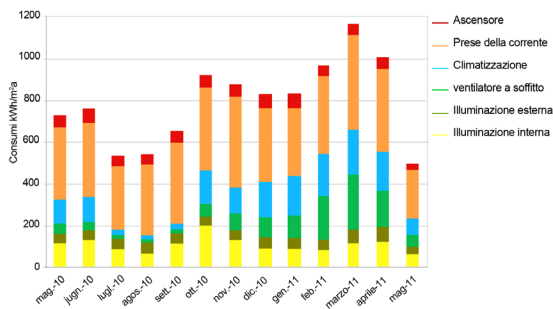


Figura 4.37: Grafico del consumo elettrico mensile delle varie voci di fabbisogno, valutato nel 2009; Fonte: Imageen, 2011;

suma solo 4,4 W/m² e forniscono agli ambienti 300 lux. Le luci vengono spente automaticamente da un sistema di controllo dopo la fine delle lezioni.

Gli uffici e le aule informatizzate sono invece dotate di un totale di cinquantacinque ventole che possono essere azionate manualmente, da utilizzare nei momenti di scarsità di vento. I sistemi di ventilazione, a gruppi di tre, servono un totale di 10 m³ e consumano 70 W.

Sistema di approvvigionamento dell'energia

Il fabbisogno energetico dell'edificio viene coperto dal sistema fotovoltaico installato sul tetto, inclinato di soli 9° data la elevata altezza del sole, per una superficie di 350 m² e con una potenza di 50 kW_p. I pannelli sono orientati per la maggior parte a nord, solo 8% sono orientati verso sud.

Nell'edificio è stato installato anche un sistema centrale d'aria condizionata per raffreddare e deumidificare le aule dei computer e gli uffici durante determinate ore del giorno, quando

non tira vento. Il sistema serve da supporto nel caso in cui la ventilazione naturale e le ventole non bastino per garantire adeguati livelli di comfort interno. E' stato progettato per operare sei settimane l'anno, tempo d'utilizzo piuttosto limitato se confrontato con campus universitari tipici, in cui il sistema viene utilizzato per nove mesi all'anno.

Bilancio energetico

La domanda di energia primaria monitorata durante i primi anni d'utilizzo dell'edificio risulta essere di 32 kWh/m²a, nettamente inferiore rispetto ad un normale edificio universitario, costruito nella zona, che richiederebbe all'incirca 70 kWh/m²a. Il sistema fotovoltaico è in grado di coprire il fabbisogno richiesto producendo in totale circa 78 kWh/m²a. L'elettricità consumata e l'elettricità prodotta possono equivalersi dato l'elevato apporto solare e la minima differenza di consumo tra le diverse stagioni e il maggiore utilizzo dell'edificio durante le ore diurne.

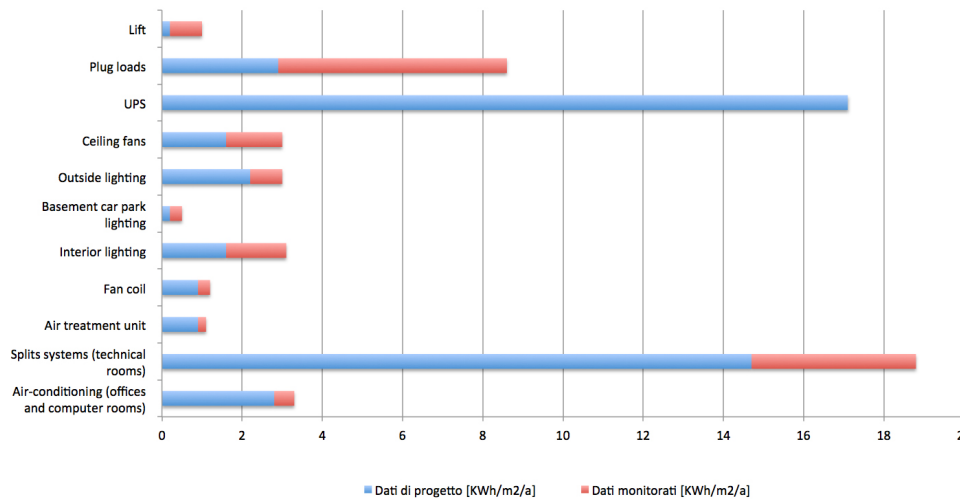


Figura 4.39: Grafico di confronto tra i dati di consumo elettrico valutati in fase di progettazione (blu) e i dati monitorati nel 2009/2010; Fonte: A. Lenoi, et.al., 2010;

L'edificio non necessita di riscaldamento e acqua calda sanitaria, anche se l'acqua calda prodotta per le docce non viene presa in considerazione.

Considerando quindi il bilancio a livello di energia primaria l'edificio può essere definito ad energia zero.

Monitoraggi

Il comportamento degli occupanti ha dimostrato di influenzare molto la quantità d'energia necessaria al funzionamento dell'edificio. L'edificio di Enerpos è stato monitorato per un periodo di oltre un anno ed è stato possibile confrontare i dati effettivamente registrati durante l'utilizzo con quelli calcolati tramite programmi di simulazione, durante la fase di progettazione.

Nel caso dell'edificio preso in esame i dati hanno dimostrato che durante la fase di progettazione le diverse voci di consumo sono state sovradimensionate rispetto al reale utilizzo, quindi anziché una domanda di energia prima-

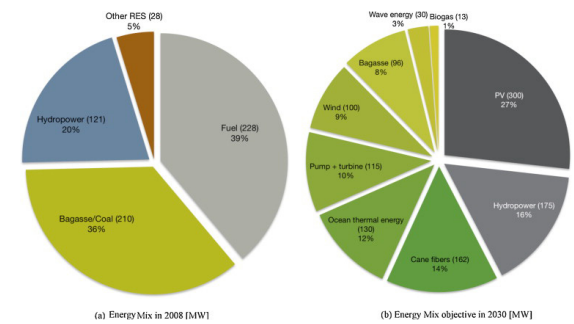


Figura 4.38: Consumi di risorse valutati nel 2008 e previsti per il 2030 nell'isola di St. Pierre; Fonte: Imageen, 2011;

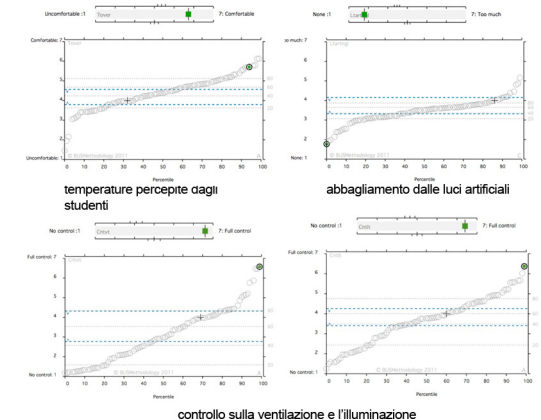
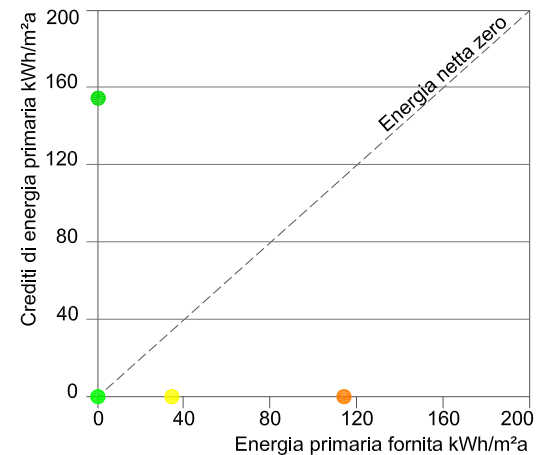


Figura 4.40: Percezione dell'utenza (1 = discomfort e 7 = comfort) in merito alla temperatura, l'abbagliamento, la ventilazione e l'illuminazione; Fonte: M. Franco, et. al., 2012;



Figura 4.41: Vista nord-est dell'edificio universitario Ener Pos; Fonte: Imageen, 2011;

ria di $45 \text{ kWh/m}^2\text{k}$ il campus universitario deve fare fronte ad una domanda di $32 \text{ kWh/m}^2\text{k}$. La differenza è causata ad esempio dal sovradimensionamento dell'impianto di ventilazione ed aria condizionata. La ventilazione naturale è risultata sufficiente per creare favorevoli situazioni di comfort interno agli ambienti; inoltre l'aria condizionata, pensata per raffrescare le zone degli uffici e dei computer, non viene utilizzata in quanto gli studenti, sensibilizzati dal punto di vista energetico, hanno preferito utilizzare i propri computer portatili, che utilizzati con meno frequenza scaldano meno. Il problema principale rimane quello di riuscire a produrre un modello sufficientemente valido per poter simulare, durante la fase di progettazione, un corretto comportamento termico e di consumo, per permettere di installare e dimensionare adeguati sistemi tecnici che rispecchino anche lo scenario comportamentale degli occupanti.



L'estensione dei pannelli fotovoltaici ricopre il consumo totale mensile; permette la produzione di un surplus molto ampio. Il consumo degli occupanti è un fattore importante, viene compensato considerando il bilancio annuale e l'assenza di riscaldamento negli spazi e la domanda di acqua calda.

- Energia primaria consumata annualmente ($106 \text{ kWh/m}^2\text{a}$)
- Consumo di energia primaria specifica dell'edificio ($36 \text{ kWh/m}^2\text{a}$)
- Compensazione stagionale del consumo totale ($106 \text{ kWh/m}^2\text{a}$)
- Elettricità ceduta alla rete ($154 \text{ kWh/m}^2\text{a}$)

Figura 4.42: Valutazione energetica in $\text{kWh/m}^2\text{a}$;
Fonte: K. Voss, 2011;

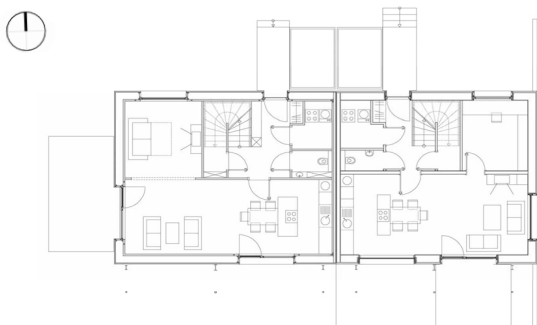


Figura 4.44: Pianta piano terra di due abitazioni confinanti; Fonte: www.erwin-kaltenegger.at

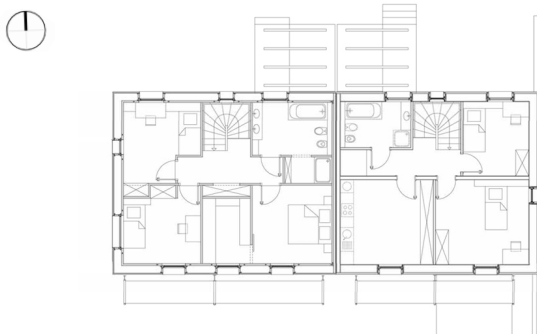


Figura 4.45: Pianta piano primo di due abitazioni confinanti; Fonte: www.erwin-kaltenegger.at

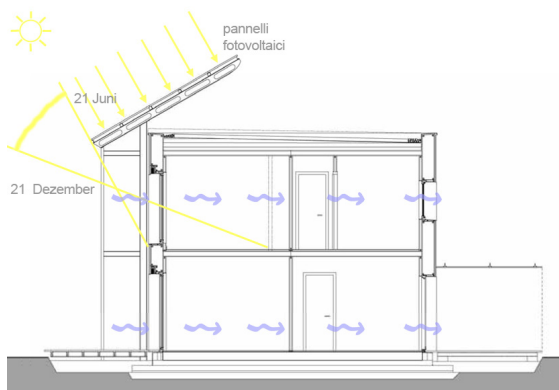


Figura 4.46: Sezione trasversale rappresentante i principi bioclimatici nel progetto Energy Plus;

al secondo piano invece si trovano le camere. Gli edifici non hanno un basamento interrato; dei container di metallo, non isolati di 4.50 m², posti all'ingresso delle unità abitative, fungono da cantine.

Principi d'architettura bioclimatica

L'orientamento degli edifici, insieme con la localizzazione e la compattezza del fabbricato, hanno contribuito a rendere la domanda energetica molto bassa.

L'illuminazione naturale svolge un ruolo importante nella progettazione grazie alle ampie vetrate orientate a sud e le piccole finestrate orientate invece verso nord. Per evitare il surri-

scaldamento, le finestre sono protette da un sistema di ombreggiamento a lamelle avvolgibili, in acciaio, esterne.

Soluzioni tecnico-costruttive

L'involucro edilizio degli edifici è costituito da elementi prefabbricati in legno e cartongesso verso l'interno. La stratigrafia dell'elemento murario comprende anche pannelli isolanti in fibra di legno con spessore 35 cm. Il risultato è una struttura ventilata, grazie all'intercapedine d'aria, con fattore di trasmittanza termica U pari a 0.20 W/m²K.

Le finestre sono composte da tripli vetro con fattore di trasmittanza termica U di 0.80 W/m²K.

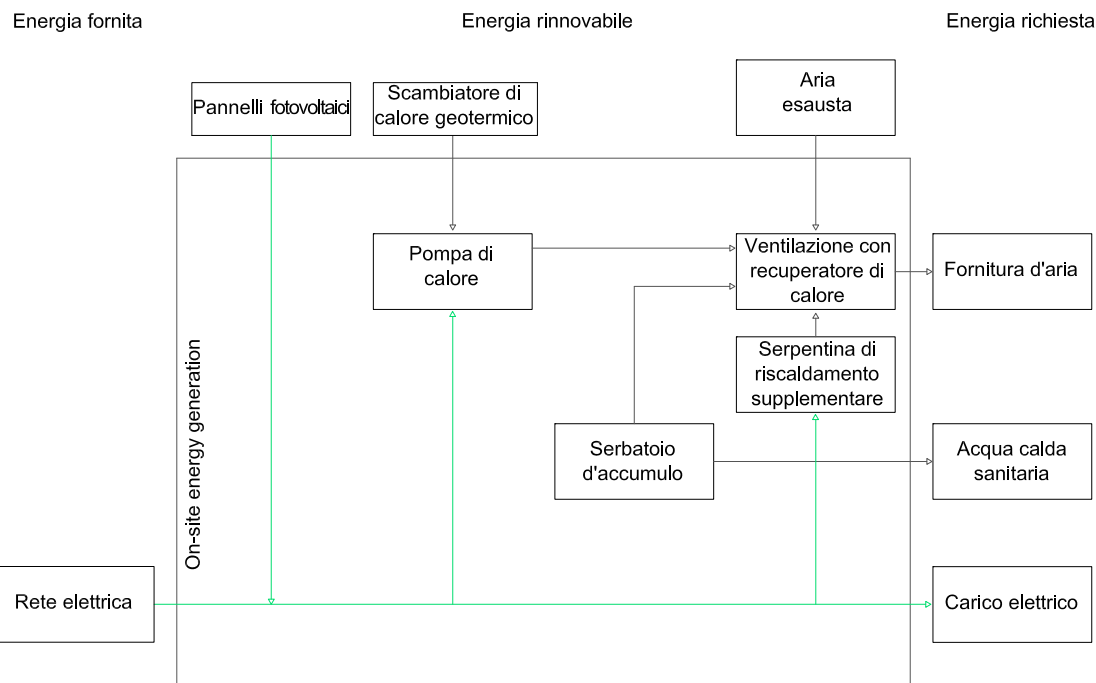


Figura 4.47: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;

Impianti

La ventilazione viene favorita da un impianto d'aerazione meccanica decentralizzato con recuperatore di calore ad alta efficienza.

Sistema di produzione dell'energia

Il fabbisogno energetico dell'edificio viene coperto da generatori fotovoltaici installati sul tetto e su strutture metalliche antistanti la facciata esposta a sud. I moduli consistono in cellule quadrate integrate in doppi vetri che permettendo così di resistere a lungo tempo anche sottoposti a condizioni climatiche estreme. I pannelli SCHOTT, spessi 1 cm, funzionano in estate anche a temperature sopra i 90°C e in inverno sotto i 40°C. L'area totale e la capacità di entrambe le superfici fotovoltaiche degli edifici è di 520 m² con una potenza di 64 kW_p. I pannelli fotovoltaici, analogamente alla pompa di calore, funzionano autonomamente per ogni abitazione quindi la responsabilità del mantenimento ed investimento risulta a carico dell'occupante.

Il fabbisogno termico per riscaldare, di 15 kWh/m²a, viene coperto da un sistema di ventilazione ed una pompa di calore aria/aria. L'aria fredda viene preriscaldata all'interno di tubi collocati sottoterra. Ogni unità abitativa è dotata di una pompa di calore con potenza 1kW_{th} che provvede alla produzione di acqua calda sanitaria e riscaldamento attraverso sonde di diametro 25 cm, lunghe dai 45 di 60 m. La pompa è collegata ad un serbatoio di accumulo con capienza 185 l che permette la continua fornitura di calore. Data la mancanza di collettori solari è stata prevista l'installazione di una batteria elettrica supplementare con una capacità massima di 1.05 kW per coprire i fabbisogni nei momenti di carico massimo.

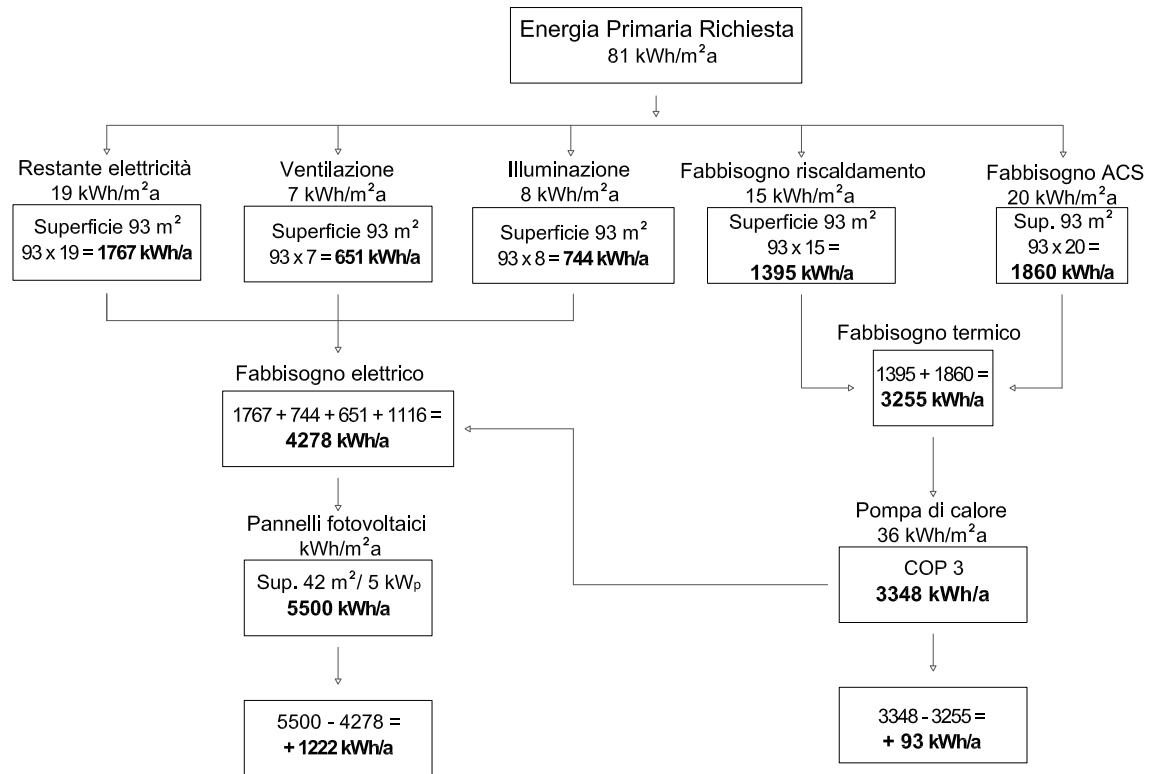


Figura 4.48: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;

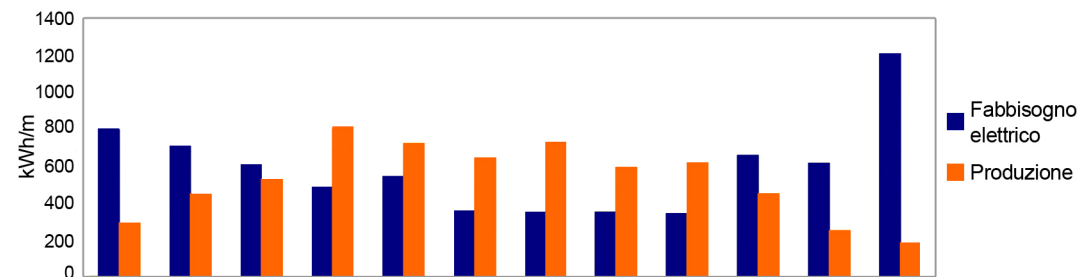
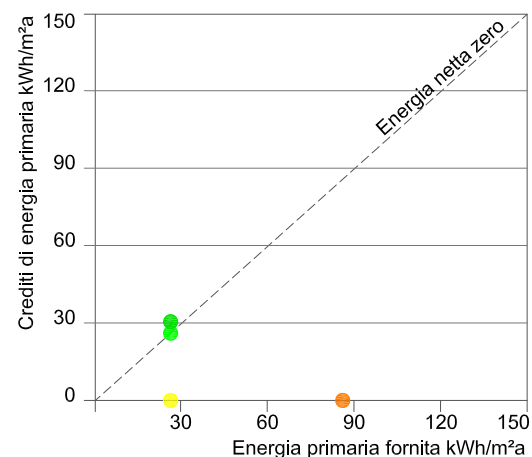


Figura 4.49: Dati di fabbisogno elettrico e produzione dall'impianto fotovoltaico monitorati nel 2006; Fonte: www.aee-intec.at

Bilancio energetico

Durante i primi tre anni di utilizzo l'*Institute for Sustainable Technology* ha effettuato il monitoraggio dei dati effettivi di consumo e produzione di energia primaria. Il Bilancio comprende l'energia necessaria per acqua calda sanitaria, ventilazione, illuminazione, applicazioni ed altro. Essendo la comunità edilizia composta da più edifici, con orientamenti diversi, la richiesta di energia primaria per riscaldare risulta variare per ogni edificio da 13 a 15 kWh/m²a. In tutti i casi si è però verificato che la differenza tra l'elettricità prodotta dai pannelli fotovoltaici e l'elettricità richiesta è evidente; l'impianto riesce a produrre anche un surplus di energia da immettere nella rete.



Bilancio energetico per raggiungere l'obiettivo NZEB.

- Energia primaria consumata annualmente compresa l'energia utilizzata dagli occupanti (79 kWh/m²a)
- Consumo coperto dalla generazione sul sito mensilmente (18 kWh/m²a)
- Avanzo dalla produzione mensile
- Energia aggiuntiva generata annualmente (3 kWh/m²a)

Figura 4.50: Valutazione energetica in kWh/m²a;
Fonte: K. Voss, 2011;

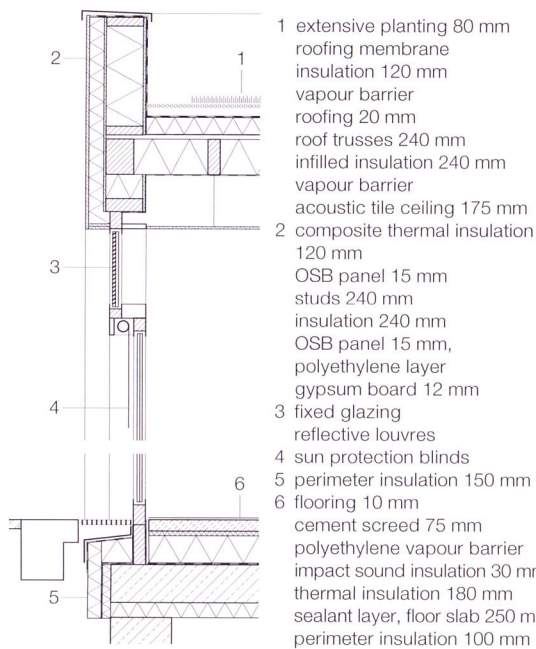


Figura 4.52: Dettaglio della facciata, scala 1:50;
 Fonte: www.buildup.eu;

di un volume molto chiuso distinto dal resto dell'edificio da una rientranza visibile in facciata.

Principi d'architettura bioclimatica

Grandi vetrate e ampie superfici colorate, enfatizzano le forme semplici dell'edificio e l'utilizzo della luce naturale attraverso tunnel solari posti in copertura che consentono di illuminare tutti gli ambienti ricorrendo poco all'illuminazione artificiale. Le superfici trasparenti sono protette dai raggi attraverso l'adozione di schermi solari esterni con un valore di ombreggiamento di 0.2 e tramite tende avvolgibili ad angolazione installate nell'apertura dei lucernari per evitare che il calore possa entrare all'interno dell'edificio.

Il rivestimento a tenuta d'aria è stato sottoposto ad un *Blower-Door Test* indicando un valore n_{50} di 0.18/h.

Soluzioni tecnico-costruttive

La struttura dell'edificio si basa su elementi prefabbricati in legno adeguatamente coibentati. La facciata di spessore 40 cm è composta da pannelli isolanti in poliuretano ($\lambda = 0.028 \text{ W/mK}$) di 24 cm, inseriti nell'intelaiatura muraria e 10 cm isolante in fibra minerale, rivolto verso l'esterno; il coefficiente di trasmissione termica raggiunto è di $0.135 \text{ W/m}^2\text{K}$. Anche il tetto è composto da elementi prefabbricati coibentati con pannelli di poliuretano espanso di 40 cm per un totale di coefficiente di trasmissione termica $0.09 \text{ W/m}^2\text{K}$. Il valore di trasmissione, raggiunto dalla soletta del piano terreno, è di $0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$, grazie ai pannelli rigidi in poliuretano collocati sopra la piastra in calcestruzzo armato e i 10 cm di isolante in lana di roccia.

Le dispersioni termiche causate dall'adozione di grandi superfici vetrate sono rese minime dall'utilizzo di tripli vetri con fattore di trasmis-

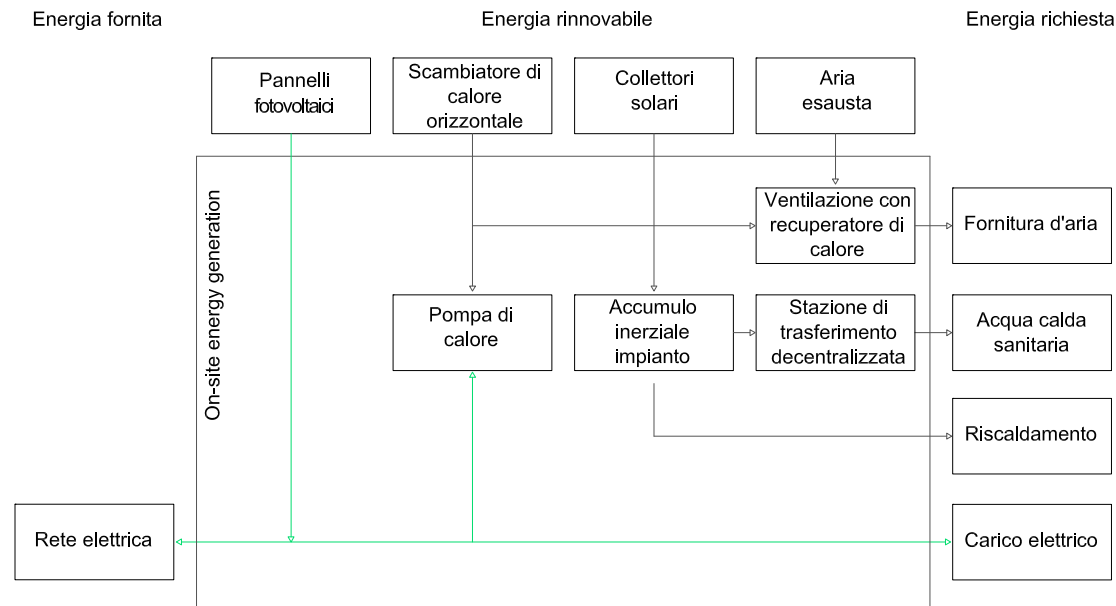


Figura 4.53: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;

sione termica U di 0.90 W/m²K.

Impianti

I sensori di movimento e di luce controllano il comfort visivo all'interno degli ambienti, azionando o spegnendo automaticamente le luci artificiali, a seconda della necessità.

Sfruttando i principi della ventilazione incrociata il benessere all'interno degli ambienti viene garantito da un continuo ricircolo dell'aria. L'aria fresca viene immessa negli spazi comuni e poi fatta circolare verso l'interno per poi essere aspirata ed espulsa dal magazzino o toilette. Il sistema di ventilazione, dotato di ventole integrate a muro e a pavimento, è progettato per ridurre le perdite di pressione tra le tubazioni e con ventilatori ad alta efficienza con una percentuale di performance di 0.71 W/(m³/h). Attraverso un recuperatore di calore ad alta efficienza il calore dell'aria esausta in uscita viene utilizzato per preriscaldare l'aria in entrata.

Per assicurare la sicurezza in caso di incendio sono previste delle apposite aree di fumo; dei sistemi automatici di controllo tirano il fumo in queste zone, evitando la distribuzione dell'incendio. L'abbassamento di pressione tra gli elementi di 5 e 8 Pa, assicura il tiraggio dell'aria nella direzione determinata.

Sistema di approvvigionamento dell'energia

I raggi solari vengono sfruttati per la produzione di acqua calda sanitaria grazie all'installazione di un impianto solare termico di 22 m². I tubi sottovuoto sono posati sul tetto in modo tale da garantire l'acqua calda per i rubinetti e parte del riscaldamento. I collettori alimentano uno dei due serbatoi di accumulo da 1000 l, collocato nel ripostiglio tra le mura isolate dell'edificio. Il sistema è integrato ad una pompa di calore salamoia/acqua che, quando la

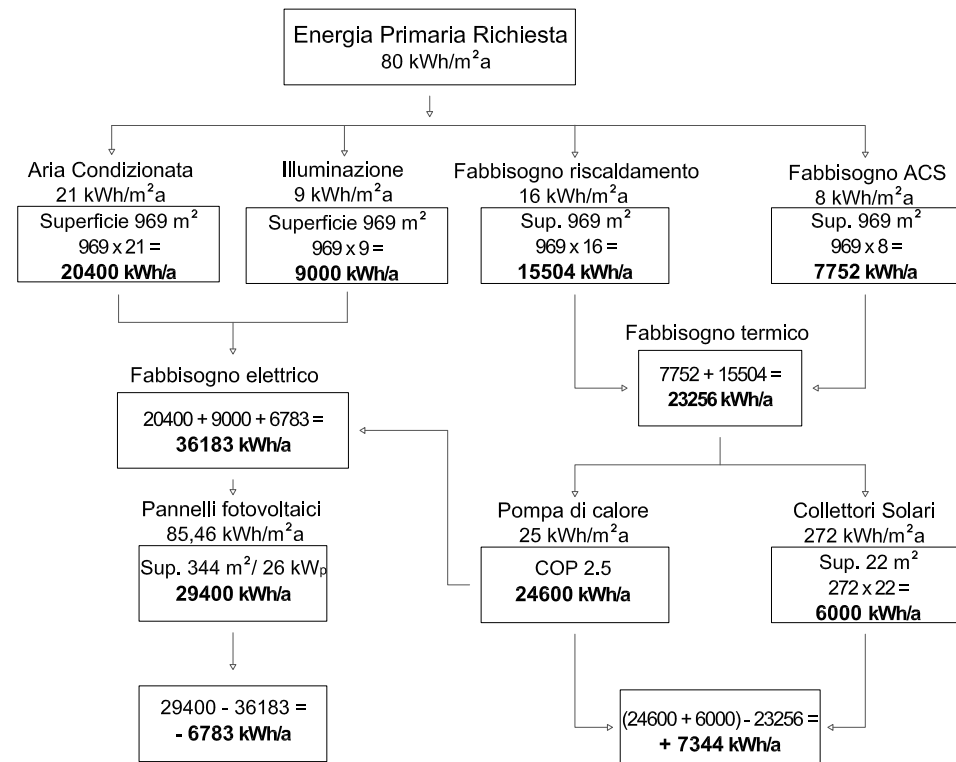


Figura 4.54: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;



Figura 4.55: Vista dell'ingresso orientato a nord del centro ricreativo di Monheim; Fonte: www.rinnovabili.it;

produzione solare risulta insufficiente, produce calore ad una temperatura di 50°C. La pompa ha una potenza di 28 kW_{th}, e sfrutta le proprietà geotermica attraverso quattro sonde verticali che raggiungono una profondità di 98 m. La pompa di calore salamoia/acqua sottrae calore all'ambiente da una sonda geotermica dove la temperatura non è soggetta a variazioni stagionali e lo distribuisce all'ambiente tramite un sistema di riscaldamento a pannelli radianti. In inverno il sistema viene invece invertito e ha una funzione di raffrescamento: sottrae energia dallo spazio d'educazione restituendolo al terreno.

L'approvvigionamento energetico viene invece coperto dai pannelli fotovoltaici integrati nella geometria complessa del tetto e poco visibili, all'esterno, dall'occhio umano. I moduli in silicio poli cristallino occupano una superficie di 344 m² e hanno una potenza di 49 kW_p.

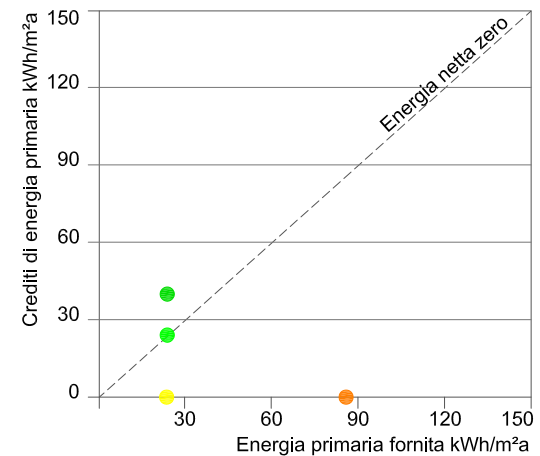
Bilancio energetico

Le elevate performances dell'involucro edilizio permettono di ridurre il fabbisogno energetico al minimo, circa 61 kWh/m²a, 31 kWh/m²a per la produzione di acqua calda sanitaria e riscaldamento degli ambienti e i restanti 30 kWh/m²a richiesti per l'elettricità, e di soddisfarlo attraverso energia prodotta da fonti rinnovabili disponibili in loco.

Osservando i dati sui consumi si osserva una grande quantità d'energia spesa per l'aria condizionata; questo è dovuto al funzionamento dell'edificio anche in estate e ad elevati carichi interni per la presenza di numerosi bambini.

L'energia fornita dalle fonti rinnovabili si suddivide in: 41% energia geotermica, il 10% energia solare e il 49% energia fotovoltaica. Durante il monitoraggio dell'edificio nel 2009 si è dimostrato che l'edificio riesce a raggiungere l'obiettivo di un bilancio annuale di emis-

sioni di anidride carbonica pari a zero. Grazie all'utilizzo di fonti rinnovabili l'edificio ha prodotto un surplus di energia rimesso nella rete pari a 13600 kWh (calcolati a pochi mesi dalla sua apertura), azzerando completamente le emissioni di CO₂. Sono state quindi risparmiate all'incirca 50 tonnellate di CO₂ in un anno.



Bilancio netto di energia zero:

- Energia primaria consumata annualmente (80 kWh/m²a)
- Energia primaria generata on-site (62 kWh/m²a)
- Bilancio residuo dal surplus mensile
- Energia surplus prodotta annualmente (18 kWh/m²a)

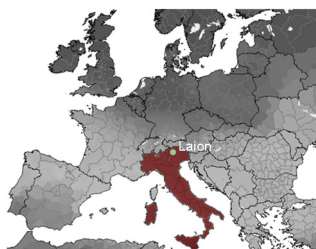
Il consumo basso dell'edificio è dovuto all'elevata efficienza energetica e l'occupazione durante le ore diurne. Grazie all'elevata estensione del campo fotovoltaico il bilancio può essere raggiunto dopo otto mesi di esercizio.

Figura 4.56: Valutazione energetica in kWh/m²a; Fonte: K. Voss, 2011;

4.7

Caso studio 7: SCUOLA ELEMENTARE

Laion, I 2006



Progettista:
Tv Trojer Vonmetz Architekten
Consulente energetico:
Ingenieurteam Bergmeister GmbH



Dati di progetto

Superficie Netta di Pavimento, SNP	625 m ²
Superficie Lorda di Pavimento, SLP	315 m ²
Volume	2800 m ³
Numero totale degli occupanti	40
Sito	Laion
Radiazione annuale globale	1329 kWh/m ² a
Temperatura media annuale	11 °C
Contesto	Suburbano
Caratteristiche dell'involucro	W/m ² k
U, muri esterni	0.23
U, finestre (con telaio)	0.78
U, copertura	0.23

Sistema di produzione energetica

Area collettori solari	18 m ²
Area pannelli fotovoltaici	140 m ²
Capacità	17,17kW _p
Rete di infrastrutture e fonti d'energia	
Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica
Fonti di energia	elettricità
Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica
Fonti di energia re-immessa	elettricità

Strategie progettuali

Standard energetici CasaClima Gold, geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, materiali ecologici, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, collettori solari, pompa di calore geotermica, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

La prima scuola elementare a Novale fu costruita nel 1937. Nel 2003 il Comune decise un rinnovo e una modernizzazione energetica degli edifici esistenti. Gli architetti TV vinsero, nel 2004, il concorso per rinnovare la scuola. Il progetto risponde al *background* culturale e

storico dell'edificio, fondendosi con il paesaggio circostante. La scuola sorge su un pendio ed è stata progettata su due livelli per seguire l'aspetto morfologico del luogo; si inserisce nel dislivello dell'area di insediamento predisponendo per ogni piano un accesso diretto verso l'esterno. Il cortile della scuola trova spazio nell'area di progetto orientata a sud, a nord invece è stato creato uno spazio d'aggregazione ed incontro per gli abitanti di Novale.

Nella costruzione vengono reinterpretate le architetture dell'arco alpino: con il basamento in pietra e il piano terra perimetralmente sporgente.

Internamente l'edificio ospita: quattro classi, un'area lavoro e una stanza multiuso, la sala degli insegnanti, la palestra e altri servizi, orga-



Figura 4.57: Vista prospetto est; Fonte: www.architetti.cc;

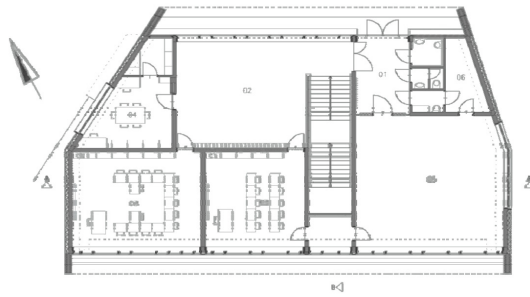


Figura 4.58: Pianta piano secondo; Fonte: A. Troi, et. al., 2009;

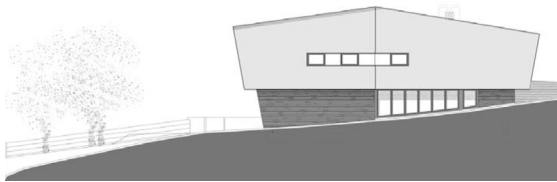


Figura 4.59: Prospetto su-est; Fonte: A. Troi, et. al., 2009;



Figura 4.60: Prospetto sud; Fonte: A. Troi, et. al., 2009;

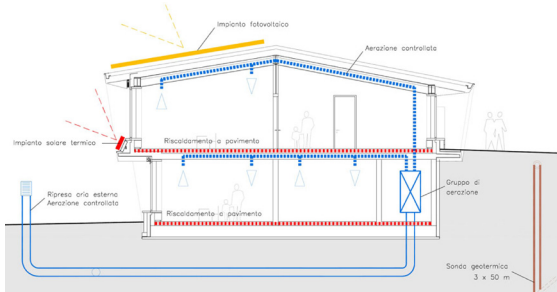


Figura 4.61: Sezione trasversale rappresentante i principi bioclimatici nella scuola elementare a Laion; Fonte: www.premioarchitettura.it ;

nizzati intorno agli spazi comuni, distribuiti dalla scala centrale principale.

Principi d'architettura bioclimatica

L'edificio è molto compatto per diminuire la dispersione termica complessiva con un rapporto S/V di 0.53.

Sul lato sud presenta notevoli finestrate per ottimizzare i guadagni termici facendo penetrare la luce solare negli ambienti e il calore nell'edificio scolastico quando necessario. La facciata esposta a sud è caratterizzata da un'estensiva superficie trasparente, 128 m² su un totale di 150 m²; le vetrate esposte ad est occupano solo 16 m² e quelle esposte a nord 39 m². Anche la scala principale è illuminata naturalmente da lucernari sul tetto che occupano una superficie di 24 m².

Per prevenire fenomeni di surriscaldamento

estivo le altre finestre sono state dotate di tende a veneziana interne e avvolgibili.

La scelta dei materiali non è stata casuale, ma gli architetti hanno cercato di utilizzare materie prime facilmente reperibili sul luogo: filite di quarzo del Laion per il basamento, legno di quercia per i serramenti e muratura intonacata per il piano superiore.

Soluzioni tecnico-costruttive

L'edificio scolastico è dotato di un involucro molto isolato con assenza di ponti termici per ridurre lo spreco energetico sia invernale sia estivo.

Le pareti esterne sono rivestite con 20 cm di pannelli di calcio silicato, mentre per il tetto sono stati impiegati pannelli in fibra di legno di 24 cm. Il valore medio di trasmittanza termica delle pareti opache è di 0.23 W/m²K. La scuola

Energia fornita

Energia rinnovabile

Energia richiesta

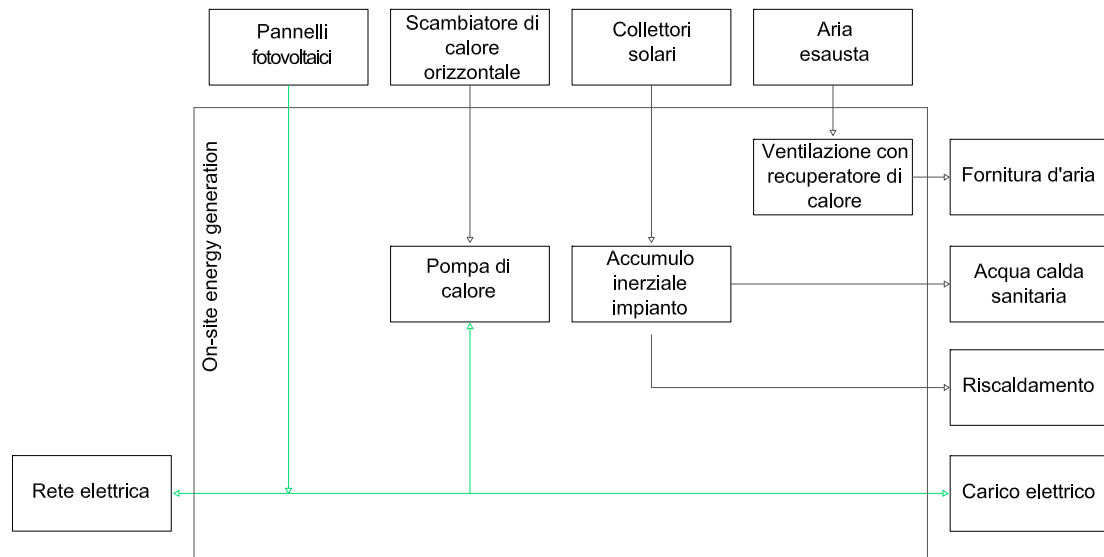


Figura 4.62: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti;

presenta ampie vetrate termoisolanti composte da tripli vetri con intercapedine riempita di gas Argon e telaio in legno di quercia, modello Rai-cotherm di 8 cm, per assicurare una trasmittanza termica delle superfici trasparenti di $0.78 \text{ W/m}^2\text{K}$.

La resistenza alle perdite d'aria è stata certificata per mezzo di un *Blower-Door Test* con valore di $n_{50}=0.49 \text{ h}^{-1}$, inferiore al valore minimo per gli edifici passivi.

Impianti

Un sistema di ventilazione meccanica con recuperatore di calore garantisce un'alta qualità dell'aria e alti livelli di comfort per gli studenti. Il processo assicura la riduzione dei costi energetici, spesso rilevanti nel caso di ventilazione naturale, e una diminuzione delle perdite di calore, che viene recuperato dall'aria esausta in uscita per riscaldare l'aria fresca in entrata.

Sistema di approvvigionamento dell'energia

Il fabbisogno termico viene approvvigionato da una sola pompa di calore con potenza elettrica di 1,83 kW per un'energia termica prodotta di 8,30 kW. La pompa di calore assorbe energia sia dal terreno mediante tre sonde geotermiche, poste ad una profondità di 50 m, sia dalla produzione dell'impianto solare termico, per una superficie di 18 m^2 , posto sul fronte del primo piano. L'impianto è sufficiente per riscaldare l'edificio e produrre acqua calda sanitaria. Il riscaldamento degli ambiente avviene mediante l'installazione di un sistema a pavimento.

Il fabbisogno energetico per il funzionamento della pompa di calore e l'approvvigionamento dell'energia per illuminazione, ventilazione ed altro, viene coperto dai pannelli fotovoltaici installati sul tetto con una potenza di $17,70 \text{ kW}_p$. I moduli in silicio policristallino occupano una

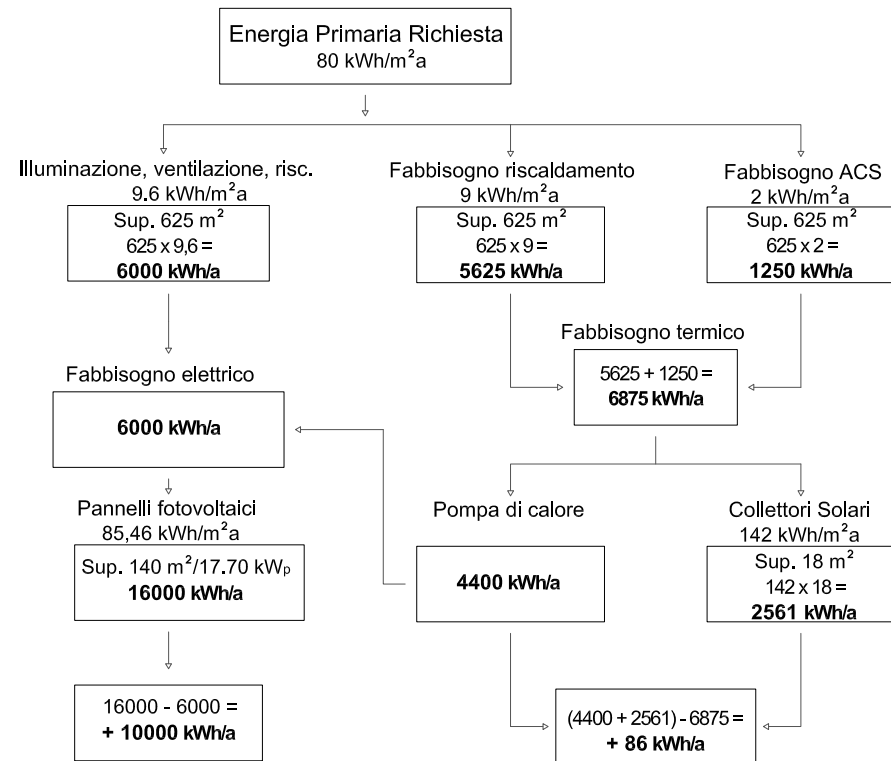


Figura 4.63: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;



Figura 4.64: Vista prospetto sud-est della scuola elementare a Laion; Fonte: www.architetti.cc;

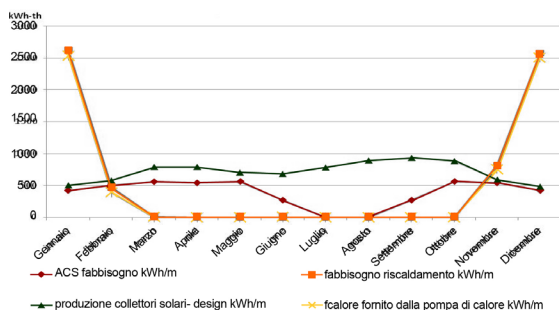


Figura 4.65: Valori mensili di progetto di fabbisogno e produzione di calore. I valori sono calcolati con il Software PHPP (Passive House Design Package); Fonte: A. Troi, et. al. 2009;

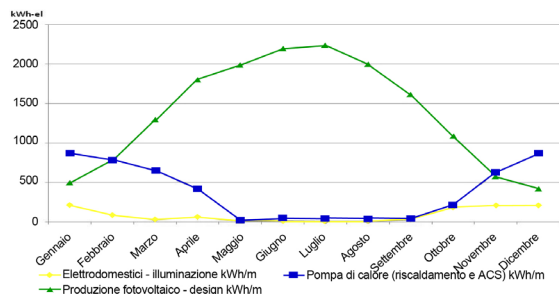


Figura 4.66: Valori mensili di progetto di fabbisogno e produzione di elettricità. La produzione dei pannelli fotovoltaici è simulata con il Software RETScreen; Fonte: A. Troi, et. al. 2009;

superficie di 140 m² e riescono a produrre tutta l'energia necessaria per il corretto funzionamento dell'edificio.

Bilancio energetico

Considerando la domanda termica i calcoli mostrano un fabbisogno per il riscaldamento tra Novembre e Marzo con un picco in Gennaio di 2620 kWh/mese; l'acqua calda sanitaria segue con un picco di 500 kWh/mese. La produzione dell'acqua calda può essere coperta, mensilmente, dai collettori solari e il resto dalla pompa geotermica.

I dati relativi al fabbisogno energetico mostrano che, non considerando il calore prodotto dai collettori solari e presupponendo che la pompa di calore debba coprire da sola il fabbisogno termico, i pannelli fotovoltaici non sono in grado di coprire la richiesta elettrica nei mesi da Novembre a Febbraio. I calcoli variano considerando anche il calore prodotto dai collettori solari; solo nei mesi di Dicembre e Gennaio risulta esserci scarsa produzione.

Il bilancio annuale è positivo in entrambi i casi, sia considerando il calore prodotto dai collettori solari sia non considerandolo. Nel primo caso i moduli risultano produrre un surplus di energia

elettrica di 13342 kWh/a nel secondo di 10781 kWh/a.

Monitoraggio

Il monitoraggio durante la fase di utilizzo ha dimostrato che l'edificio risulta necessitare meno energia di quella calcolata durante le fasi di progettazione. L'energia consumata dall'edificio è stata calcolata a 4665 kWh_{el}/a nel 2006, 2030 kWh_{el}/a nel 2007 e 7058 kWh_{el}/a nel 2008; diverse dal valore di progetto calcolato a 5690 kWh_{el}/a.

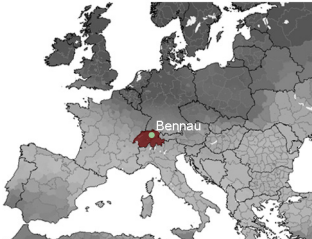

Anche l'energia fornita dai pannelli fotovoltaici ha prodotto risultati contrastanti: 17859 kWh/a nel 2007 e 18175 kWh/a nel 2008, più del valore stimato durante la progettazione. Il bilancio annuale complessivo risulta essere positivo. E' stata inoltre effettuata un'analisi sul tempo di ritorno dell'investimento. Mettendo a confronto lo scenario di progetto, quello monitorato e di un edificio classificato CasaClima A, con domanda di riscaldamento pari a 25 kWh/m²a e senza l'installazione di fotovoltaico e con l'utilizzo di un boiler a pellet anziché la pompa geotermica, si è dimostrato che, nonostante la spesa iniziale molto elevata, il tempo di ritorno è stimato a 13 anni dall'investimento.

4.8

Caso studio 8: KRAFTWERK B

Bennau, CH 2009



	Dati di progetto Superficie Netta di Pavimento, SNP 1380 m ² Superficie Lorda di Pavimento, SLP 1403 m ² Volume 3941 m ³ Numero totale degli occupanti 23 Sito Bennau Radiazione annuale globale 1200 kWh/m ² a Temperatura media annuale 9.5 °C Contesto Rurale Caratteristiche dell'involucro W/m ² k U, muri esterni 0.11 U, finestre (con telaio) 0.57 – 0.79 U, copertura 0.11 U, solaio inferiore 0.28		Sistemi di produzione energetica Area collettori solari 146 m ² Volume serbatoio termico 27000 l Area pan. fotovoltaici 122.5m ² Capacità 32 kW _p Rete di infrastrutture e fonti d'energia Infrastrutture di approvvigionamento rete elettrica Fonti di energia legno, elettricità Re-immessa nell'infrastruttura Fonti di energia re-immessa rete elettrica, teleriscaldamento elettricità, calore	
	Progettista: Grab Architekten Consulente energetico: Amena			

Strategie progettuali

Standard energetico MINERGIE-P-ECO, geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, accumulo passivo di calore negli elementi costruttivi, materiali ecologici, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, controllo dell'illuminazione artificiale con Led, sensori di presenza, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, recupero calore acqua estratta, collettori solari, pompa di calore aria/acqua, rete di teleriscaldamento, stufa alimentata a legna, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

La palazzina Kraftwerk B è collocata nel centro di Bennau vicino alla chiesa di St. Sebastian.

L'edificio è stato progettato per rispettare i requisiti dello standard svizzero MINERGIE-P-ECO. Lo standard prescrive un limite massimo al consumo di risorse per i materiali da costruzione, un livello minimo per il comfort interno, isolamento acustico e sfruttamento della luce diurna. L'edificio in linea di tre piani ospita al suo interno sette appartamenti dove, fatta eccezione per l'area pranzo/soggiorno corredata di pareti attrezzate con cucina componibile, le camere non hanno una funzione predefinita. Il quadro elettrico, asciugatrice e lavatrice sono alloggiati in un armadio a muro all'ingresso. La sincerità costruttiva viene denunciata dagli architetti anche dal passaggio a vista dell'impianto d'aerazione.

Data la vicinanza ad un monumento sottopo-

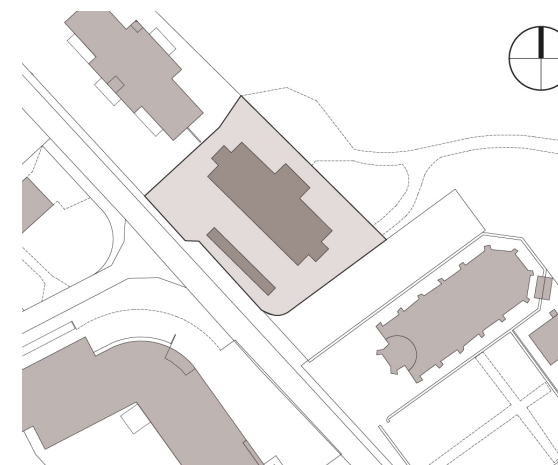


Figura 4.67: Planimetria generale; Fonte: www.720grad-architekten.ch

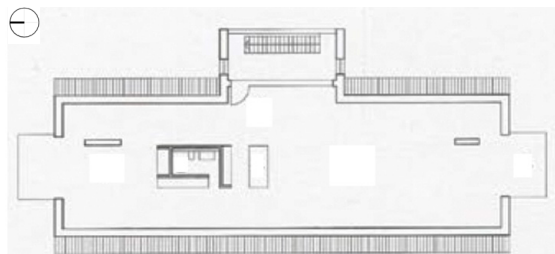


Figura 4.68: Pianta piano copertura; Fonte: www.720grad-architekten.ch

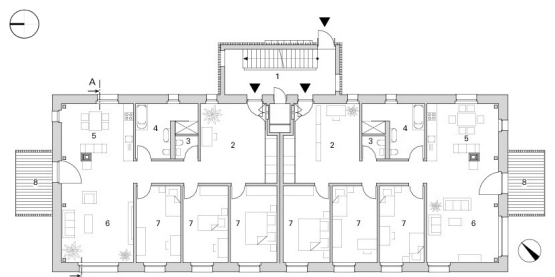


Figura 4.69: Pianta piano tipo; Fonte: www.720grad-architekten.ch

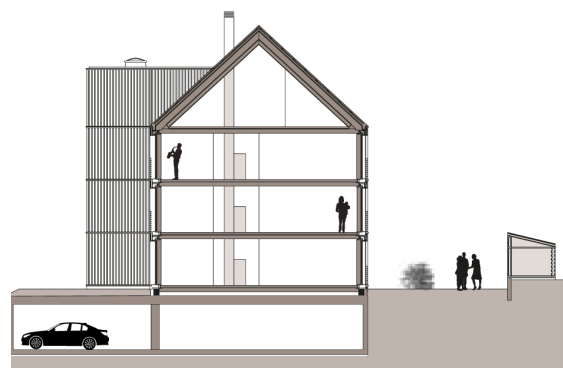


Figura 4.70: Sezione trasversale; Fonte: www.720grad-architekten.ch

sto a tutela, quale la chiesa, la ricerca di un'integrazione con il contesto è risultata fondamentale; l'edificio si pone parallelamente alla strada, orientato secondo un asse nord-ovest, sud-est. La scala d'accesso agli appartamenti trova posto in un volume addossato al fabbricato e rivolto ad est.

Principi d'architettura bioclimatica

L'edificio è formato da un nocciolo massivo di irrigidimento in calcestruzzo armato che assume la funzione di accumulatore di calore e assicura un clima equilibrato interno agli ambienti. Le superfici vetrate sono molto importanti per permettere la penetrazione della luce solare negli appartamenti; viene maggiormente sfruttata la facciata esposta a sud-ovest parallela alla strada. Finestre a tutta altezza, arretrate rispetto al rivestimento, conferiscono qualità agli spazi interni.

Per evitare fenomeni di abbagliamento e surriscaldamento estivo sono state previste delle persiane esterne in legno.

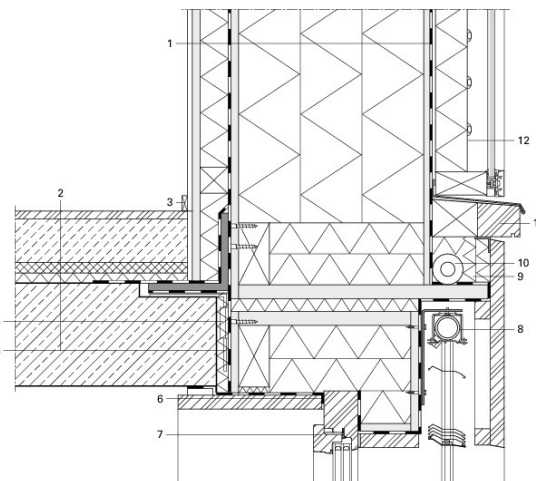


Figura 4.71: Particolare della facciata esposta a sud; Fonte: DetailGreen, 2010;

Per favorire la ventilazione non sono previsti serramenti in configurazione a vasistas ma solo ad anta.

Soluzioni tecnico-costruttive

L'involucro dell'edificio è dotato di elevate prestazioni termiche. I fronti, ad eccezione del fronte sud-ovest, sono rivestiti di legno. Le strutture di facciata e di copertura sono composte da elementi prefabbricati in legno di spessore 40 cm, coibentati internamente con un isolamento aggiunto nei punti critici dei ponti termici di 6 e 8 cm. Verso l'interno è previsto l'isolamento acustico e un sistema per accogliere gli impianti. La trasmittanza termica dell'involucro è stata calcolata ad un valore di U pari a 0.2 W/m²K. Uno strato isolante di 24 cm separa termicamente la zona dell'interrato e dei garage non riscaldati.

Le finestre sono caratterizzate da triplo vetro a doppia camera con un fattore di trasmittanza termica U di 0,5 W/m²K.

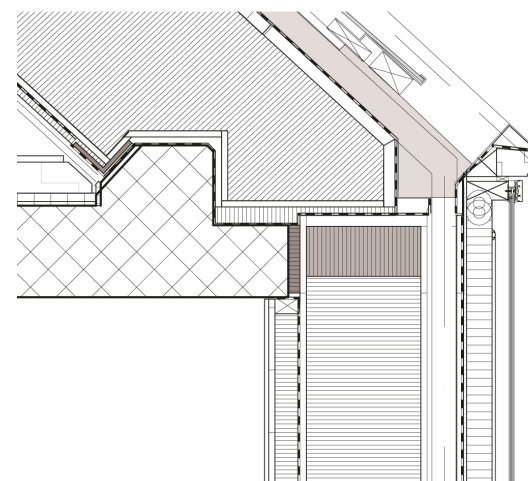


Figura 4.72: Particolare dell'attacco al tetto; Fonte: DetailGreen, 2010;

Impianti

Il ricambio d'aria viene anche assicurato da un impianto di ventilazione meccanica controllata che recupera il calore dell'aria in uscita, riducendo così il fabbisogno termico dell'edificio.

L'alimentazione dell'aria viene diretta dal soggiorno alla camera da letto dell'appartamento e l'aria di scarico viene estratta dal bagno e dalla cucina. Sei tubi di poliuretano del diametro di 25 cm sono posati parallelamente a 50 cm di distanza per un totale di 13 m ad una profondità di 2 m. Questi provvedono a riscaldare l'aria fresca prima di immetterla all'interno degli appartamenti. L'aria può essere riscaldata anche grazie al supporto dell'acqua esausta estratta alla temperatura di 20°C dal sistema di riscaldamento. L'acqua estratta dai pannelli radianti viene trasportata al serbatoio di accumulo termico nel locale interrato; questa, ad una temperatura minore rispetto a quella del serbatoio, viene riscaldata aumentando così l'efficienza dei collettori solari.

Anche gli elettrodomestici contribuiscono a diminuire il fabbisogno elettrico degli appartamenti; le apparecchiature della cucina, quali frigorifero, forno, lavastoviglie ed altro sono tutti certificati secondo la classe energetica A+ o A++.

Per aumentare l'efficienza dell'edificio è stato inserito il meccanismo del *bonus malus*. Se un affittuario, nel corso dell'anno, consuma più energia di quella prevista dalla programmazione, dovrà pagare i costi aggiuntivi; mentre in caso contrario egli ha diritto ad un rimborso. Ogni appartamento dispone di un display sul quale si può visualizzare l'andamento dei propri consumi suddivisi per categorie per potersi così regolare.

Sistema di produzione dell'energia

L'edificio Kraftwerk B può contare su due gran-

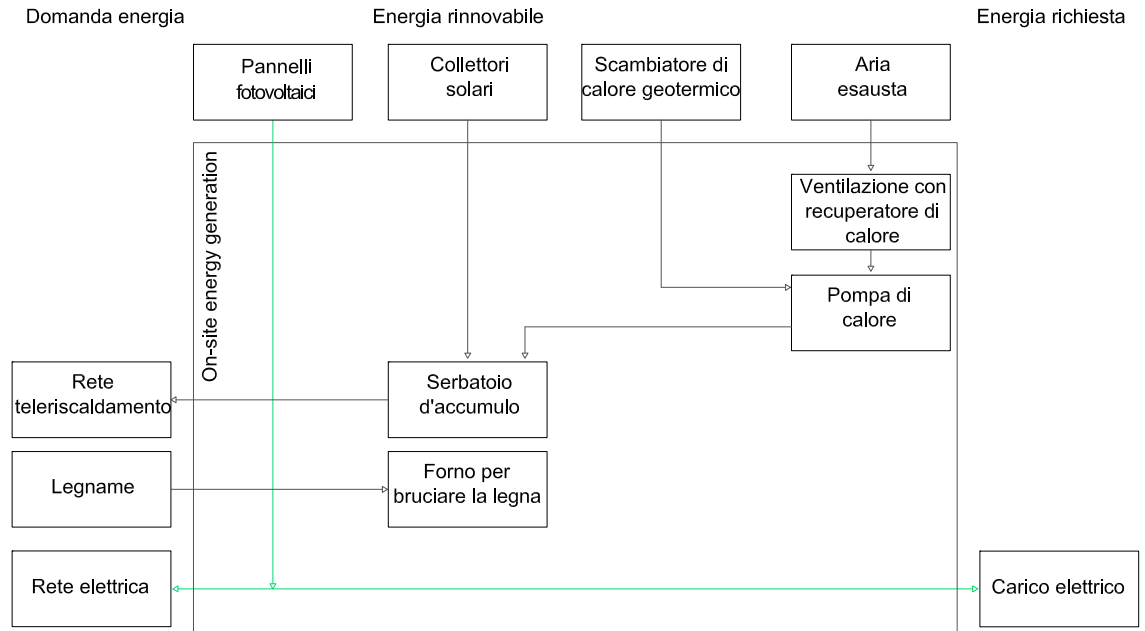
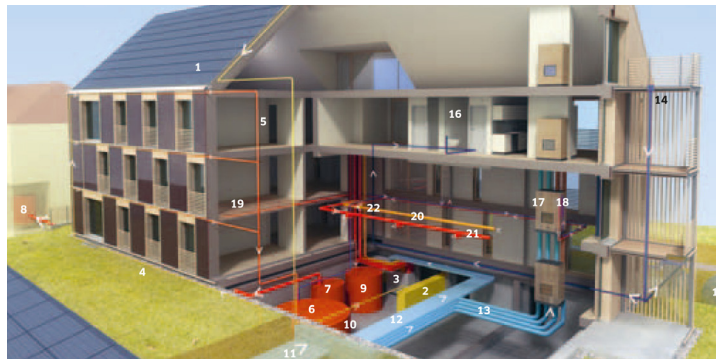


Figura 4.73: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;



- | | |
|--|-------------------------------|
| 1 Photovoltaikanlage 220 m ² , integriert | 7 Speicher Nachbargebäude |
| 2 Heizverteilung Elektro | 8 WW-Boiler Nachbargebäude |
| 3 Lüftung | 9 Energiespeicher 3'000 Liter |
| 4 Vorlauf Kollektorfassade 147 m ² , integriert | 10 Wechselrichter PV |
| 5 Rücklauf Kollektorfassade | 11 Erdregisterzuluft |

- | |
|-------------------------------------|
| 12 Lüftung Zuluft |
| 13 Zuluftspeicherröhren |
| 14 Regenwasser |
| 15 Regenwassertank 2 x 10'000 Liter |
| 16 Regenwassernutzung Toilette |
| 17 Speicheröfen |
| 18 WW-Absorber |
| 19 Niedrigtemperatur-Bodenheizung |
| 20 Kontrollierte Lüftung mit WRG |
| 21 Zuluft |
| 22 Abluft |

Figura 4.74: Spaccato assonometrico con funzionamento impianti; Fonte: www.detail.de;

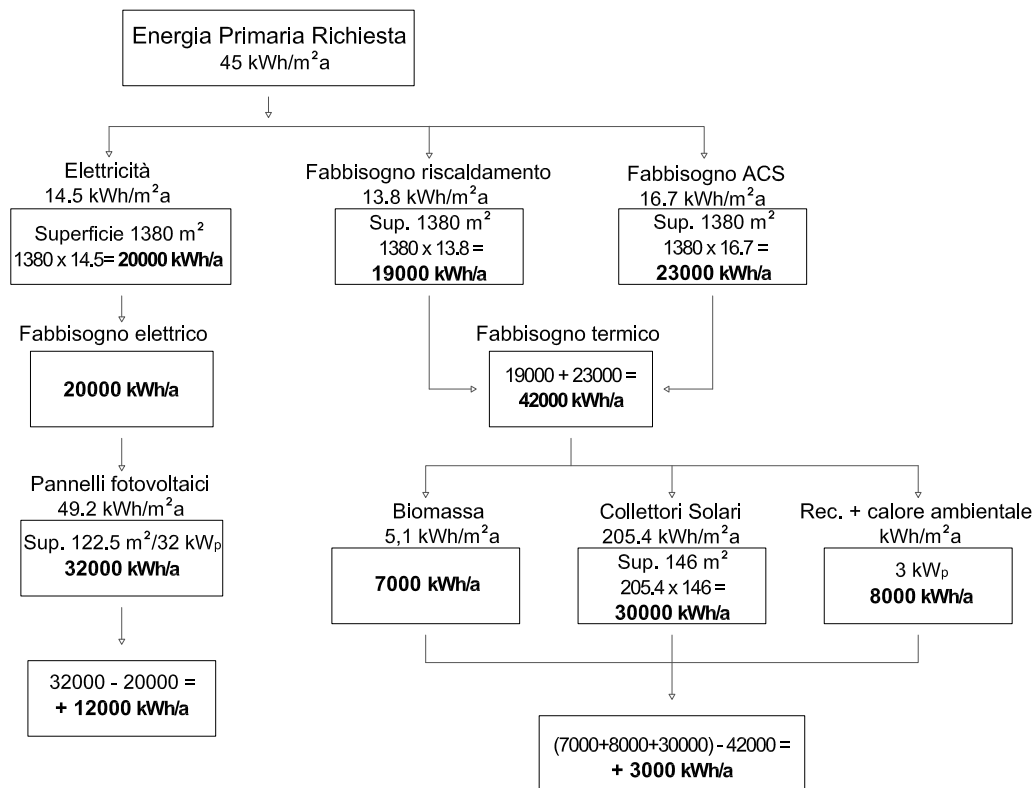


Figura 4.75: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;



Figura 4.76: Vista del prospetto sud-ovest della residenza Kraftwerk B; Fonte: DetailGreen, 2010;

di superfici destinate al guadagno dell'energia dal sole: la falda del tetto orientata a sud-ovest inclinata di 42°, che integra nella sua struttura una superficie di 220 m² di pannelli fotovoltaici, e la facciata rivolta a sud-ovest caratterizzata da ampie superfici vetrate intervallate con collettori solari. In teoria, i 150 m² dei collettori dovrebbero avere un rendimento molto basso, causato dal posizionamento verticale, in realtà l'alto apporto solare non riduce il rendimento dell'impianto.

L'edificio è dotato di un accumulatore di calore di 25 m³; il calore in eccesso viene utilizzato per riscaldare gli edifici confinanti. Questa immissione nella rete compensa l'energia richiesta dagli appartamenti per il funzionamento della stufa a legna presente in ogni appartamento. La stufa a legna serve sia a garantire il comfort individuale sia a fornire il 50% del calore necessario agli scaldi asciugamani in bagno e al serbatoio di accumulo per l'acqua calda da 3000 l.

Nella centrale termica al piano interrato sono collocati tre grossi accumulatori di calore. Un accumulatore a stratificazione da 24 m³, coibentato con un cappotto di 40cm, può ricevere o lasciare calore agli impianti: la pompa di calore, la stufa a legna o il pavimento radiante. L'accumulatore di calore entra in funzione ogni volta che, attraverso il pavimento radiante, la casa utilizza meno energia di quella prodotta dalla stufa. Il serbatoio assicura anche il riscaldamento dell'acqua calda sanitaria attraverso una serpentina interna.

Il serbatoio di acqua calda sanitaria ha una capienza di 3000 l. Questo viene riscaldato ad una temperatura di 60° dai collettori solari o altri sistemi di approvvigionamento per poi essere utilizzato dalla lavastoviglie e lavatrici. L'acqua calda di scarto degli elettrodomestici, prima di essere smaltita, viene utilizzata per riscaldare la serpentina del serbatoio. L'acqua

calda viene pre-riscaldata anche da una pompa di calore ad aria/acqua che utilizza il calore recuperato dalla ventilazione meccanica, per riscaldare l'acqua.

Il sistema riesce ad approvvigionare anche il serbatoio degli edifici confinati con uguale capienza di 3000 l.

Bilancio energetico

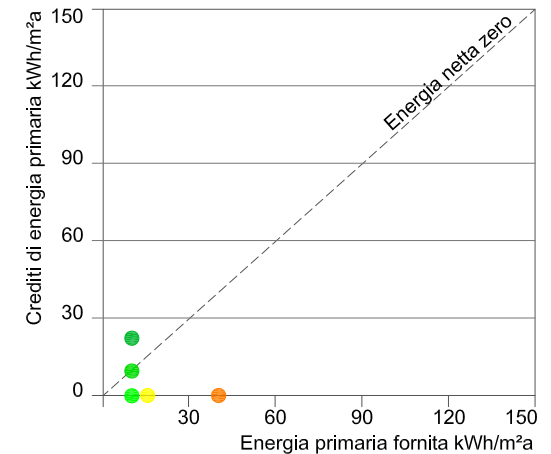
I dati analizzati dimostrano che i collettori solari termici, con una produzione di 30000 kWh_{th}, ricoprono il fabbisogno di acqua calda sanitaria, a fronte di un consumo di 23000 kWh_{th}; riuscendo anche ad alimentare il serbatoio di accumulo degli edifici confinati.

Il fabbisogno totale dell'edificio è stato stimato a circa 62000 kWh/a. L'energia solare approvvigionata dall'impianto fotovoltaico e i collettori solari è stata calcolata pari a 62000 kWh/a.

In totale, grazie alla produzione della pompa di calore di 6000 kWh/a, dal recuperatore di calore che ha permesso di risparmiare 2000 kWh/a e dalla produzione data dalla stufa a legna di 7000 kWh/a, è calcolata la produzione di un surplus annuo pari a 8000 kWh/a.

In termini di CO₂ l'edificio risparmia 47500 kg CO₂/a. Preso in esame un edificio con medesime caratteristiche compositive ma meno accorto dal punto di vista energetico, si avrebbe un consumo annuo di 40500 kg CO₂/a. Nell'edificio ad appartamenti di Bennau vengono invece

risparmiate annualmente 3000 kg CO₂/a per la produzione di acqua calda sanitaria e 4013 kg CO₂/a per la produzione di elettricità, per un totale di 7013 kg CO₂/a.



L'edificio risulta raggiungere i livelli di NZEB:

- Energia primaria consumata annualmente, inclusa l'energia utilizzata dagli occupanti (45 kWh/m²a)
- Consumo di energia primaria specifica dell'edificio (16 kWh/m²a)
- Consumo rimanente dalla copertura stagionale dei pannelli fotovoltaici (11 kWh/m²a)
- Bilancio stagionale del rimanente consumo
- Elettricità e calore prodotto in eccesso ceduto agli edifici confinati (24 kWh/m²a)

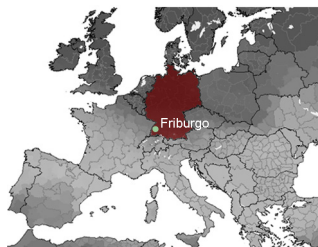
Il consumo basso è dovuto alla parziale non occupazione dell'edificio nel 2010. L'energia prodotta in eccesso dimostra che anche con la capienza massima l'edificio riesce a raggiungere l'obiettivo NZEB.

Figura 4.77: Valutazione energetica in kWh/m²a; Fonte: K. Voss, 2011;

4.9

Caso studio 9: KLEEHÄUSER

Friburgo, D 2006



Progettista:
Common & Gies Architekten
Consulente energetico:
Solares Bauen



Dati di progetto

Superficie Netta di Pavimento, SNP	2520 m ²
Superficie Lorda di Pavimento, SLP	2965 m ²
Volume	10909 m ³
Numero totale degli occupanti	75
Sito	Friburgo
Radiazione annuale globale	1150 kWh/m ² a
Temperatura media annuale	11.6 °C
Contesto	Suburban
Caratteristiche dell'involucro	W/m ² k
U, muri esterni	0.17
U, finestre (con telaio)	0.98
U, copertura	0.11
U, solaio inferiore	0.18

Sistemi di produzione energetica

Area collettori solari	60 m ²
Volume serbatoio termico	3900 l
Area pannelli fotovoltaici	202 m ²
Capacità	23 kW _p
Capacità CHP	30 kW _{th}
Capacità del vento	14 kW _{el}
Capacità per m ²	6300 W _{el} /m ²
Rete di infrastrutture e fonti d'energia	
Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica, rete gas
Fonti di energia	gas naturale, elettricità
Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica,
Fonti di energia re-immessa	elettricità

Strategie progettuali

Geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, vegetazione, materiali ecologici, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, collettori solari, impianto a cogenerazione alimentato a gas, pannelli fotovoltaici, turbina eolica.

Tipologia architettonica

Le case Klee si basano sull'idea di realizzare una comunità a 2000 watt il cui obiettivo è di ridurre al minimo i consumi energetici personali. L'obiettivo zero emissioni viene raggiunto attraverso principi già proposti nel progetto *Wohnen und Arbeiten*, costruito dai medesimi

architetti.

I due edifici costruiti parallelamente alla strada Paul Klee, si inseriscono molto bene nel contesto esistente. Gli edifici in linea, caratterizzati da volumi con altezze diverse, tre piani uno e cinque piano l'altro, ospitano venticinque appartamenti: due case di vacanza, tredici appartamenti privati e dieci in affitto. L'impianto è strutturato come una casa sociale dove gli abitanti hanno la possibilità di condividere molti spazi: spazi di lavoro, sale comuni con la cucina, lavanderia ed altro. Nonostante la struttura portante con una maglia abbastanza rigida gli appartamenti sono pensati adeguati ad adattarsi alle diverse situazioni.



Figura 4.78: Planimetria generale; Fonte: www.giesarchitekten.de

Principi d'architettura bioclimatica

Il fabbricato, costituito da due volumi molto compatti, è suddiviso in una struttura primaria, racchiusa nell'involucro termico, e una secondaria comprendente le parti non coibentate, le scale, i corridoio esterni al lato nord e i balconi in quello sud.

Viene data molta importanza anche all'illuminazione naturale degli ambienti; le superfici vetrate occupano il 47% dell'involucro edilizio dove balconi e grandi alberi diminuiscono il rischio di fenomeni di abbagliamento e surriscaldamento. Le finestre al terzo piano esposte ad est e ovest sono state invece dotate di tende parasole.

Le perdite di calore dell'edificio sono controbilanciate dagli apporti solari e sorgenti interne di calore. Le finestre, esposte sul lato sud, con-

tribuiscono ad apporti solari di 19,9 kWh/m²a circa 83% dei guadagni energetici.

La ventilazione naturale degli ambienti è garantita, soprattutto in estate, per permettere l'asportazione dell'aria esausta verso l'esterno.

Soluzioni tecnico-costruttive

L'involucro edilizio è coibentato da pannelli in lana di roccia di 30 cm rivestiti da pannelli in legno non trattato o da acciaio, raggiungendo così un coefficiente di trasmissione termica di 0.21 W/m²K. Per evitare ponti termici, uno strato di 30 cm di polietilene espanso, è stato inserito tra il solaio dell'ultimo piano e il tetto piano. Anche il basamento dell'edificio è incluso nell'involucro termico e isolato con spessi strati di schiuma.

Le superfici vetrate dell'edificio, per la maggior

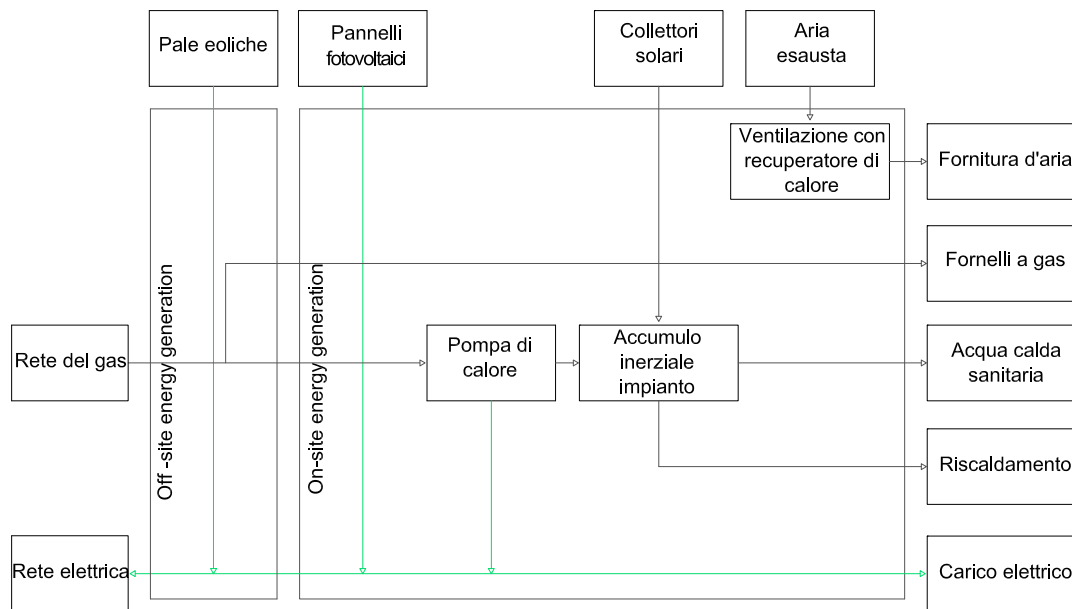


Figura 4.81: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;

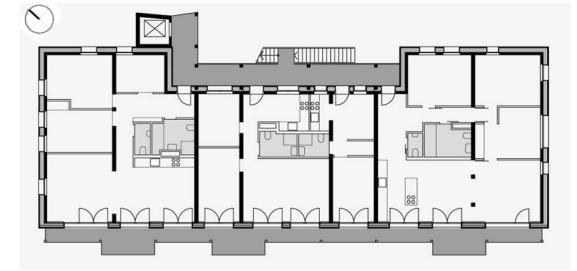


Figura 4.79: Pianta tipo della residenza KleeHaus; Fonte: www.giesarchitekten.de

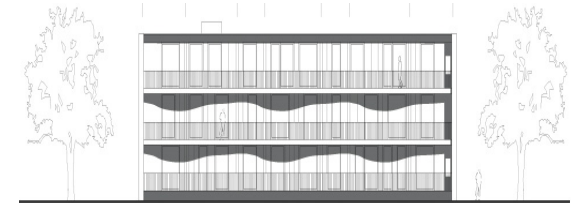


Figura 4.80: Prospetto sud; Fonte: www.giesarchitekten.de;



Figura 4.82: Sezione trasversale deli complessi Kleehäuser; Fonte: www.giesarchitekten.de;

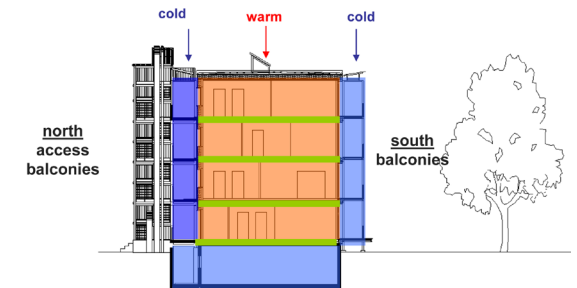


Figura 4.83: Schema di suddivisione nelle zone termiche: riscaldate (rosso) non riscaldate (blu); Fonte: www.kleehauser.de

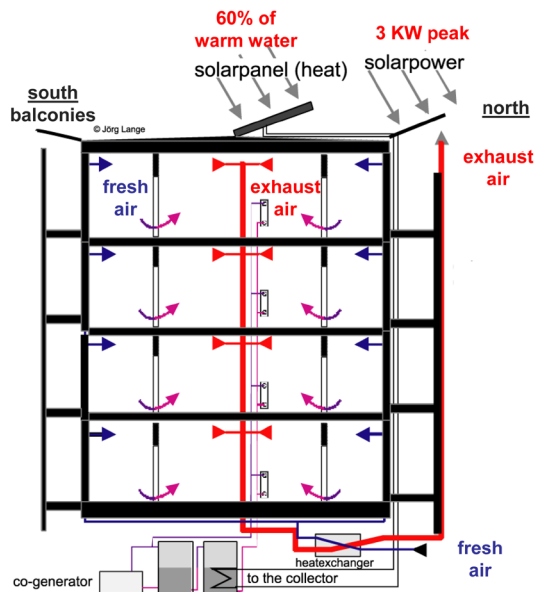


Figura 4.84: Sezione trasversale tecnica sul funzionamento degli impianti negli edifici Kleehäuser; Fonte: Common Architects, 2006;

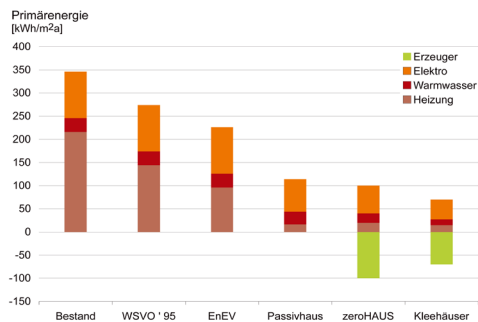


Figura 4.86: Grafico dei consumi dei vari standard energetici tedeschi messi a confronto con il fabbisogno annuale del complesso Kleehäuser; Fonte: Common Architects, 2006;

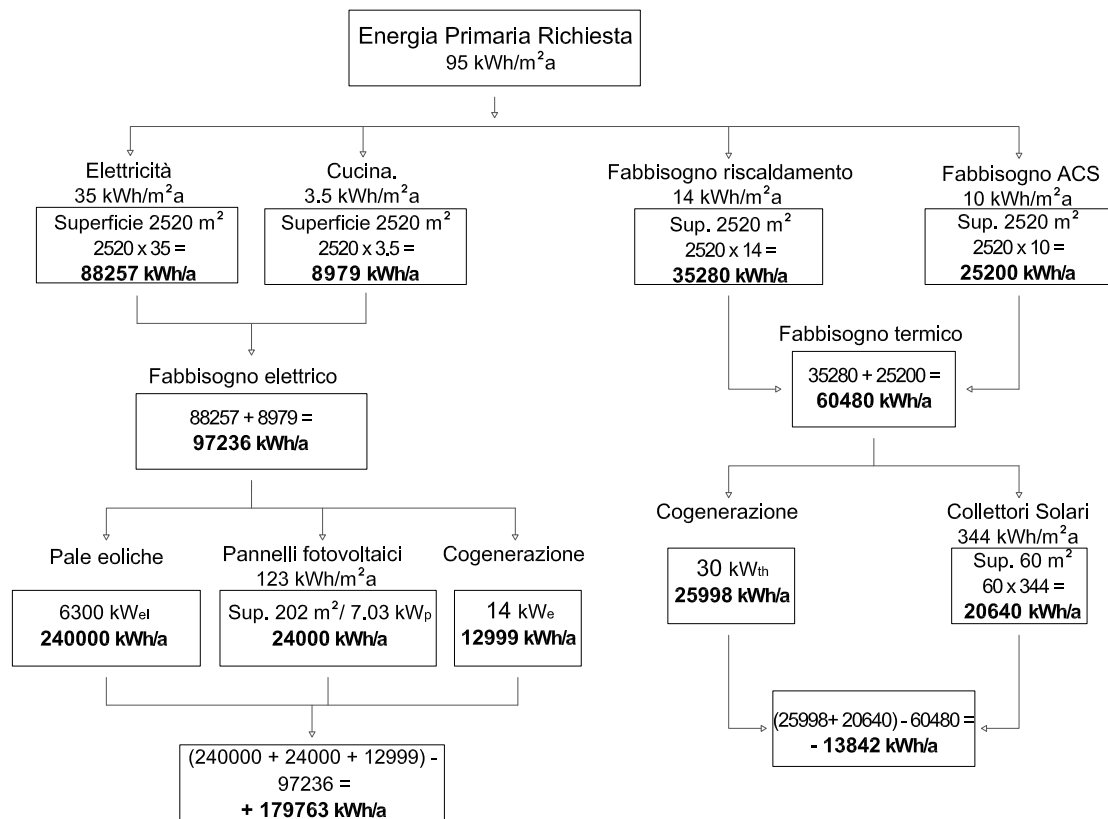


Figura 4.85: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;

parte esposte a sud, possiedono telai in legno e quindi, nonostante i vetri termici a tre lastre, la loro trasmittanza termica è di U 1.1 W/m²K, superiore cioè allo standard definito dagli edifici passivi di 0.8 W/m²K.

Le perdite di calore ammontano complessivamente a 41,2 kWh/m²a, di cui 34,2 kWh/m²a sono attribuibili alla trasmissione di calore attraverso l'involucro e 6,9 kWh/m²a alla ventilazione e alle infiltrazioni.

Impianti

Il ricambio d'aria è reso possibile da un sistema di ventilazione meccanica con recuperatore di calore ad alta efficienza. Il flusso di aria è costante ma anche regolabile dagli utenti a seconda delle esigenze. In inverno l'aria esterna è preriscaldata da uno scambiatore interrato e dal recuperatore di calore.

Sistema di produzione dell'energia

L'obiettivo di seguire lo standard ZEROhaus è molto ambizioso. Ad ogni abitazione viene at-

tribuito il consumo di 500 watt a persona dove i consumi comprendono tutte le voci di fabbisogno di energia. Un operatore controlla periodicamente che gli obiettivi siano raggiunti e che il bilancio venga realizzato attraverso una propria produzione di energia rinnovabile o di energia rinnovabile comprata da fuori.

Il fabbisogno termico degli edifici viene coperto da un impianto di cogenerazione, alimentato a gas naturale, con una potenza termica di 30 kW_t e 14,5 kW_{el} che fornisce all'edificio corrente elettrica. Il calore prodotto viene distribuito negli ambienti tramite bocchette nelle murature, non attraverso un sistema di ventilazione per evitare la creazione di correnti d'aria. Il sistema di cogenerazione è affiancato da una superficie di 61 m² di colletti solari per la produzione di acqua calda sanitaria.

I due sistemi trasportano il calore ad un serbatoio di accumulo con capacità di 3900 l con uno scambiatore di calore esterno connesso alla rete di riscaldamento tra gli edifici.

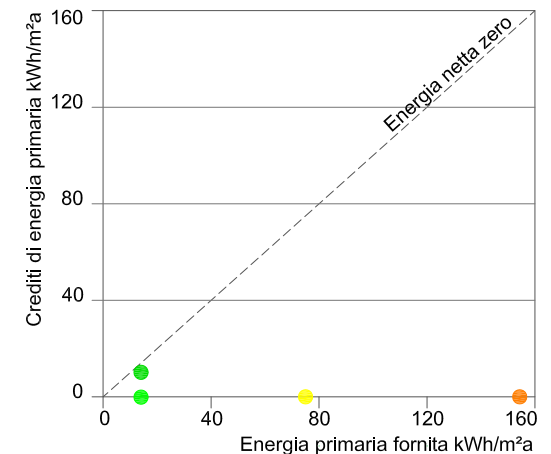
L'impianto fotovoltaico, montato sul tetto, con potenza 23 kW_p fornisce l'elettricità necessaria e bilancia le emissioni di CO₂ necessarie per il funzionamento del sistema combinato.

Gli edifici sono collegati anche ad una turbina eolica a 6300 W_{el} collocata nella vicina città di St. Peter, nella foresta nera. Dato che l'impianto eolico non è direttamente connesso al lotto preso in esame l'energia primaria totale di 200000 kWh/a viene immessa direttamente nella rete pubblica, dove si alza la quota di rinnovabili nel mix energetico.

Bilancio energetico

Nel calcolo del bilancio annuale la richiesta di gas per il riscaldamento e la generazione di elettricità è compensata a livello di crediti dall'energia generata dai pannelli fotovoltaici e dalle pale eoliche. Questo utilizzando uno stesso fattore di conversione per l'energia primaria e le emissioni di CO₂. Nel 2009 però il fattore di conversione dell'energia primaria è stato alzato da 2.60 a 2.70 portando un risultato negativo nel bilancio annuale. Inoltre nel 2010 un insolito freddo ha scombussolato i calcoli effettuati causando una richiesta maggiore di gas per il riscaldamento non compensato dai pannelli solari, che a causa della scarsa intensità dei raggi non hanno potuto produrre un'adeguata quantità di elettricità. Gli abitanti hanno così deciso di installare un ulteriore impianto fotovoltaico con una potenza di 16 kW_p. Da aprile l'impianto è entrato in funzione e si è potuto fino ad ora verificare un corretto raggiungimento di un bilancio zero.

In conclusione l'energia consumata mensilmente non può essere coperta senza l'ausilio dell'impianto eolico. L'impianto fotovoltaico e il sistema a cogenerazione provvedono alla copertura della maggior parte dei fabbisogni annuali. Durante i mesi più freddi, quando la radiazione solare è minore, l'impianto a cogenerazione lavora di più e viene così generata più energia. Quindi solo considerando l'elettricità del vento si può raggiungere un bilancio o addirittura una produzione di un surplus di energia.



I livelli di NZEB non possono essere raggiunti senza applicare i crediti risultanti dall'utilizzo delle pale eoliche. Il consumo viene equilibrato parzialmente considerando l'energia rinnovabile approvvigionata dal vento.

- Energia primaria consumata annualmente, inclusa l'energia utilizzata dagli occupanti (152 kWh/m²a)
- Consumo di energia primaria specifica dell'edificio (73 kWh/m²a)
- Copertura stagionale dalle pale eoliche (135 kWh/m²a)
- Elettricità e calore prodotta dal vento (13 kWh/m²a)

Figura 4.87: Valutazione energetica in kWh/m²a;
Fonte: K. Voss, 2011;

stra con due accessi indipendenti così da poter essere utilizzata anche fuori orario scolastico dalle associazioni sportive.

Principi d'architettura bioclimatica

La creazione delle "home area" permette di realizzare una combinazione di ventilazione naturale e ventilazione meccanica. La combinazione dei due sistemi crea un buon livello di comfort, qualità dell'aria ed efficienza energetica.

La ventilazione viene garantita dall'apertura delle finestre durante le ore di intervallo; in questo modo è possibile controllare il livello di CO₂ prodotto nell'ambiente durante le ore di lezione. L'apertura delle finestre può essere controllata sia meccanicamente sia automaticamente a seconda delle esigenze. In estate viene raggiunto un buon livello di comfort grazie ad un

intensa ventilazione notturna. Per massimizzare il risparmio energetico il riscaldamento viene automaticamente spento nel momento in cui vengono aperte le finestre.

Le classi sono dotate di un doppio affaccio dove la superficie trasparente, esposta a sud, è stata pensata per favorire l'illuminazione naturale, la protezione dai raggi solari e lo sfruttamento del calore conseguentemente un minore consumo energetico. Tende avvolgibili e strutture fisse vengono utilizzate per proteggere le finestre da fenomeni di surriscaldamento e abbagliamento. La parte superiore delle vetrate è composta da sistemi innovativi a Nanogel in grado di assicurare elevati livelli di isolamento uniti a caratteristiche di diffusione luminosa.

La struttura in cemento armato edilizia possiede una grande massa accumulatrice termica che mantiene il calore in inverno e contribuisce a prevenire il surriscaldamento estivo.

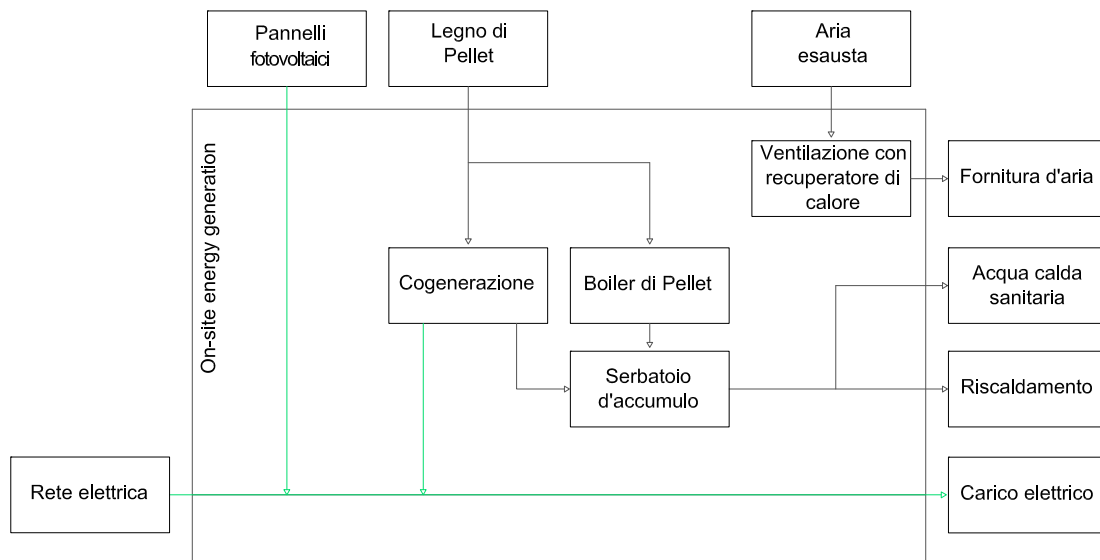


Figura 4.90: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;

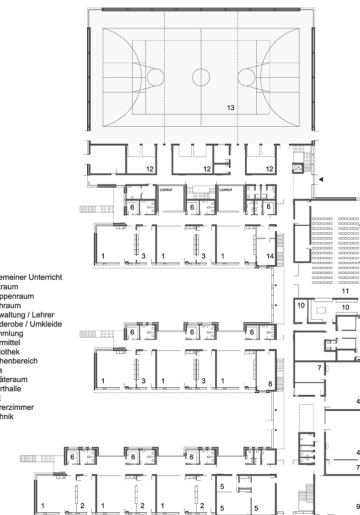


Figura 4.89: Pianta piano primo; Fonte: I. Lütkemeyer, et.al., 2011;

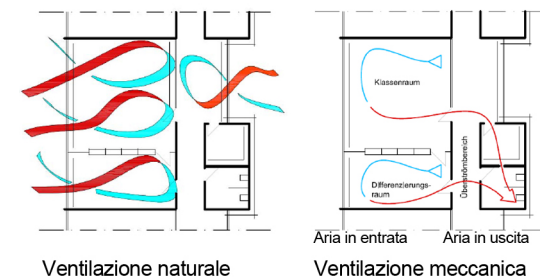


Figura 4.91: Schema della ventilazione nella "home area"; Fonte: I. Lütkemeyer, et.al., 2011;

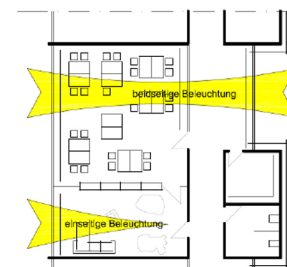


Figura 4.92: Schema dell'illuminazione nella "home area"; Fonte: I. Lütkemeyer, et.al., 2011;

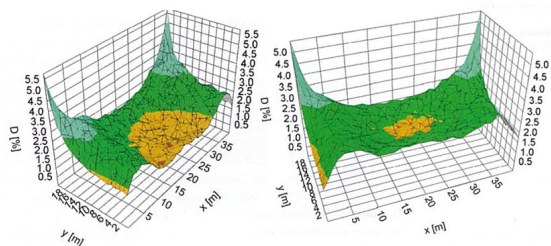


Figura 4.93: Simulazione per aiutare la corretta illuminazione della palestra; Fonte: www.ake-ev.de;

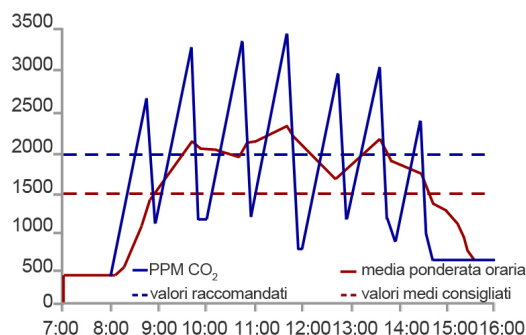


Figura 4.95: Concentrazione di CO₂ nelle aule. Livelli rilevati durante la pausa con scambio d'aria per sola ventilazione naturale (sopra) e per ventilazione naturale e meccanica (sotto); Fonte: www.ake-ev.de;

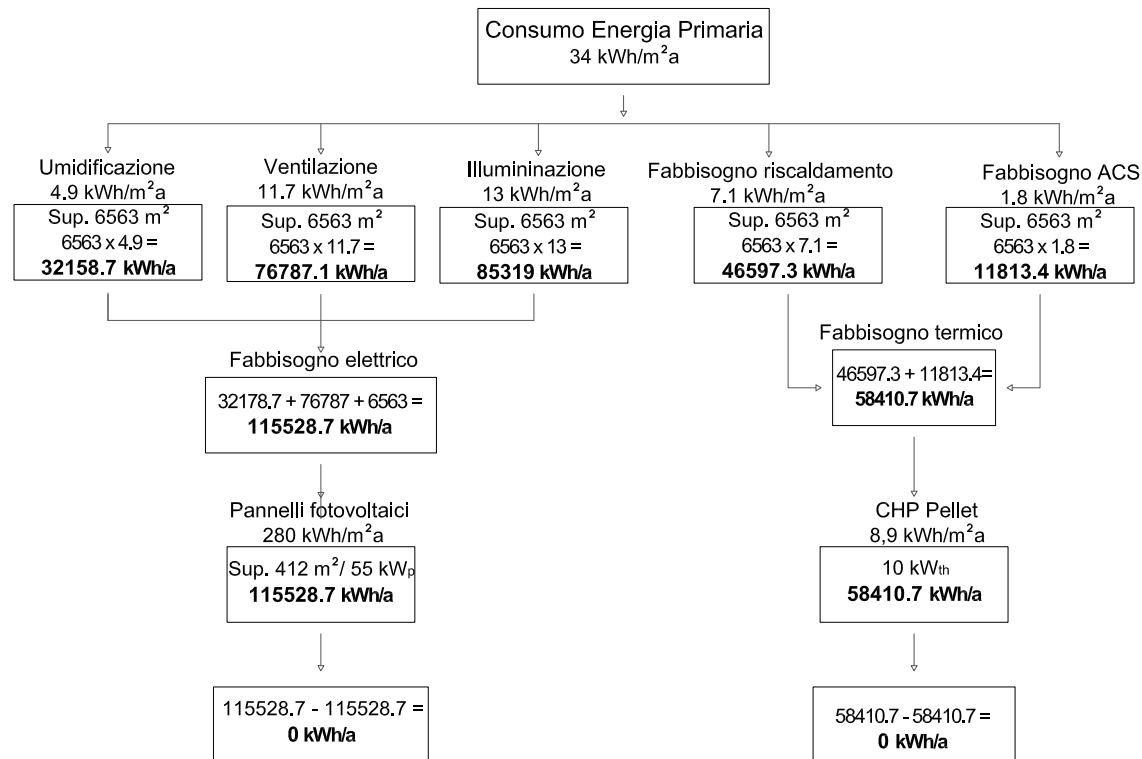
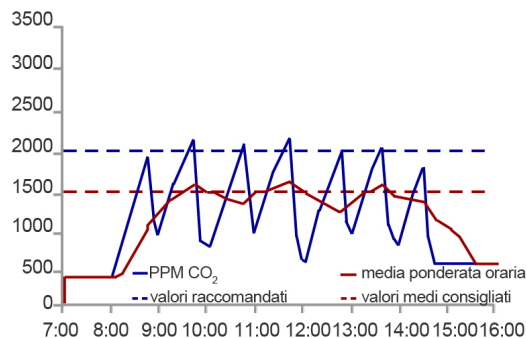


Figura 4.94: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;

Soluzioni tecnico-costruttive

Giocano un ruolo fondamentale: l'isolamento dell'involucro edilizio, il concetto di ventilazione ibrida, l'utilizzo di risorse rinnovabili e l'integrazione di componenti innovative. La stratigrafia dell'involucro è composta esternamente da mattoni a faccia a vista, internamente da uno strato di isolante in lana di roccia spesso 20 cm; in totale la facciata raggiunge un valore di trasmittanza termica U di 0,15 W/m²K. Allo scopo di ridurre la sezione e i ponti termici, nelle pareti delle aule, esposte a sud e a est, l'isolamento termico è stato sostituito con pannelli isolanti sottovuoto. Il piano terra,

con uno strato di isolante di 8 cm, raggiunge un valore U di 0,10 W/m²K, mentre il tetto, data la sua grande estensione, è stato isolato con pannelli spessi 30 cm. La dispersione termica viene minimizzata anche dalle superfici vetrate composte da triplo vetro e un fattore U 0,8 W/m²K.

Impianti

E' prevista l'installazione di apparecchiature d'illuminazione artificiale regolate in funzione alla presenza di persone e in relazione alla profondità degli ambienti. Vengono utilizzate lampadine a LED abbinata a sistemi d'illuminazione

zione convenzionali, attivati automaticamente da sensori di luce e presenza. Anche le luci di emergenza sono alimentate con lampade a LED. L'aria viene immessa all'interno delle classi anche grazie ad un sistema di ventilazione meccanica e trasportata, fino a diventare aria esausta, alle zone di servizio dove viene aspirata con un sistema dotato di recuperatore di calore con fattore 82%.

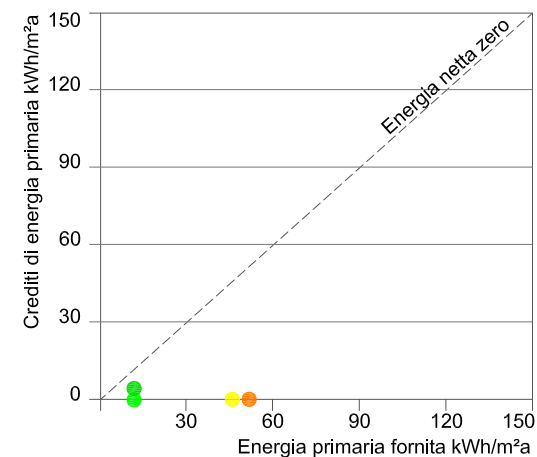
Sistema di approvvigionamento dell'energia

Per raggiungere l'obiettivo un bilancio energetico nullo a zero emissioni l'edificio utilizza per rispondere alla domanda di energia fonti rinnovabili. Un boiler a biomassa con potenza di 200 kW_{th} copre la maggior parte del fabbisogno termico dell'edificio. Un sistema a cogenerazione alimentato a pellet con 10 kW_{th} assiste la produzione di acqua calda sanitaria e compensa le perdite. L'impianto fotovoltaico montato sul tetto produce l'elettricità necessaria alla scuola e un surplus da immettere nella rete.

Bilancio energetico

Il legno utilizzato come carburante, con il suo basso fattore di conversione di 0.2, abbassa il fabbisogno di energia primaria richiesta per riscaldare, produrre acqua calda sanitaria, ventilare, raffrescare ed illuminare a 39 kWh/

m²a, corrispondenti a 9 kgCO₂/m²a. I crediti provenienti dall'elettricità prodotta dai pannelli fotovoltaici, 21 kWh/m²a, e dal sistema combinato CHP, 18 kWh/m²a, ammontano a 10 kgCO₂/m²a. Nel bilancio non viene considerata la richiesta energetica di 5 kWh/m²a necessaria per il funzionamento dell'impianto CHP; mancano quindi 6 kWh/m²a o 2 kgCO₂/m²a per bilanciare il consumo. Il bilancio può essere ottenuto o diminuendo i consumi elettrici o aumentando la potenza dell'impianto fotovoltaico a 16 kW_p.



Non è stato possibile eguagliare completamente i consumi. Nel bilancio energetico non sono considerati gli usi degli occupanti.

- Energia primaria consumata annualmente (44 kWh/m²a)
- Consumo specifico dell'edificio (39 kWh/m²a)
- Consumo coperto dalla copertura sul sito (38 kWh/m²a)
- Energia aggiuntiva generata (1 kWh/m²a)

L'alto valore di addebito nella produzione mensile è dato dalla combinazione dell'elettricità solare con un sistema a cogenerazione nonché il dimensionamento concettuale dei generatori di energia per bilanciare i consumi specifici di costruzione.

Figura 4.96: Valutazione energetica in kWh/m²a; Fonte: K. Voss, 2011;

4.11

Caso studio 11: UFFICIO + APPARTAMENTI

Villach, A 2002



Progettista:
Anton Oitzinger, AEE INTEC
Consulente energetico:
AEE INTEC



Dati di progetto

Superficie Netta di Pavimento, SNP	292 m ²
Superficie Lorda di Pavimento, SLP	394 m ²
Volume	1341 m ³
Numero totale degli occupanti	20
Sito	Villach
Radiazione annuale globale	1180kWh/m ² a
Temperatura media annuale	9.2 °C
Contesto	Suburban
Caratteristiche dell'involucro	W/m ² k
U, muri esterni	0.10
U, finestre (con telaio)	0.88
U, copertura	0.10
U, solaio inferiore	0.19

Sistemi di produzione energetica

Area collettori solari	76 m ²
Volume serbatoio termico	3050 l
Area pannelli fotovoltaici	29 m ²
Capacità	4 kW _p
Rete di infrastrutture e fonti d'energia	
Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica, prod. di pellet
Fonti di energia	legno pellet, elettricità
Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica, rete riscaldamento locale
Fonti di energia re-immessa	elettricità, calore

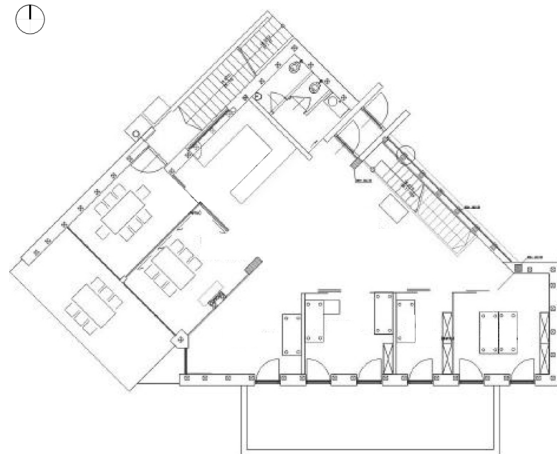


Figura 4.97: Pianta piano terra; Fonte: A. Themessl, 2004;

Strategie progettuali

Geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, ventilazione naturale, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, materiali ecologici, assenza inquinamento *indoor*, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, controllo dell'illuminazione artificiale con Led, sensori di presenza, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, scambiatore di calore con il terreno per la ventilazione, collettori solari, rete di teleriscaldamento, caldaie alimentate a pellet, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

L'edificio è stato commissionato dall'*Institute for Sustainable Technologies*, AEE INTEC, di Vil-

lach. Si può considerare un edificio multifunzionale in quanto comprende al suo interno: uffici, uno spazio per eventi e un appartamento. In pianta è possibile notare la distinzione dei due volumi principali: il volume più basso parallelo alla strada ed il volume più ampio, con la facciata orientata verso sud, pensato per captare la luce solare. L'entrata agli uffici avviene dal fronte rivolto a nord su strada. L'ambiente è stato pensato flessibile per adattarsi alle diverse condizioni di lavoro e aperto per evitare la creazione di spazi isolati e chiusi. Un atrio centrale connette le postazioni di lavoro al piano superiore con quelle al piano inferiore. La *meeting room* è collocata al piano terra e connette lo spazio interno con la terrazza esterna. L'appartamento al piano superiore è invece raggiungi-

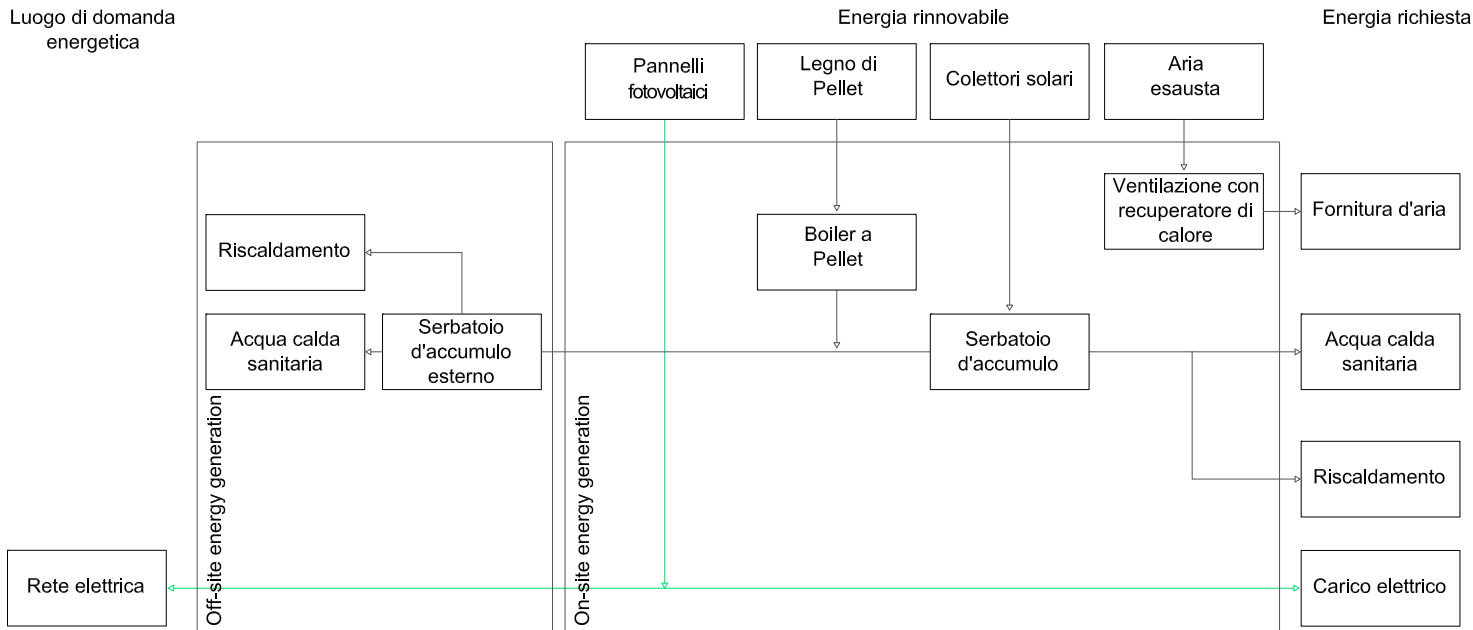


Figura 4.98: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;

bile solo dall'esterno.

Principi d'architettura bioclimatica

L'architettura si presenta esternamente come un volume molto compatto molto chiuso per ridurre le dispersioni termiche, fatta eccezione della facciata orientata verso sud di dimensioni 2.3 per 6 m invece molto aperta. Gli architetti hanno cercato di creare ambienti di lavoro caratterizzati da adeguati livelli di comfort ambientale e visivo quindi la facciata è pensata come elemento captante della luce solare che viene fatta penetrare negli ambienti retrostanti. Per evitare fenomeni di surriscaldamento e abbagliamento negli ambienti di lavoro sono previste delle tende interne.

Soluzioni tecnico-costruttive

La facciata è formata da una struttura prefab-

bricata in legno ricoperta da pannelli in legno e collettori solari. Anche le pareti interne sono ricoperte da pannelli in OSB dotati di uno strato d'isolante in cellulosa. La coibentazione gioca un ruolo fondamentale nell'architettura ai fini di ridurre i ponti termici al minimo; l'involucro edilizio raggiunge così un coefficiente di trasmittanza termica U di $1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Le superfici vetrate occupano uno spazio importante nella concezione dell'involucro edilizio; tripli vetri con telaio in alluminio e trasmittanza termica $U = 0.84 \text{ W/m}^2\text{K}$, occupano i fronti esposti a sud, est e ovest. Il giunto tra il telaio e l'elemento murario è stato riempito di lana di roccia e canapa per evitare ponti termici.

Impianti

Un sistema di ventilazione centralizzato con re-

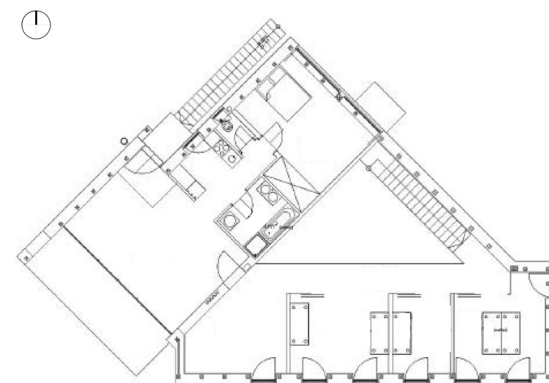


Figura 4.99: Pianta piano primo; Fonte: A. Themessl, 2004;

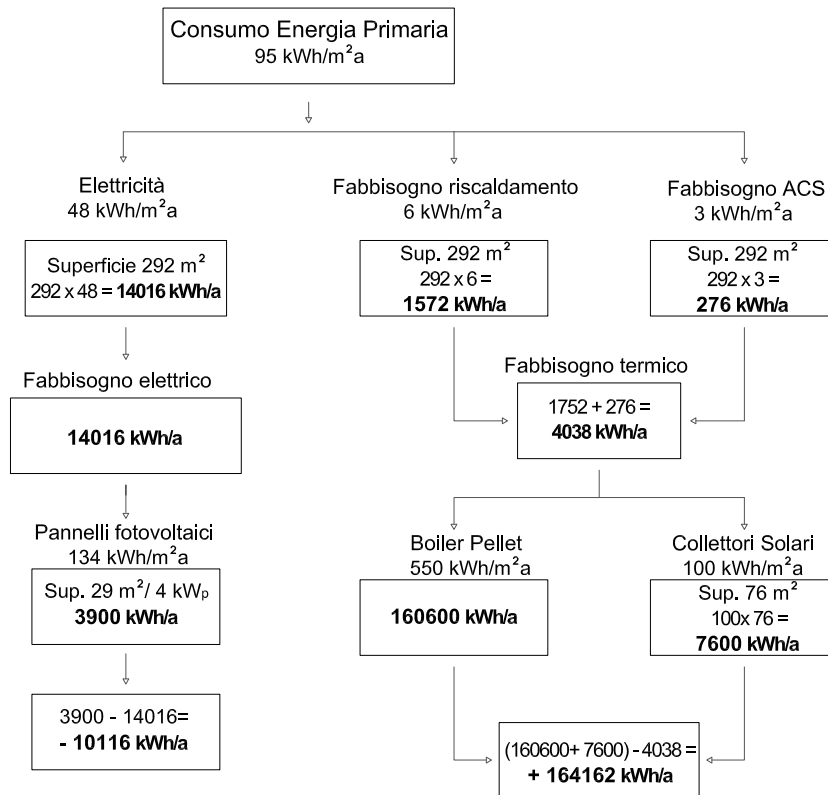


Figura 4.100: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;



Figura 4.101: Rete di collegamento degli edifici che sfruttano le fonti dell'ufficio dell'AEE INTEC; Fonte: www.cittaalpina.org

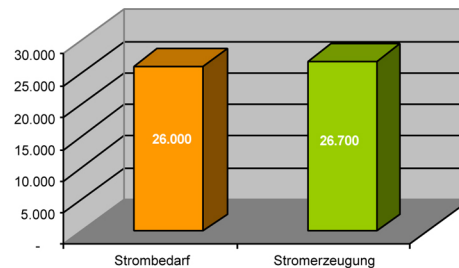


Figura 4.102: Rapporto tra il fabbisogno elettrico e l'elettricità fornita; Fonte: A.Themessl, 2004;

cuperatore di calore ad alta efficienza fornisce all'edificio un ricircolo dell'aria ad una temperatura costante di 19 °C. Uno scambiatore di calore interrato dotato di tre tubi con diametro 15 cm e di lunghezza 40 m fornisce in inverno il riscaldamento e in estate il raffrescamento per gli ambienti interni.

L'impianto di ventilazione viene anche utilizzato come fonte di riscaldamento grazie all'aggiunta di un riscaldatore alimentato dal flusso d'aria proveniente da uno scambiatore aria/acqua con una capacità termica di 6 kW. In aggiunta al sistema di ventilazione dei pannelli radianti a muro, con una temperatura di mandata di 35°C, forniscono calore all'ambiente.

Sistema di produzione dell'energia

La facciata dell'edificio orientata a sud è coperta per la maggior parte della sua superficie da collettori termici solari per un totale di 78 m². Il sistema comprende dei collettori a basso flusso utilizzati per migliorare le prestazioni di riscaldamento e diminuire le perdite di calore. Il risultato positivo aumenta sfruttando il basso flusso per ottenere una migliore stratificazione nel serbatoio d'accumulo; infatti la tecnologia della tanica prevede l'iniezione del fluido dei collettori a vari livelli.

Il serbatoio d'accumulo di 3050 l è collocato nel ripostiglio tra le mura isolate dell'edificio.

Le perdite di calore sono rese minime anche dallo strato d'isolamento di 5 cm che ricopre tutte le connessioni dirette verso la tanica.

Fino al 2005 l'energia era fornita anche da un sistema a cogenerazione alimentato a gas naturale, con una produzione di 10.5 kWh termici e 5.3 kWh elettrici. A causa di elevate spese per il mantenimento dell'impianto e l'approvvigionamento del carburante nel 2005 si è decisa la sostituzione con una caldaia a pellet di 56 kW. Il rimanente fabbisogno termico viene

prodotto da altre due caldaie a pellet con 20 e 32 kW.

L'approvvigionamento elettrico è garantito da un impianto fotovoltaico di potenza 3.6 kW_p montato sul tetto con inclinazione 30° per una superficie di 29 m². Nel 2004, al momento della messa in funzione dell'impianto, in Austria era prevista una tariffa di dieci anni di 0.72 € per ogni kWh immesso nella rete.

L'edificio è connesso ad una rete di teleriscaldamento che gli permette di alimentare grazie all'alta produzione di energia termica, circa 164162 kWh di surplus all'anno, altre sei case per un totale di quindici appartamenti. La rete è lunga 210 m. L'energia per riscaldare e produrre acqua calda sanitaria nelle case ammonta a circa 190000 kWh/a. Tre delle sei abitazioni hanno un serbatoio esterno con una capacità di 1000 l costantemente alimentato dal sistema.

Bilancio energetico

Attraverso adeguati studi è stato constatato che l'edificio riesce a raggiungere un bilancio netto zero nella produzione e richiesta di energia primaria considerata comprendendo tutte le fonti di consumo. All'interno dei confini dell'edificio l'energia primaria è stata calcolata utilizzando i fattori di conversione del software GEMIS 4.5 sulla base del consumo da pellet e dalla rete elettrica.

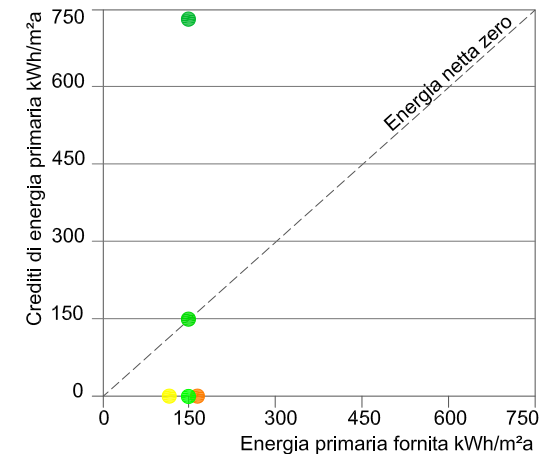
L'energia primaria richiesta ammonta ad un totale di circa 95 kWh/m²a.

La produzione di un surplus di circa 164162 kWh/a di energia termica serve all'acquisizione di crediti per bilanciare l'approvvigionamento di pellet e di elettricità dalla rete elettrica dove il fabbisogno elettrico di 48 kWh/m²a per gli edifici e gli appartamenti non può essere interamente coperto dai moduli fotovoltaici, con una produzione di 3900 kWh/a. Il primo anno di funzionamento il fabbisogno era coperto dall'impianto a cogenerazione; dopo la dismissione del siste-

ma il bilancio viene raggiunto grazie all'energia termica filtrata nella rete di teleriscaldamento.

Monitoraggio

Durante le fasi di monitoraggio si sono verificate delle anomalie nei consumi registrati. Nel 2007 il fabbisogno registrato per il riscaldamento manuale è stato calcolato di 15 kWh/a, nel 2008 di 69 kWh/a e nel 2009 di 568 kWh/a. Ci si è accorti che, durante un *back-up*, il sistema era stato accidentalmente lasciato funzionante causando così l'incremento dei consumi. Inoltre la produzione dei collettori solari registrata nel 2007 è risultata di 2200 kWh/a, valore nettamente inferiore rispetto agli stimati 3200 kWh. Si è quindi riscontrato un guasto in un *inverter* dell'impianto. Nonostante l'incremento dei dipendenti negli uffici durante il corso degli anni non si sono notate variazioni nel consumo dovuto all'utilizzo dei computer e altre tecnologie utili al lavoro, grazie all'elevata sensibilizzazione degli impiegati e al corretto uso dei macchinari.



I valori energetici calcolati mostrano che il 28 kWh/m²a del consumo totale di energia non possono essere compensate. Nel bilancio annuale l'edificio raggiunge i livelli di NZEB:

- Energia primaria consumata annualmente inclusa l'elettricità per gli appartamenti, il carico degli uffici e la produzione di calore per il riscaldamento (149 kWh/m²a)
- Consumo di energia primaria specifica dell'edificio per raffrescare e riscaldare (89 kWh/m²a)
- Bilancio del consumo attraverso il calore e l'elettricità ceduti (17 kWh/m²a)
- Bilancio del rimanente consumo attraverso l'eccesso prodotto
- Elettricità prodotta in eccesso e ceduta alla griglia pubblica e la rete di teleriscaldamento (619 kWh/m²a). La cifra elevata è causata dalla sostituzione di gas naturale, fattore di energia primaria pari a 1.1, per la generazione di calore negli edifici limitrofi.

Figura 4.103: Valutazione energetica in kWh/m²a; Fonte: K. Voss, 2011;

4.12

Caso studio 12: EDIFICIO PER UFFICI SOLAR XXI Lisbona, P 2009



Progettista:
Pedro Cabrito e Isabel Diniz,
Arquitectos
Consulente energetico:
Lomarisco Lda



Dati di progetto

Superficie Netta di Pavimento, SNP	1500 m ²
Numero totale degli occupanti	30
Sito	Lisbona
Radiazione annuale globale	6.5 kWh/m ² g
Temperatura media annuale	17 °C
Contesto	Suburban
Caratteristiche dell'involucro	W/m ² k
U, muri esterni	0.45
U, finestre (con telaio)	2.6
U, copertura	0.3
U, solaio	0.3

Sistemi di produzione energetica

Area collettori solari	16 m ²
Area pannelli fotovoltaici	100 m ²
Capacità	18 kW _p
Rete di infrastrutture e fonti d'energia	rete elettrica, rete gas
Infrastrutture di approvvigionamento	gas naturale, elettricità
Fonti di energia	rete elettrica
Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica
Fonti di energia re-immessa	elettricità

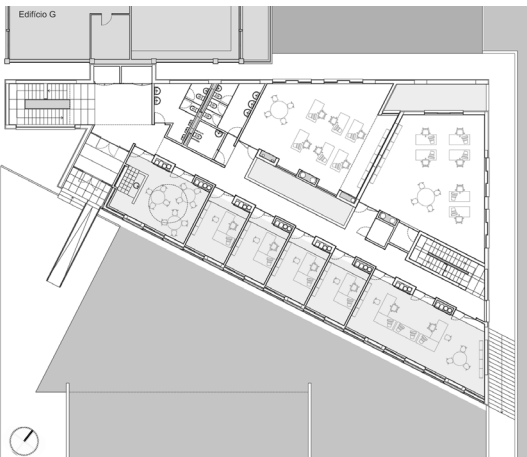


Figura 4.104: Pianta piano terra; Fonte: M.J.N. Oliveira Panao, H.J.P. Goncalves, 2011;

Strategie progettuali

Geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, patio centrale, ventilazione naturale, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, materiali ecologici, assenza inquinamento indoor, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, scambiatore di calore con il terreno per la ventilazione, collettori solari, boiler alimentato a gas, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

L'edificio Solar XII fa parte di un quartiere di destinazione mista che vede la presenza di residenze, uffici, scuole e parcheggi. Appartiene al Campus del National Laboratory of Energie

and Geology e serve da ufficio per venti impiegati. E' stato progettato combinando strategie passive con tecnologie più recenti per la produzione di energia rinnovabile. Il risultato è stato ottenuto attraverso due step fondamentali: in primo luogo la riduzione della domanda energetica per il riscaldamento, raffrescamento e illuminazione e in secondo luogo la generazione di elettricità e altre forme di energia per ricevere crediti sufficienti al raggiungimento di un bilancio nullo.

Si tratta di un volume geometricamente semplice e lineare. La distribuzione del piano prevede un vano scala e ascensore all'estremo nord della pianta collegato da un lungo corridoio longitudinale su cui si aprono gli uffici.

Principi d'architettura bioclimatica

Viene data importanza alla ventilazione naturale favorita dall'apertura delle finestre in contemporanea con le ventole, collocate sulle porte degli uffici, che permettono la circolazione dell'aria dall'interno all'esterno e viceversa. Per favorire l'illuminazione e anche la ventilazione naturale è stato progettato un cavedio centrale nell'edificio.

Il guadagno solare passivo è uno dei concetti fondamentali della progettazione; la superficie esposta a sud è composta da un movimento lineari di moduli intervallati da superfici vetrate e pannelli fotovoltaici. Le finestre provvedono a far penetrare la luce naturale negli uffici antistanti.

Le alte temperature combinate con l'elevata irradiazione solare possono causare surriscaldamento nell'edificio. Per evitare eccessivi carichi di calore sono previste all'esterno delle veneziane che garantiscono l'oscuramento.

Soluzioni tecnico-costruttive

L'involucro consiste in 22 cm di mattoni isolati esternamente da uno strato di polietilene espanso di 6 cm. Il tetto invece è isolato attraverso uno strato di polietilene estruso di 10 cm. L'involucro trasparente composto da doppi vetri ombreggiati da tende esterne ha un fattore di trasmittanza U di 0.88 W/m²K.

I pannelli solari sono integrati alla facciata in modo tale da lasciare uno strato di intercapedine tra loro e la superficie dell'edificio. L'aria che scorre nell'intercapedine viene convogliata all'interno degli ambienti attraverso due bocchette, una superiore una inferiore, controllate manualmente dai fruitori per favori condizioni ideali di comfort interno.

Impianti

Un sistema di ventilazione utilizza l'aria prelevata attraverso sonde dal terreno per raffreddare gli ambienti interni. Il sistema consiste in 32 tubi con diametro 30 cm collocati ad una

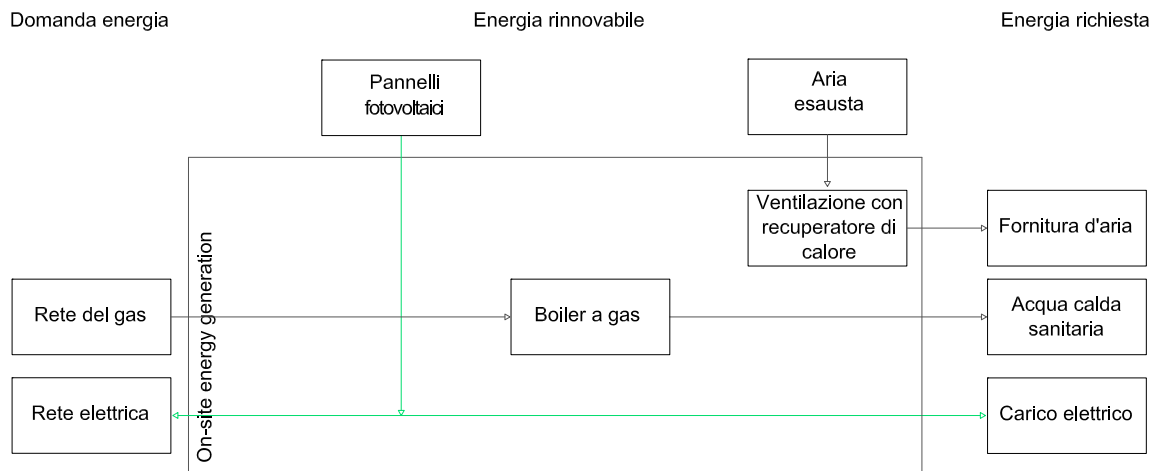


Figura 4.107: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti;

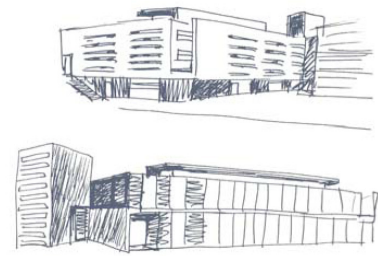


Figura 4.105: Schizzi di progetto dell'edificio Solar XXI; Fonte: H. Goncalves, P. Cabrito, 2005;

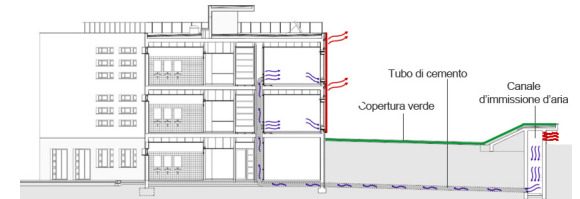


Figura 4.106: Schema ventilazione naturale; Fonte: H. Goncalves, P. Cabrito, 2005;

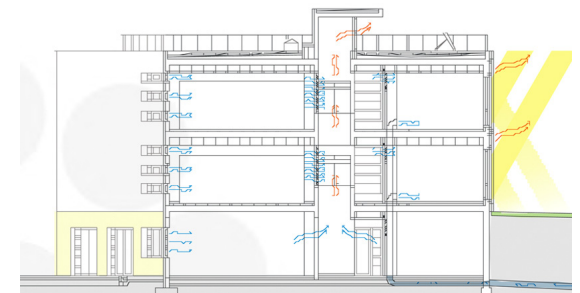
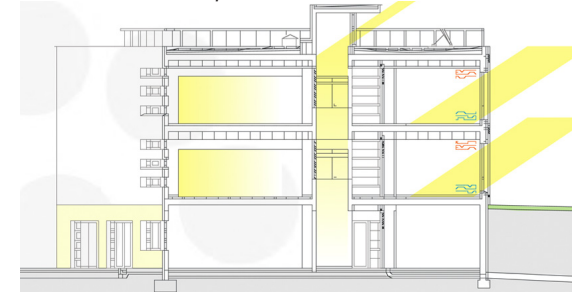


Figura 4.108: Sezione trasversale sul comportamento estivo (sopra) ed invernale (sotto) dell'edificio in merito all'illuminazione e ventilazione naturale; Fonte: www.eesc.europa.eu



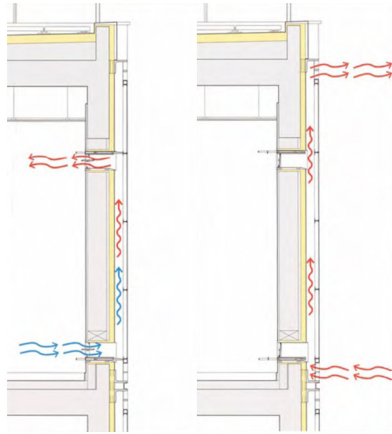


Figura 4.109: Comportamento del pannello fotovoltaico applicato in facciata in inverno (sinistra) e in estate (destra); Fonte: H. Goncalves, P. Cabrito, 2005;

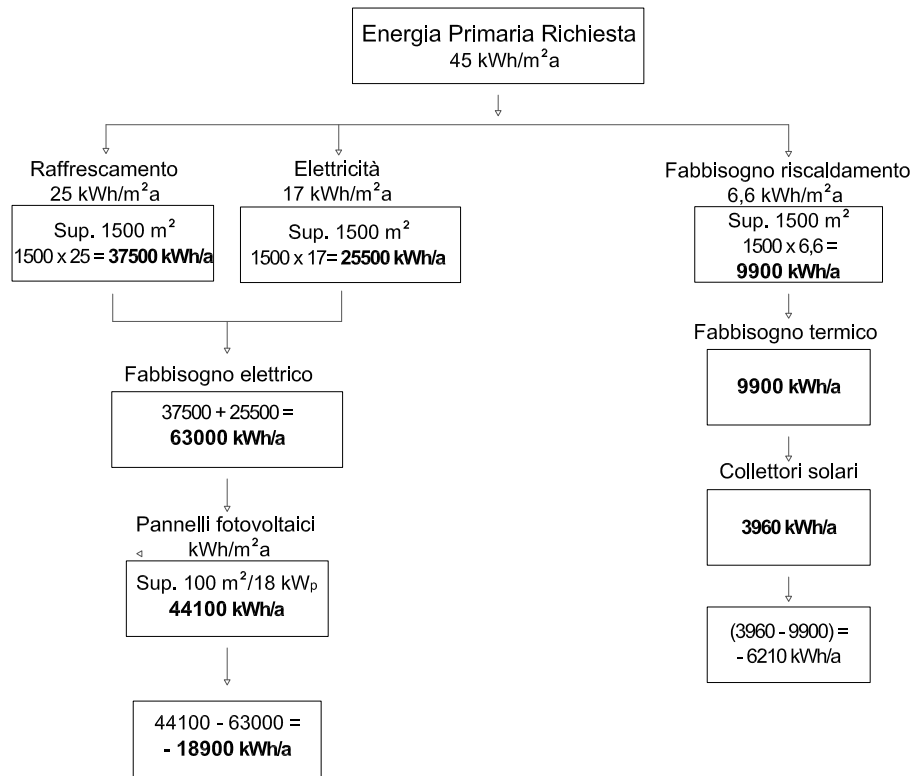


Figura 4.110: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;

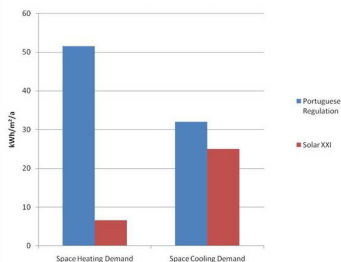


Figura 4.111: Fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento per un edificio portoghese standard confrontato con la richiesta dell'edificio Solar XXI; Fonte: M.J.N. Oliveira Pano, H.J.P. Goncalves, 2011;

profondità di 4,5 m. La temperatura del terreno varia dai 13° ai 19°C e rappresenta una fonte d'aria fresca per la calda stagione estiva. L'aria entra in tubi distanti 15 m dall'edificio, viene raffrescata dal terreno e filtrata negli uffici attraverso convezione naturale o forzata attraverso piccoli ventilatori.

Sistema di approvvigionamento dell'energia

Il calore necessario per il riscaldamento degli spazi, attraverso i pannelli radianti, e per l'ac-

qua calda sanitaria è coperto da una superficie di 16 m² di collettori solari montati sul tetto. Nei momenti di richiesta maggiore in cui i collettori non sono in grado di sopperire alla domanda di fabbisogno termico entra in gioco anche un boiler alimentato a gas.

L'elettricità viene invece fornita da 76 moduli fotovoltaici in silicio multi cristallino montati sulla facciata sud dell'edificio sommati a 100 moduli in silicio amorfo collocati sulle tettoie del parcheggio limitrofo. Il picco totale di potenza installata è di 18 kW_p, 12 kW_p per la facciata e 6 kW_p nel parcheggio, per una produzione di

circa 20 MWh/a.

Bilancio energetico

Il monitoraggio dei dati ha dimostrato che il 65% dell'energia primaria viene richiesta per l'utilizzo di apparecchiature negli uffici (computer, macchine fotocopiatrici, stampanti), il 17% per l'illuminazione, il 12% per il riscaldamento e il 5% per altro.

Nel 2007 i dati hanno riportato un consumo di energia elettrica pari a 27 MWh/a e una produzione da fotovoltaico di 21 MWh/a. I pannelli fotovoltaici in facciata hanno consegnato alla rete 1004 kWh/kW mentre quelli nel parcheggio 1401 kWh/kW. Nel febbraio 2010 si è deciso di installare un nuovo sistema di 12 kWh nelle restanti tettoie del parcheggio. Questi nuovi pannelli realizzati in CIS, con un film sottile in rame, indio e selenio, occupano una superficie di 110 m² e producono 1401 kWh/kW.

Con il nuovo impianti ci si aspetta quindi un aumento della produzione annuale di elettricità a 37 MWh/a.

I collettori solari producono 11 MWh/a, 5 MWh/a

vengono utilizzati in inverno per il riscaldamento degli spazi richiesto soprattutto per gli ambienti orientati verso nord.

Monitoraggio

Considerando i dati raccolti nel 2007 approssimativamente il 31% dell'energia elettrica utilizzata dalla rete è verde, l'edificio deve compensare 29 kWh/m²a. Questo consumo viene compensato dalla produzione, da parte dei collettori solari sommati ai pannelli fotovoltaici, di 22 kWh/m²a, quindi il bilancio finale risulta essere vicino allo zero.

I partecipanti al progetto SHC della *Task 40 ECBCS Annex 52, Towards Net Zero Solar Energy Buildings* sono tutt'ora occupati allo sviluppo di strategie possibili per il raggiungimento dello standard *net ZEB* per l'edificio Solar XXI. Nel 2010 con l'installazione degli ulteriori moduli fotovoltaici i crediti immessi per la produzione di energia aumenteranno di 35 kWh/m²a così da poter diventare edificio a bilancio energetico positivo.

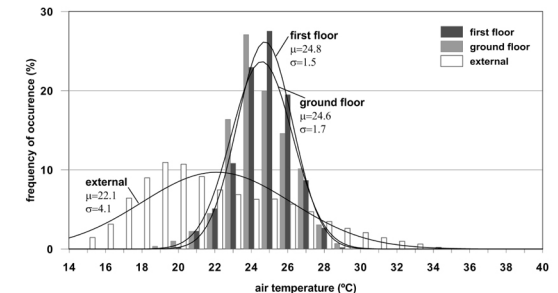
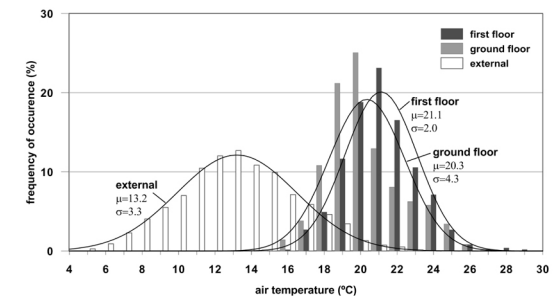


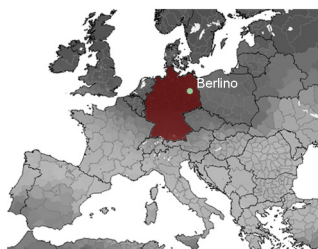
Figura 4.112: Distribuzione della temperatura esterna e relativa temperatura misurata all'interno degli ambienti in estate (sopra) e in inverno (sotto); Fonte: M.J.N. Oliveira Panao, H.J.P. Goncalves, 2011;



4.13

Caso studio 13: SEDE GENERALE SOLON

Berlino, D 2002



Progettista:
Schulte-Frohlinde Architektur
Consulente energetico:
EGS-Plan Ingenieurgesellschaft für
Energie, Gebäude und Solartechnik



Dati di progetto		Richiesta elettricità	40
Superficie Netta di Pavimento, SNP	9760 m ²	Richiesta raffrescamento	25
Superficie Lorda di Pavimento , SLP	11218 m ²	Elettricità fornita	27
Volume	48905 m ³	Sistemi di produzione energetica	
Numero totale degli occupanti	350	Area pannelli fotovoltaici	1792m ²
Sito	Berlino	Capacità	230kW _p
Radiazione annuale globale	1050kWh/m ² a	Capacità CHP	530 kW _p 360 kW _{el}
Temperatura media annuale	9.3 °C	Rete di infrastrutture e fonti d'energia	
Contesto	Urbano	Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica, rete locale ri- scaldamento
Caratteristiche dell'involucro	W/m ² k	Fonti di energia	riscaldamento locale, elettrici- tà
U, muri esterni	1.20	Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica
U, finestre (con telaio)	1.20	Fonti di energia re-immessa	elettricità
U, copertura	0.23		
U, solaio inferiore	0.30		
Richiesta energetica	kWh/m ² a		
Richiesta riscaldamento	54		
Richiesta ACS	2		

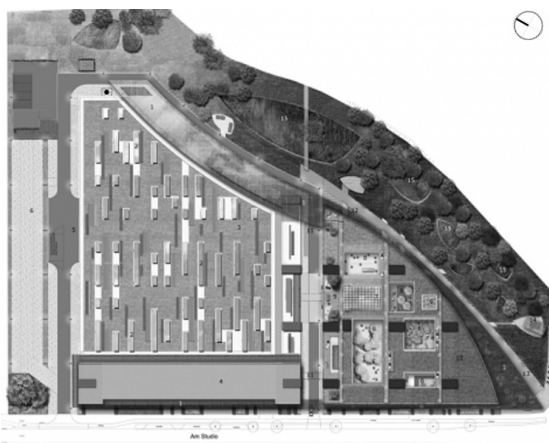


Figura 4.113: Planimetria generale; Fonte: www.archi-
tonic.com

Strategie progettuali

Geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, cavedi centrali, ventilazione naturale, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, vegetazione sul tetto, accumulo passivo di calore negli elementi costruttivi, materiali ecologici, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, principi di domotica, sensori di presenza, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, impianto a cogenerazione a biogas, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

L'edificio per uffici della Solon rappresenta un esempio dell'evoluzione progettuale verso un approccio che integri efficienza energetica,

comfort abitativo e linguaggio architettonico. La pianta si sviluppa parallelamente alle strade che la circondano per aprirsi con una forma curva verso il parco della Scienza e Tecnologia di Berlino. Nel volume di quattro piano trova spazio, al piano terreno un ristorante, con un'area per eventi e gli spazi dedicati alla produzione e sviluppo e ai piani superiori invece si collocano gli uffici. L'organizzazione interna avviene attorno a cinque patii accessibili dall'interno. Sono previsti anche otto sistemi di risalita che portano al tetto verde praticabile e accessibile.

Principi d'architettura bioclimatica

La luce del giorno e il movimento dell'aria definiscono gli aspetti principali del progetto per creare ambienti di lavoro informali e variati du-

rante le ore della giornata. La luce naturale ha svolto un ruolo fondamentale nella creazione di cortili che oltre a garantire l'illuminazione consentono di evitare un forte surriscaldamento dell'edificio in estate diminuendo il fabbisogno di raffrescamento.

Per evitare fenomeni di surriscaldamento e abbagliamento le finestre sono dotate di veneziane esterne impacchettabili e da un sistema di lamelle orientate per riflettere la radiazione luminosa verso il soffitto. Le superfici trasparenti negli uffici, caratterizzate da un triplo vetro, non sono apribili ma contribuiscono alla ventilazione naturale i pannelli opachi i quali sono protetti da intemperie tramite lamelle orizzontali in legno. L'apertura viene controllata da un sistema meccanico il quale prevede, in contemporanea, alla chiusura delle valvole di riscaldamento.

I solai interni contribuiscono a diminuire la domanda di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio per uffici grazie alla loro composizione; sono in grado di accumulare calore apportando un guadagno al risparmio energetico totale.

La destinazione a verde della copertura viene utilizzata come strategia per ridurre l'impatto ambientale, il fabbisogno energetico e le emissioni di CO₂.

Soluzioni tecnico-costruttive

L'involucro è caratterizzato da una griglia mo-

dulare di cellule prefabbricate con intelaiatura in legno di abete. Le parti trasparenti sono realizzate con un triplo vetro con intercapedine riempita di gas Argon e raggiungono una U di 1.2 - 1.6 W/m²K; nella facciata nord-ovest vengono utilizzati a piano terra e al primo piano dei vetri basso emissivi in quanto sono sottoposti ad una minore intensità solare.

Nella stratigrafia delle porzioni opache dell'involucro un pannello sottovuoto, rifinito sul lato interno con una superficie di assorbimento di lamiera forata, serve da isolante; in un laboratorio di test del *Forschungsinstitut für Wärmeschutz in Munich* (FIW) è stato testato che la conduttività termica di 6 W/mK sarà mantenuta per un periodo di 30 anni.

I solai sono pensati non come controsoffitti e pavimenti sopraelevati ma come piastre di calcestruzzo armato gettato in opera spesse 34 cm con uno strato di isolante di 12 cm che partecipano al comportamento termico dell'edificio assorbendo il calore in eccesso.

Impianti

Gli uffici sono dotati di un doppio sistema di controllo: i sensori di luminosità regolano automaticamente l'attivazione delle schermature e la temperatura locale mentre per garantire un comfort visivo migliore i singoli occupanti possono effettuare regolazione manuale per mezzo di un sistema *touch-screen* collegato al

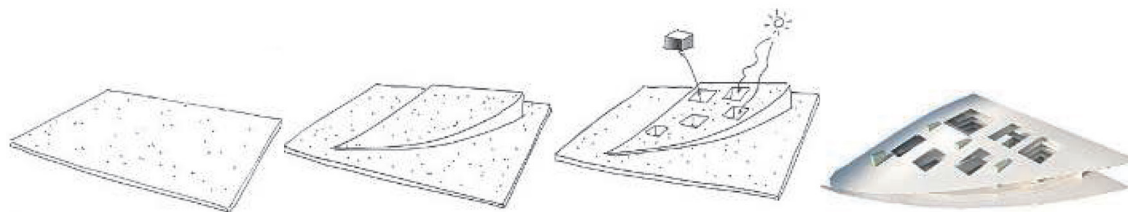


Figura 4.115: Sviluppo dell'idea di progetto; Fonte: G. Masera, 2009;



Figura 4.114: Pianta piano terra; Fonte: www.architonic.com

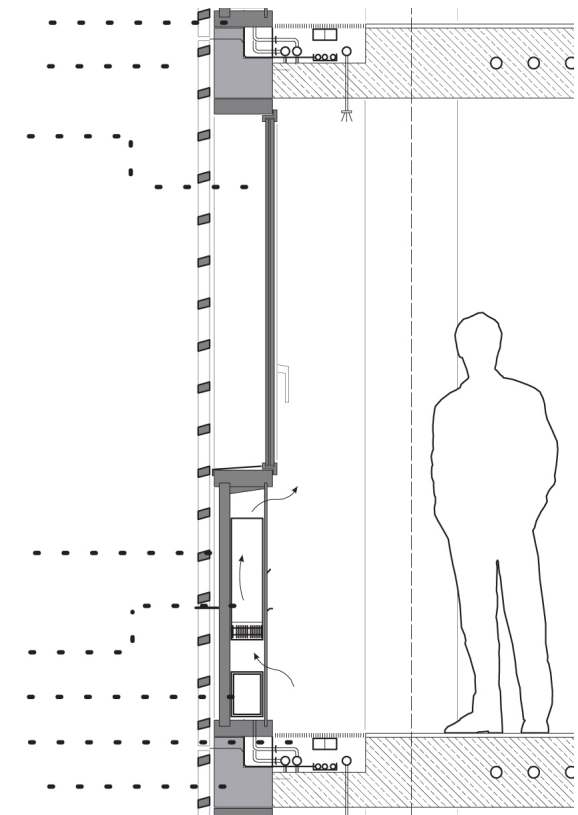


Figura 4.116: Particolare della facciata esposta a sud; Fonte: Zukunft Bau research Initiative, 2010;

Luogo di domanda energetica

Energia rinnovabile

Energia richiesta

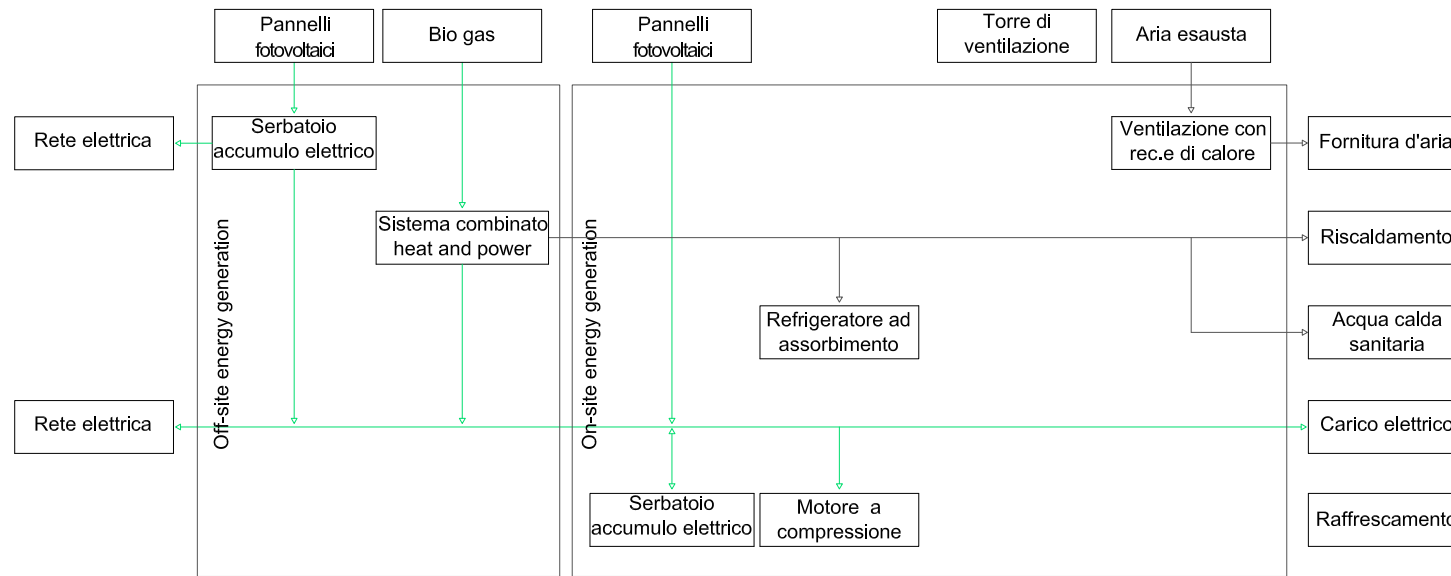


Figura 4.117: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;

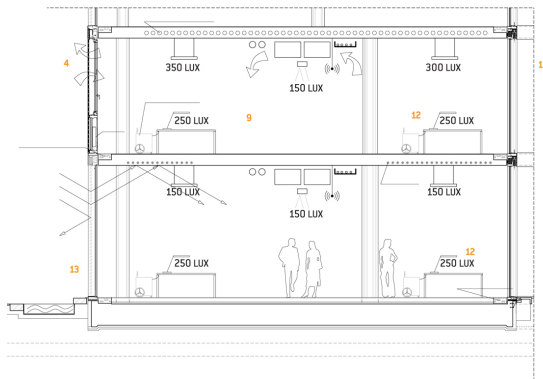


Figura 4.118: Sezione verticale, primo e secondo piano, con funzionamento impiantistico complessivo in evidenza; Fonte: G. Masera, 2009;

computer.

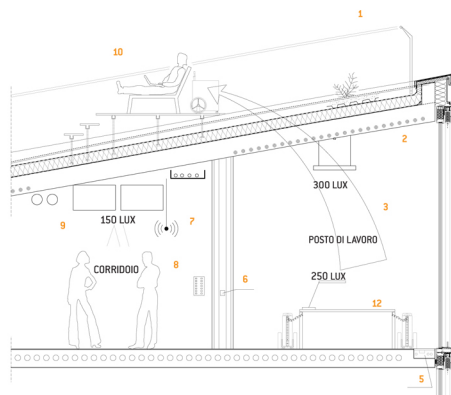
Un sistema di tubi per la climatizzazione, immersi nel getto strutturale, permettono di mantenere costante la temperatura all'interno dell'edificio; in inverno circola nei tubi acqua calda, riscaldata dal calore di scarto dell'area di produzione integrata o dall'energia prodotta dalla centrale a biogas, in estate invece il sistema di attivazione termica di massa TABS la trasforma in una superficie radiante di climatizzazione estiva.

La simulazione ha dimostrato una richiesta di riscaldamento pari a 25 kWh/m²a, 80% viene coperto dal sistema TAB e solo il 20% dai convettori integrati nella facciata. In estate la richiesta di 30 kWh/m²a di raffrescamento viene fornita per 85% dai solai "radianti" e il 15% dal sistema di condizionamento. L'edificio è dotato

di un sistema di recupero del calore il quale assicura il mantenimento di un adeguato comfort interno negli ambienti con un ricambio da 1.2/h a 1.4/h.

Sistemi di produzione d'energia

Risparmi notevoli sono possibili grazie agli impianti ad alte prestazioni e al sistema integrato di cogenerazione; per coprire il fabbisogno di riscaldamento e la richiesta di elettricità è stata installata un'unità a cogenerazione per la produzione di calore e di elettricità 530 kW_{th}. Un centro di controllo locale fornisce riscaldamento e raffrescamento agli uffici e all'edificio. Per facilitarne la manutenzione l'unità di cogenerazione è stata collocata nei pressi del centro di controllo locale per la fornitura di energia.



1. raccolta e stoccaggio dell'acqua piovana con funzione aggiuntiva di raffrescamento evaporativo in estate
2. soletta di calcestruzzo armato attivata termicamente per riscaldamento/raffrescamento
3. illuminazione naturale e artificiale integrata per mantenere 300 lux; possibilità di regolazione manuale; sensori di presenza
4. ventilazione naturale
5. sistema informativo e radiatore per riscaldamento locale
6. interruttore luce senza cavi per maggiore flessibilità degli ambienti
7. wireless lan
8. touch panel per controllo condizioni ambientali
9. ventilazione meccanica
10. posto di lavoro alternativo sul tetto
11. vetro triplo con schermatura solare, $U = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
12. dal posto di lavoro si controllano: illuminazione, temperatura, schermatura solare, riscaldamento/raffrescamento della soletta
13. schermatura solare con doppia funzione di protezione e riflessione della luce indiretta

Figura 4.119: Sezione verticale, ultimo piano, con funzionamento impiantistico complessivo in evidenza; Fonte: G. Masera, 2009;



Figura 4.120: Vista interna dell'atrio centrale; Fonte: www.schulte-frohlinde.com;

Attraverso la progettazione di un impianto a Biogas nei confini limitrofi alla centrale la Solon ha prodotto la quantità di gas necessaria per far funzionare l'impianto di cogenerazione.

Il calore prodotto dall'unità viene utilizzato in inverno per riscaldare gli spazi e in estate per raffrescare; in estate una torre di raffreddamento ibrida contribuisce al processo di raffrescamento e produzione di acqua fredda per ventilare gli ambienti di produzione e gli uffici.

Ulteriori riduzioni sono rese possibili dal sistema fotovoltaico integrato nella copertura. I moduli al silicio monocristallino ad alta efficienza, con una potenza di 230 kW_p , producono 258 kWh/a di elettricità solare riuscendo anche a produrre dell'energia in eccesso che viene immessa nella rete elettrica nazionale. I pannelli sono collocati sul perimetro del tetto per consentire ai dipendenti di utilizzare il tetto verde.

Bilancio energetico

L'edificio è stato integrato con un sistema automatico di monitoraggio sviluppato dall' *Institute für Gebäude- und Solartechnik*, IGS, di Braunschweig progettato per migliorare e ottimizzare la qualità dell'edificio durante la fase d'esercizio.

Dopo due anni i dati raccolti indicano che l'edificio riesce a raggiungere gli stessi valori stimati durante il periodo di analisi e progettazione dell'edificato. La richiesta annuale in termini di energia primaria ammonta a $98 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

Il bilancio energetico è stato raggiunto nel 2009 e nel 2010. Il consumo di energia finale per riscaldare e raffrescare l'edificio è bilanciato dalla produzione da risorse rinnovabili, in particolare dall'impianto di cogenerazione a biogas e i pannelli fotovoltaici. Questi sistemi se combinati riescono a produrre anche un surplus di elettricità che può essere immesso nella rete nazionale.

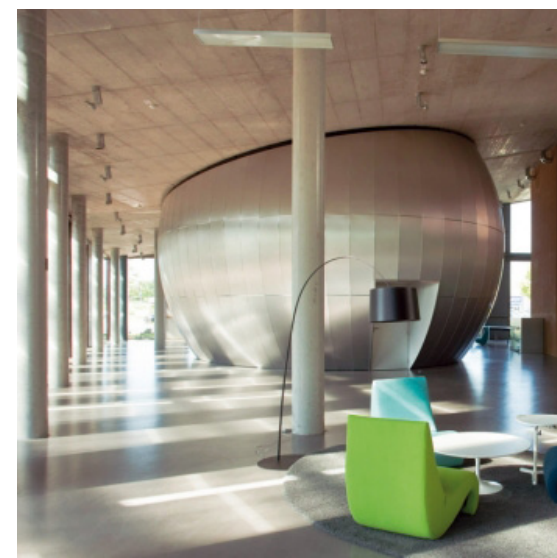


Figura 4.121: Vista interna dell'area d'incontro degli uffici della Solon; Fonte: www.schulte-frohlinde.com;

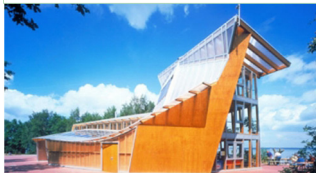
4.14

Caso studio 14: STRUTTURA RICREATIVA MARINA

Steinhude, D 2002



Progettista:
Randal Stout Architects
Consulente energetico:
Archimedes GmbH



Dati di progetto

Superficie Netta di Pavimento, SNP 296 m²
 Numero totale degli occupanti 1000 visitatori
 Sito Steinhude
 Radiazione annuale globale 1100 kWh/m²a
 Temperatura media annuale 8 °C
 Contesto Suburbano

Richiesta energetica

Totale Energia primaria richiesta	kWh/m ² a
Totale Energia primaria fornita	
Sistemi di produzione energetica	
Area pannelli fotovoltaici	153 m ²
Rete di infrastrutture e fonti d'energia	
Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica, consegna olio di colza olio di colza, elettricità
Fonti di energia	rete elettrica elettricità
Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica
Fonti di energia re-immessa	elettricità

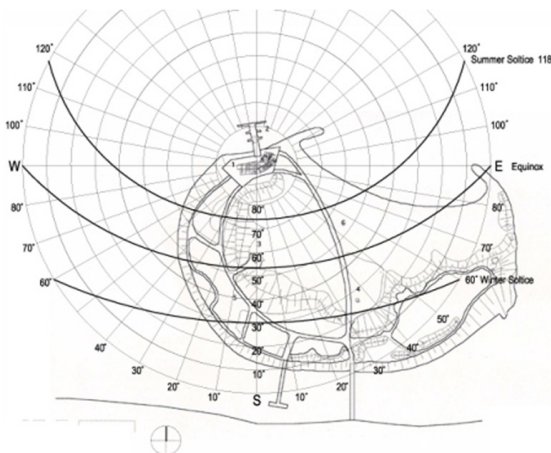


Figura 4.122: Planimetria generale; Fonte: Mary Guzowsky, 2010;

Strategie progettuali

Geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, ventilazione naturale, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, materiali ecologici, sistema di recupero dell'acqua piovana, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, collettori solari, impianto a cogenerazione alimentato ad olio di colza, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

Realizzata per l'Expo 2000 la struttura è situata a 30 km da Hannover nell'isola di Badesinsel inserita nel *Naturpark Steinhuder Meer*. L'edificio è stato costruito su una banchina per limitare l'erosione dovuta dal vento e dalle correnti del

lago. Collocato a nord dell'isola dispone di un accesso diretto dal lago e da alti fondali per la navigazione. L'accesso all'isola via terra è permesso a piedi o tramite l'utilizzo di mezzi non a motore; le vie asfaltate occupano una superficie minima per permetter il passaggio dei mezzi di soccorso.

L'edificio dalla forma leggermente curva è progettato in modo tale da minimizzare l'impatto ambientale. Le strutture per i visitatori e il personale sono localizzate nella parte lineare più bassa a due livelli e nella torre d'osservazione a tre livelli.

Ogni attività è localizzata in modo tale da trarre vantaggio dal carattere funzionale e condizioni visive contestuali; il caffè e la stazione di salvataggio guardano verso la spiaggia e il por-

ticciolo, la piattaforma di osservazione ha una visuale totalmente libera, il lato sud rimane particolarmente basso.

Principi d'architettura bioclimatica

L'orientamento, l'incidenza dei raggi del sole, i materiali, le aperture sono state strategie progettuali sintetizzate dall'inizio fino alla fase di realizzazione.

La struttura dell'edificio di *Steinhude* è ruotata di 180° rispetto al consueto orientamento favorendo l'esposizione verso nord. La facciata esposta a nord è pensata come punto di osservazione panoramica verso il lago mentre le facciate esposte a sud vengono utilizzate per captare il sole e il vento. Il surriscaldamento estivo viene evitato da semplici aggetti delle coperture che bloccano i raggi solari in estate e non ne ostruiscono il passaggio in inverno.

All'interno dell'edificio viene favorita la ventilazione incrociata; per creare un ambiente salubre la ventilazione naturale raffredda passiva-

mente gli ambienti attraverso aperture, finestre apribili ed effetto camino.

Soluzioni tecnico-costruttive

La struttura è stata realizzata con elementi prefabbricati sulla terra ferma per tutelare l'ecosistema del sito e a causa dell'impedimento d'accesso ai mezzo di trasporto.

I materiali da costruzione principali sono il legno, i pannelli murari traslucidi e il metallo utilizzato per le finestre e le scale. Tutto il legno impiegato, compresi i montanti, il compensato, le travi lamellari, è stato certificato dal centro di fonti europee come legno di riforestazione. Anche l'alluminio, il cemento utilizzato per la pavimentazione, i pannelli di isolamento in fibra minerale sono materiali riciclabili, da utilizzare anche dopo la dismissione dell'edificio.

Per permettere alla luce naturale di filtrare negli ambienti le facciate esposte a sud, est e ovest sono in policarbonato semitrasparente caratterizzati da serramenti in alluminio con taglio ter-

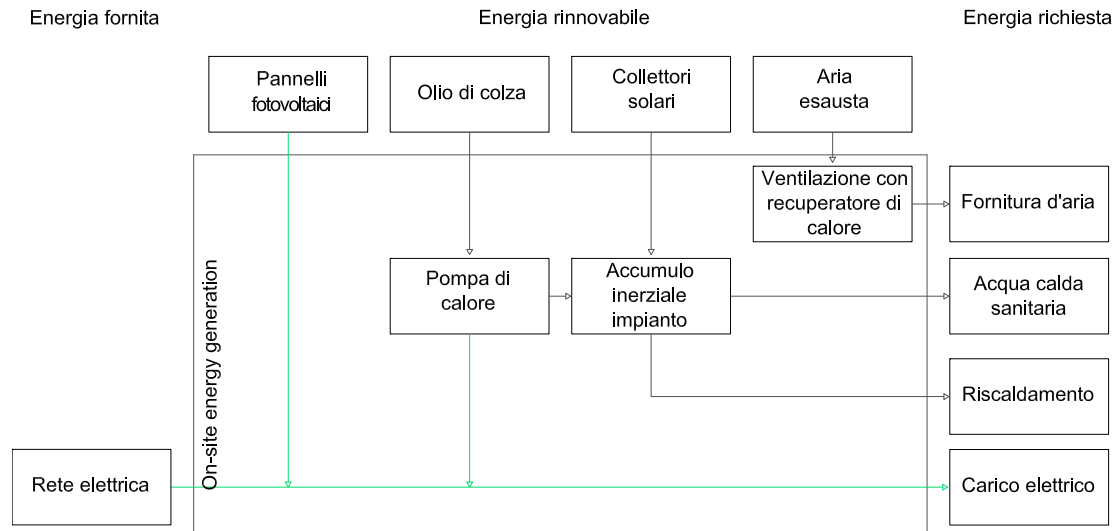


Figura 4.125: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti;

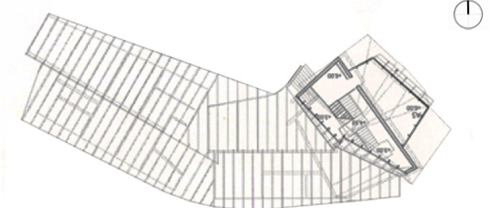


Figura 4.123: Pianta copertura; Fonte: Fonte: Mary Guzowsky,2010;

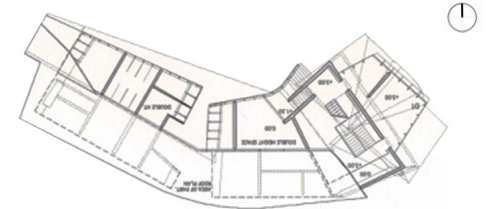


Figura 4.124: Pianta piano primo; Fonte: Mary Guzowsky,2010;

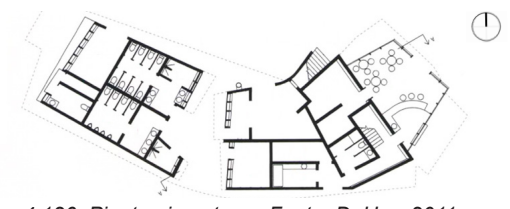


Figura 4.126: Pianta piano terra; Fonte: D. Hay, 2011;

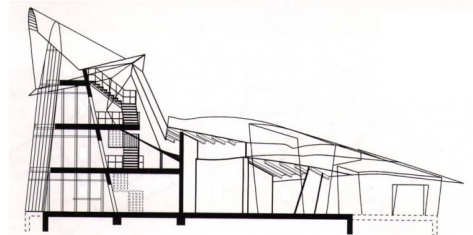


Figura 4.127: Sezione trasversale; Fonte: D. Hay, 2011;

Carburante	Costi	MJ	MJ/m ²
Acquistato		0	0 0
Rinnovabili sul sito		216000	730
Totale		216000	730

Figura 4.128: Tabella produzione dalle risorse rinnovabili;
Fonte: www.iea40.buildinggreen.com;



Figura 4.129: Vista interna dell'osservatorio sul lago;
Fonte: www.iea40.buildinggreen.com;



Figura 4.130: Vista dal lago della struttura marina di Steinhude; Fonte: www.iea40.buildinggreen.com;

mico integrato.

Impianti

Nelle strategie di riduzione dei carichi energetici rientra anche la gestione idrica dell'edificio e dell'intorno attraverso aree verdi permeabili e un sistema di raccolta dell'acqua piovana. Le acque grigie vengono utilizzate per i servizi igienici dove il sistema fognario viene connesso alla terra ferma per risolvere problemi di livello di falda.

Sistema di produzione dell'energia

Il sistema fotovoltaico si estende sulla copertura e su fasce della facciata terrazzata esposte a sud occupando una superficie di 153 m².

I pannelli producono 60000 kWh/a con una riduzione annua equivalente di 60000 kg di emissioni di anidride carbonica. L'edificio risulta essere autosufficiente riuscendo anche ad alimentare una flotta di otto imbarcazioni ad energia solare e generando un surplus di elettricità da immettere nella rete.

L'acqua calda sanitaria viene prodotta dai collettori solari ospitati nella copertura rivolta a sud. I collettori collaborano con una microturbina a cogenerazione alimentata da olio di colza che assicura la produzione di energia nei momenti di carico degli elettrodomestici e nelle giornate nuvolose.

Alcune parti dell'edificio sono accessibili solo durante la stagione estiva; questo espediente consente un notevole risparmio per quanto riguarda il riscaldamento.

Bilancio energetico

L'edificio è stato costruito grazie a nuovi processi informatici e di prefabbricazione, è l'energia che ha governato la forma dell'edificio.

L'edificio si può definire autosufficiente: il sistema fotovoltaico produce energia per soddisfa-

re il fabbisogno elettrico dell'edificio riuscendo anche ad alimentare una flotta di otto imbarcazioni ad energia solare e cedere un surplus alla rete elettrica. I pannelli fotovoltaici permettono di ridurre le emissioni di anidride carbonica di 60000 kgCO₂/a.


Le emissioni di CO₂ vengono minimizzate grazie anche alla scelta di utilizzare il legno, materiale reperibile sul luogo, come principale materiale da costruzione.

4.15


Caso studio 15: CONCORSO RESIDENZIALE BOLIG +

Aalborg, DK 2009





Progettista e Consulente energetico:
TEAM+:
Architema/Orbicon/Esbense/Faktor3/
DONG Energy/Ringgarden/
BAU-HOW



Dati di progetto			
Superficie Netta di Pavimento, SNP	7000 m ²	Fabbisogno elettrico	36,4
Numero totale degli appartamenti	60	Totale Energia primaria richiesta	80
Sito	Aalborg	Totale Energia fornita alla rete	40
Radiazione annuale globale	960 kWh/m ² a	Sistemi di produzione energetica	
Temperatura media annuale	7.0 °C	Area collettori solari	200 m ²
Contesto	Suburbano	Area pannelli fotovoltaici	1700m ²
Caratteristiche dell'involucro	W/m ² k	Rete di infrastrutture e fonti d'energia	
U, muri esterni	0.10	Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica, teleriscaldamento
U, finestre (con telaio)	0.90	Fonti di energia	elettricità, calore
U, copertura	0.07	Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica, teleriscaldamento
U, solaio	0.08	Fonti di energia re-immessa	elettricità, calore
Richiesta energetica	kWh/m ² a		
Fabbisogno termico riscaldamento	14,2		
Fabbisogno ACS	20,3		
Ventilazione	8		
Funzionamento pompa di calore	1		

Strategie progettuali

Geometria compatta, ventilazione naturale, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, collettori solari, pompa di calore, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

Il bando di concorso per la realizzazione del primo edificio costruito secondo i principi di BOLIG+ è stato vinto, nel settembre del 2009, dal gruppo Team+ composto da otto membri tra i quali architetti e ingegneri. Il bando prevede la realizzazione di un edificio situato nei pressi della banchina a nord di Aalborg Fjord. La localizzazione è difficile e a causa di un

orientamento non ottimale i vincoli prevedono la progettazione di un fronte a dieci piani, lungo la riva del fiume, e di sei piani per la parte orientata a nord-ovest. Uno dei dogmi principali per gli edifici residenziali progettati secondo lo standard BOLIG+ è l'alta qualità architettonica dell'edificio in grado di relazionarsi con il contesto locale esistente. Il progetto vincitore è stato scelto anche per le tecnologie e materiali utilizzati, attenti all'ambiente locale, e alle proprietà visuali positive che l'edificio dimostra. Anche la flessibilità alla realizzazione degli appartamenti risulta uno degli obiettivi importanti da raggiungere. L'abitazione deve essere in grado di adattarsi a tutte le necessità dei numerosi residenti. Deve essere adatta ad ospitare nuove famiglie, famiglie con bambini e persone anziane.



Figura 4.131: Planimetria generale; Fonte: www.boligplus.net



Figura 4.132: Schizzo per il concept progettuale dell'edificio BOLIG+ ad Aalborg; Fonte: www.boligplus.net;

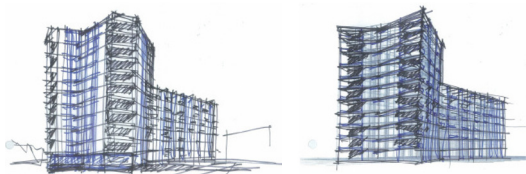


Figura 4.133: Schizzo di progetto per l'edificio BOLIG+ ad Aalborg; Fonte: www.boligplus.net;



Figura 4.134: Pianta piano tipo; Fonte: www.boligplus.net;

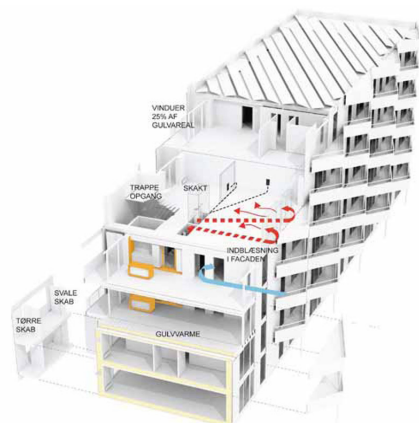


Figura 4.135: Spaccato architettonico con i principi di bioclimatica; Fonte: www.boligplus.net;

ne con limitate possibilità motorie.

Principi d'architettura bioclimatica

Per ridurre la domanda energetica l'edificio utilizza soluzioni passive. Il comfort interno è garantito da un buon orientamento e una corretta disposizione delle funzioni all'interno degli appartamenti. Le stanze sono concepite per garantire la penetrazione della luce solare e un conseguente guadagno termico passivo. Fondamentali sono però i sistemi di ombreggiamento che consentono la protezione da fenomeni di surriscaldamento e garantiscono la privacy degli abitanti.

Nel progetto viene garantita anche la ventilazione naturale sfruttando in buona parte le brezze provenienti dal canale.

Soluzioni tecnico-costruttive

Una corretta progettazione dell'involucro è importante per diminuire le perdite di calore vengono presi come riferimento i valori di trasmittanza termica utilizzati per il raggiungimento dello standard passivo: 0.1 W/m²K per i muri esterni, 0.07 W/m²K per la copertura, 0.08 W/m²K per le solette e 0.9 W/m²K per le superfici trasparenti. L'edificio residenziale è dotato di un involucro molto isolato con assenza di ponti termici per ridurre lo spreco energetico sia invernale sia estivo.

Impianti

Gli appartamenti sono provvisti di un sistema di ventilazione meccanica decentralizzato per

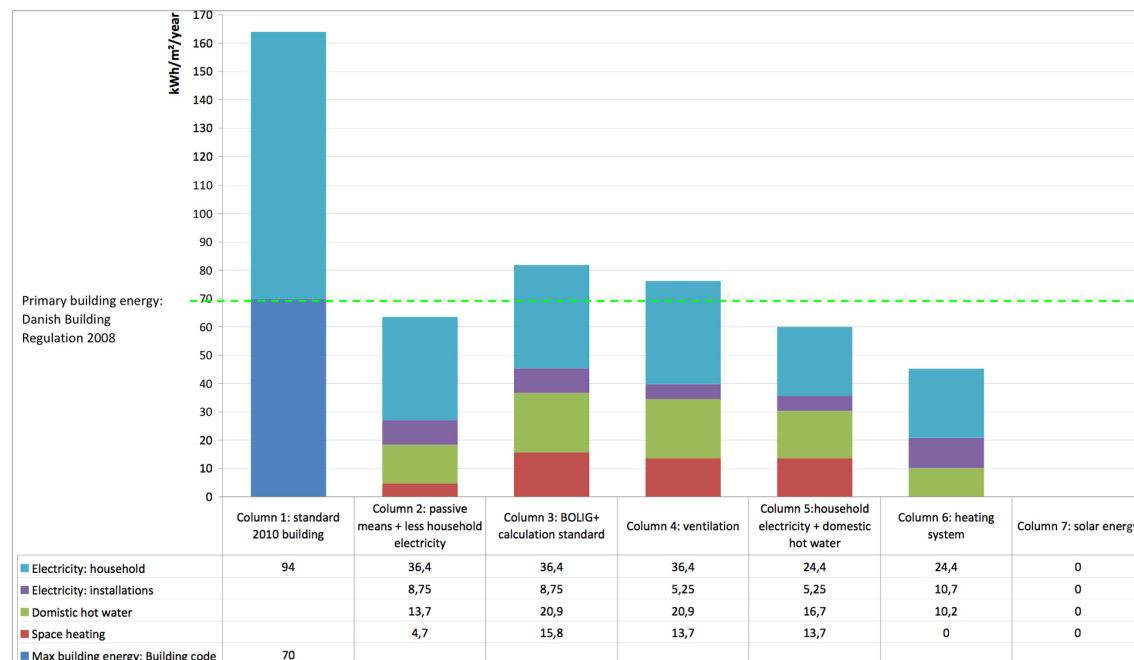


Figura 4.136: Confronto tra il fabbisogno termico ed elettrico degli standard sviluppati in daniamrca e dello standard BOLIG +; Fonte: K. Wittchen, et.al.,2010;

ridurre le dispersioni di calore. L'unità è provvista di un recuperatore di calore ad alta efficienza il quale diminuisce le perdite utilizzando il calore estratto dall'aria esausta in uscita per riscaldare l'aria in entrata. L'efficienza energetica dell'impianto viene aumentata grazie a dei sensori che valutano i livelli di CO₂ negli ambienti ed azionano automaticamente l'impianto. L'utilizzo di sistemi intelligenti per monitorare il corretto funzionamento della casa è uno dei principi fondamentale dello standard BOLIG+. La ventilazione può avvenire anche naturalmente in estate.

Sistema di produzione dell'energia

Il fabbisogno termico viene coperto da collettori solari e una pompa di calore solare che combina il calore del sole con la tecnologia della pompa in un modo innovativo. I collettori forniscono il fabbisogno termico per l'acqua calda sanitaria e come fonte di calore per il corretto funzionamento della pompa di calore che approvvigiona il sistema di riscaldamento. Questo incrementa l'efficienza di entrambi i sistemi impiantistici.

Per raggiungere l'obiettivo di edificio a bilancio zero il fabbisogno energetico viene approvvigionato dall'impianto fotovoltaico composto da moduli non sempre caratterizzati da un orientamento ottimale. I moduli sono montati sul tetto con inclinazione 15° orientati verso est o ovest. In questo modo i pannelli non si creano ombra a vicenda, anche se la loro produzione è diminuita del 30% rispetto ad un migliore orientamento. Parte dei pannelli sono installati sul parapetto dei balconi orientati a sud o sud-est. In totale la superficie di 1700 m² risulta essere sufficiente a coprire il fabbisogno energetico. Una superficie di 200 m² di pannelli stallati sul tetto funge sia da collettori solari, sia da pannelli fotovoltaici per ottimizzare l'area disponibile.

Bilancio energetico

Una delle domande del bando riguardava la riduzione della domanda elettrica per ogni appartamento da 4500 a 1700 kWh/aa. Il progetto vincitore ha raggiunto un livello di fabbisogno elettrico di energia primaria di 36.4 kWh/m²a. La crisi globale ha influenzato anche l'attività costruttiva danese bloccando la realizzazione di nuovi fabbricati. I dati necessari per la formulazione di un corretto bilancio energetico annuale non sono al momento disponibili ma ci si sta muovendo per cercare di realizzare la residenza ed elaborare calcoli più dettagliati. In generale il dogma principale dello standard BOLIG+ riguarda la neutralità energetica su base annuale.

$$Q < 35 + \text{kWh/m}^2\text{a}$$

Dove Q considera l'energia richiesta per il riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, acqua calda, produzione di calore ed elettricità. Nel calcolo la temperatura interna delle abitazioni deve essere aumentata a 22°, mentre lo standard di acqua calda deve essere aumentato da 250 l a 375 l.

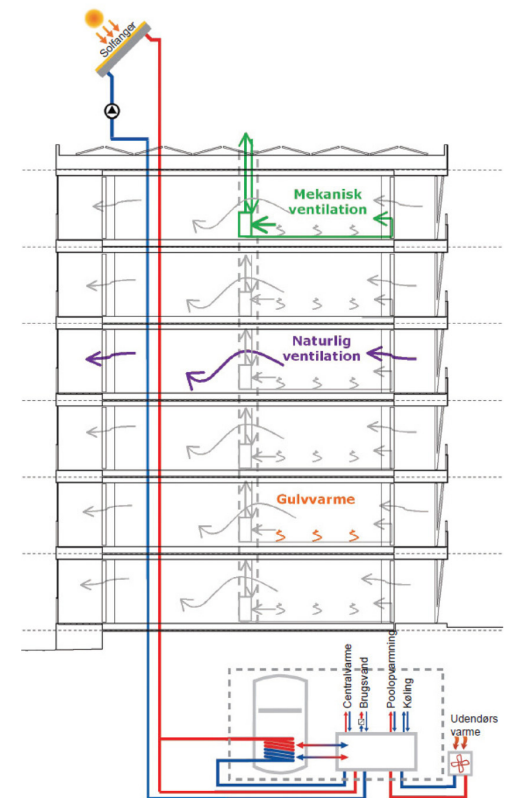


Figura 4.137: Sezione trasversale per mostrare il funzionamento degli impianti; Fonte: K. Wittchen, et.al., 2010;

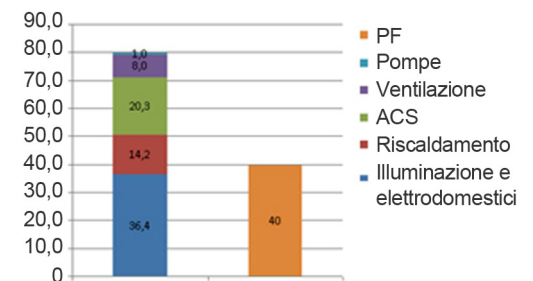
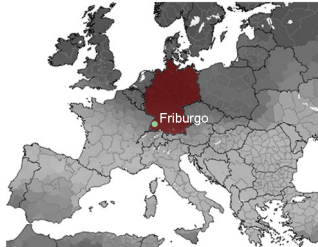


Figura 4.138: Consumi previsti per il progetto BOLIG+ ad Aalborg; Fonte: www.boligplus.net;

4.16

Caso studio 16: COMINITA' SOLARE

Friburgo, D 2006



Progettista:
Rolf Disch Solar Architektur
Consulente energetico:
Phoenix Solar



Dati di progetto

Superficie Netta di Pavimento, SNP	7890 m ²
Superficie Lorda di Pavimento, SLP	8112 m ²
Volume	24416 m ³
Numero totale degli occupanti	170
Sito	Friburgo
Radiazione annuale globale	1100 kWh/m ² a
Temperatura media annuale	11.6 °C
Contesto	Urbano
Caratteristiche dell'involucro	W/m ² k
U, muri esterni	0.12
U, finestre (con telaio)	0.80
U, copertura	0.12
U, solaio inferiore	0.16

Sistemi di produzione energetica

Area pannelli fotovoltaici	3205m ²
Capacità	400kW _p
Rete di infrastrutture e fonti d'energia	
Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica, consegna olio di colza
Fonti di energia	olio di colza, elettricità
Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica
Fonti di energia re-immessa	elettricità

Strategie progettuali

Geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, ventilazione naturale, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, materiali ecologici, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, principi di domotica, sensori di presenza, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, collettori solari, impianto a cogenerazione alimentato a pellet, rete di teleriscaldamento, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

La città di Friburgo è uno dei posti più soleggiati della nazione tedesca con un radiazione annuale globale di 1100 kWh/m². L'area residenziale prevede cinquanta case a

schiera collocate ad est dietro lo schermo visivo e acustico della *Sonnenschiff*, la Nave Solare. Le case a schiera si sviluppano perpendicolarmente all'edificio commerciale con cinque dita formate dalle abitazioni sviluppate lungo l'asse est-ovest.

Ogni unità abitativa è pensata con caratteristiche per ricavare il massimo di calore, luce ed aria dall'esterno. La progettazione modulare del quartiere edilizio permette soluzioni diverse a seconda delle esigenze. La pianta dell'appartamento tipo è sviluppata su tre livelli e prevede al piano terra un'area soggiorno e pranzo orientata a sud e la zona dei servizi verso nord. Al primo piano invece l'affaccio a sud viene dato alle camere da letto dotate di balcone, così come al secondo piano. Il soggiorno e i

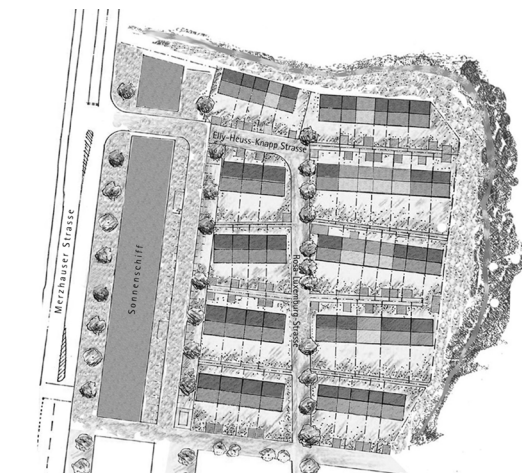


Figura 4.139: Planimetria generale; Fonte: M. Heinze, K. Voss, 2009;

balconi si affacciano sul giardino. Dato che l'edificio non prevede un piano interrato sono previsti dei capanni in alluminio, collocati lungo il sentiero che attraversa il quartiere, nei giardini privati delle case, che fungono da deposito per le abitazioni. Pedoni e biciclette accedono alle aree residenziali mediante ingressi posti lungo la via commerciale. Il centro della città è facilmente raggiungibile in bicicletta, con i mezzi pubblici o attraverso un servizio di *Car sharing* pensato apposta per la comunità. Il quartiere di Vauban è comunque dotato di asili e scuola elementare.

Principi d'architettura bioclimatica

La pianta aperta garantisce un elevato afflusso di calore, luce e aria proveniente dalla facciata a sud molto aperta e vetrata; in contrasto con la superficie orientata a nord invece molto chiusa. L'aggetto del tetto e l'inserimento di frangisole vengono utilizzati come elemento di ombreggiamento per proteggere la facciata maggiormente esposta ai raggi solari da fenomeni di

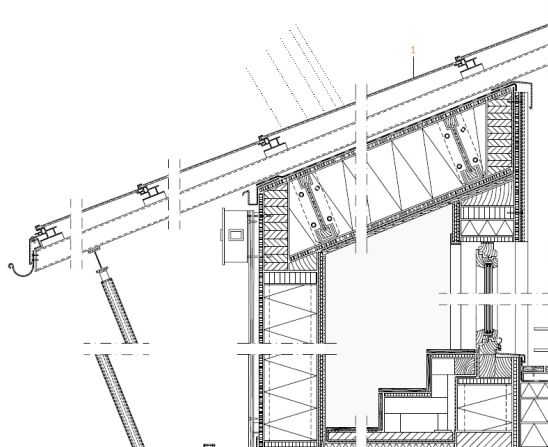


Figura 4.141: Particolare dell'attacco al tetto; Fonte: F. Frontini, 2009;

surriscaldamento e abbagliamento. L'orientamento e la dimensione degli aggetti permettono, durante la stagione invernale, ai bassi raggi solari di penetrare negli appartamenti per riscaldare gli ambienti.

Il doppio affaccio nord e sud delle residenze garantisce una ventilazione incrociata e un'illuminazione bilaterale.

Gli uffici e gli spazi commerciali della *Sonnenschiff* non seguono un orientamento passivo; il contenimento energetico viene conseguito tramite l'illuminazione e la ventilazione naturale. Dalle due facciate est e ovest proviene una notevole quantità di luce solare e aperture per la ventilazione naturale sono integrate lungo il perimetro.

Soluzioni tecnico-costruttive

Il sistema costruttivo consiste in telai ed elementi di tamponatura in legno prefabbricati così da ridurre il tempo di costruzione e dare flessibilità alle diverse ampiezze di campata richieste.

L'involucro degli edifici è caratterizzato da

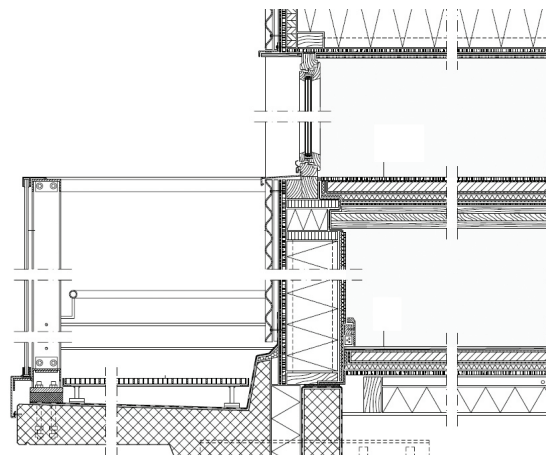


Figura 4.142: Particolare della facciata esposta a sud; Fonte: F. Frontini, 2009;

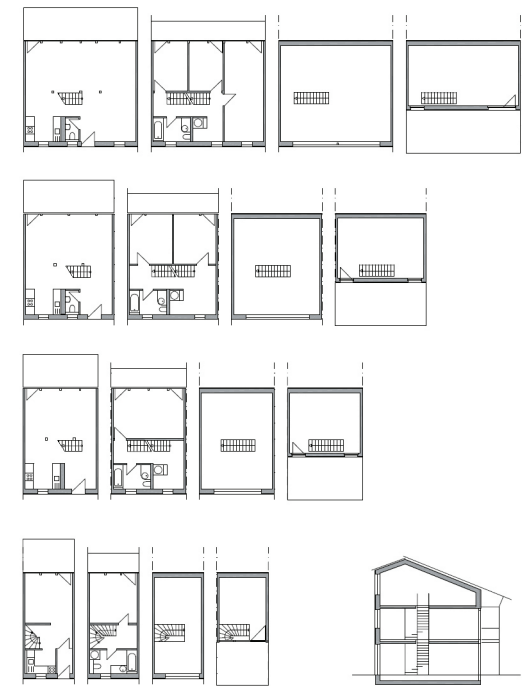


Figura 4.140: Quattro soluzioni edilizie diverse presenti nella comunità solare di Friburgo; Fonte: F. Frontini, 2009;

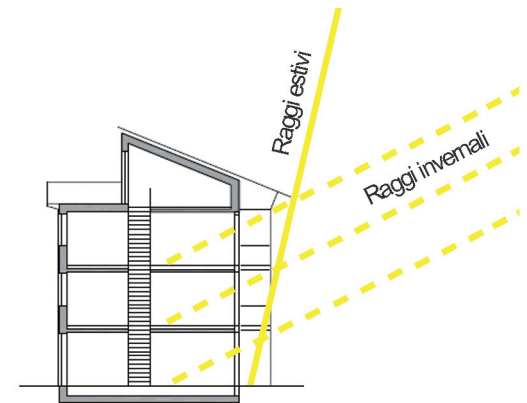


Figura 4.143: Sezione con i principi di illuminazione naturale; Fonte: F. Frontini, 2009;

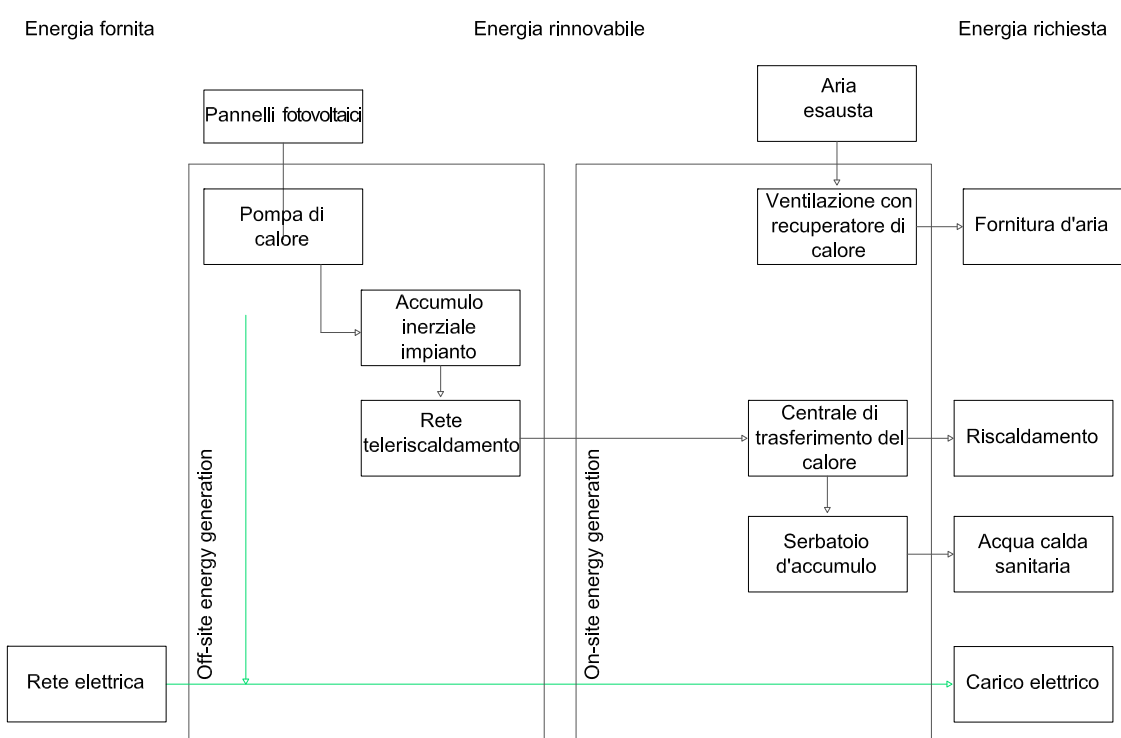


Figura 4.144: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;



Figura 4.145: Vista generale della comunità solare di Friburgo; Fonte: www.sonnenschiff.de;

una elevata efficienza energetica; molto compatti con una quantità minima di ponti termici e molto bene isolati con uno strato di 30 cm di isolante, in lana di roccia, interno ai muri e 36 cm di isolante per i tetti. La trasmittanza termica delle pareti è stata calcolata a $0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$ mentre quella del tetto a $0.11 \text{ W/m}^2\text{K}$. Le superfici trasparenti invece sono composte da tripli vetri e raggiungono un fattore di trasmissione termica tra 0.1 e $0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Impianti

La ventilazione viene favorita da un sistema decentralizzato di ventilazione meccanica con recuperatore di calore; il sistema provvede sia all'estrazione dell'aria esausta sia all'immissione di aria fresca negli ambienti. L'aria passa attraverso un dissipatore di calore, soluzione meno efficiente rispetto all'utilizzo di un sistema centrale con scambiatore di calore a flusso incrociato.

Gli uffici sono caratterizzati da componenti di ventilazione integrati servono ad accumulare calore durante l'inverno e ad abbassare la temperatura interna durante la notte in estate. Questi elementi determinano anche l'estetica dell'edificio, si presentano come componenti costruttivi sporgenti dalle gradazioni cromatiche scelte in base allo studio del colore svolto dall'artista tedesco Erich Wiesner.

Sistema di produzione dell'energia

Puntando all'autonomia energetica il complesso si affida a fonti rinnovabili quali il sole, il vento e la biomassa. Il sistema fotovoltaico e la rete di teleriscaldamento consegnano energia alla comunità solare di Friburgo.

Il generatore fotovoltaico occupa l'intera superficie delle unità abitative; la forma del tetto viene definita dall'orientamento verso sud che combinato ad un'inclinazione di 22° si rivela

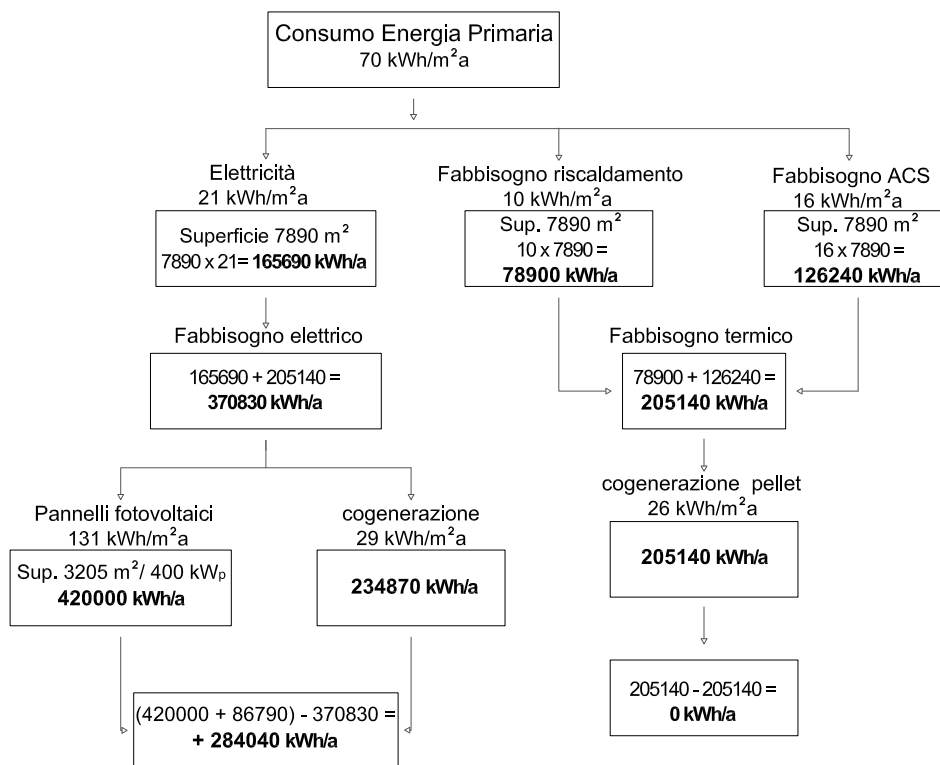


Figura 4.146: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;

essere ottimale per la prestazione fotovoltaica. La riduzione del fabbisogno energetico è data dalla programmazione, pianificazione dello spazio e le soluzioni progettuali. L'obiettivo *plus-energy* è però affidato all'impianto fotovoltaico connesso alla rete locale con un picco di potenza di 400 kW_p. Ogni abitazione produce elettricità con un proprio sistema fotovoltaico.

Il fabbisogno termico per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria viene soddisfatto dalla connessione al sistema di teleriscaldamento. La rete viene alimentata da un sistema combinato per la produzione di energia e calore alimentato a legna collocato nei

confini del distretto di *Vauban*. La griglia è commessa alle singole abitazioni e a un serbatoio di accumulo decentralizzato per la produzione di acqua calda. In questo modo, in estate, è possibile ridurre le perdite di calore dovute al trasporto grazie all'approvvigionamento di acqua ricevuto dal serbatoio.

Bilancio energetico

Nella comunità solare viene applicato un bilancio riguardante l'energia primaria calcolata considerando tutti i tipi consumi prendendo come confine del sistema il distretto del riferimento progettuale. Il fattore di conversione

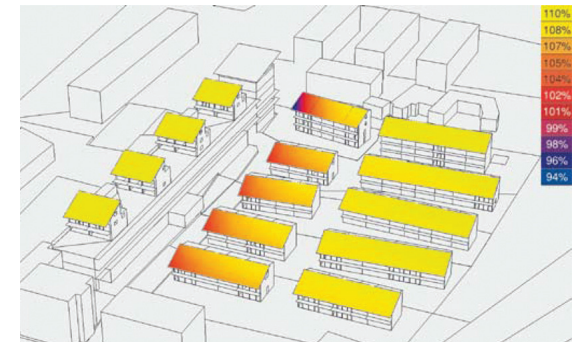


Figura 4.147: Radiazione solare sulle superfici fotovoltaiche sul tetto, valori monitorati nell'arco di un anno; Fonte: M. Heinze, K. Voss, 2009;

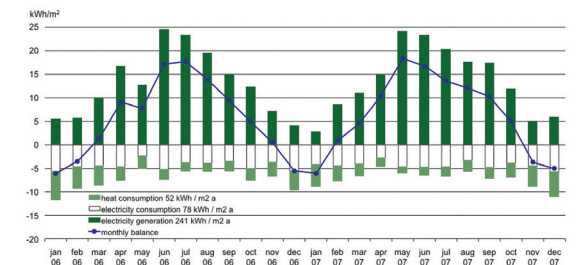


Figura 4.148: Bilancio tra il consumo e la produzione di energia elettrica e termica misurate tra il 2006 e il 2007; Fonte: M. Heinze, K. Voss, 2009;

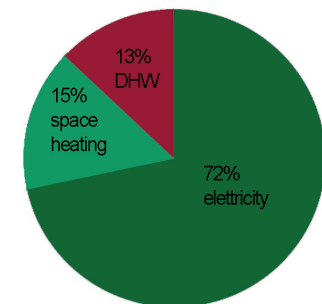
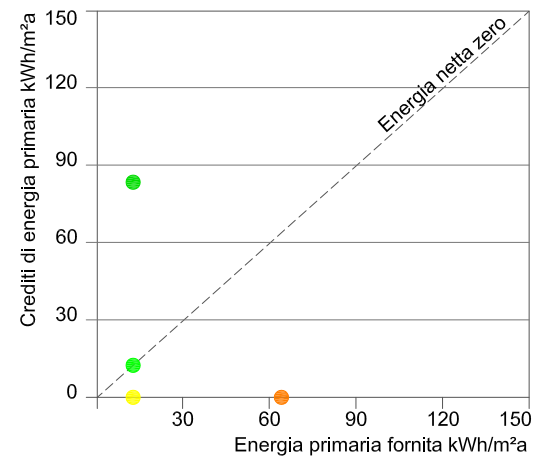


Figura 4.149: Diagramma della domanda energetica suddivisa in percentuali a seconda dell'influenza esercitata dalle diverse voci di consumo; Fonte: M. Heinze, K. Voss, 2009;

dell'energia primaria richiesta per riscaldare è di 0,6; questo può essere totalmente bilanciato dalla grande quantità di elettricità prodotta in eccesso dai pannelli fotovoltaici e quindi filtrata nella rete. I pannelli producono, in un anno, una quantità maggiore di elettricità rispetto a quella che le abitazioni necessitano. Solo nel periodo compreso tra Novembre e Gennaio l'edificio non riesce a produrre più del fabbisogno effettivo; il fabbisogno mancato nel periodo invernale di 10 kWh/m²a viene bilanciato dai collettori con la produzione di un *surplus* energetico durante la stagione estiva.

Prima del 2010 la Direttiva sulle Risorse Rinnovabili vigente in Germania supportava l'immissione in rete di energia prodotta dal fotovoltaico maggiormente che non l'utilizzo di quest'energia sul luogo per coprire il proprio fabbisogno. Nel 2010 questa direttiva è stata cambiata. Oggi lo stato premia maggiormente i consumatori che utilizzano l'energia rinnovabile per soddisfare in primo luogo la propria domanda e in secondo luogo prevedere un'eventuale immissione in rete dell'elettricità prodotta in eccesso. I crediti previsti per l'energia generata sono 0.23 €/kWh mentre quelli previsti per l'energia immessa ammontano a 0.33 €/kWh ogni 30 kWh.



Bilancio energetico per raggiungere l'obiettivo NZEB.

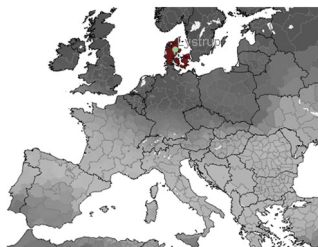
- Energia primaria consumata annualmente compresa l'energia utilizzata dagli occupanti (70 kWh/m²a)
- Consumo rimasto dalla generazione sul sito mensilmente (60 kWh/m²a)
- Compensazione stagionale dalla produzione mensile
- Energia aggiuntiva generata annualmente (3 kWh/m²a)

I pannelli fotovoltaici possono coprire i bassi livelli di fabbisogno energetico anche in autunno e primavera.

Figura 4.150: Valutazione energetica in kWh/m²a; Fonte: K. Voss, 2011;

4.17 Caso studio 17: HOME FOR LIFE

Lystrup, DK 2009



Progettista:
Aart Architekten
Consulente energetico:
Esbensen Rådgivende Ingeniører



Dati di progetto

Superficie Netta di Pavimento, SNP	200 m ²
Superficie Lorda di Pavimento, SLP	230 m ²
Volume	550 m ³
Numero totale degli occupanti	5
Sito	Lystrup
Radiazione annuale globale	980 kWh/m ² a
Temperatura media annuale	7.6 °C
Contesto	Suburbano
Caratteristiche dell'involucro	W/m ² k
U, muri esterni	0.10
U, finestre (con telaio)	1.00
U, copertura	0.07
U, solaio inferiore	0.07

Sistemi di produzione energetica

Area collettori solari	7 m ²
Volume serbatoio termico	800 l
Area pannelli fotovoltaici	50 m ²
Capacità	6 kWp
Rete di infrastrutture e fonti d'energia	
Infr. di approvvigionamento	rete elettrica
Fonti di energia	elettricità
Re-immessa nell'infr.	rete elettrica
Fonti di energia re-immessa	elettricità

Strategie progettuali

Geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, ventilazione naturale, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, vegetazione, materiali ecologici, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, principi di domotica, sensori di presenza, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, collettori solari, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

La casa isolata progettata dagli architetti Aart rappresenta una reinterpretazione della classica abitazione unifamiliare danese. L'edificio instaura una chiara relazione tra interno ed esterno attraverso le aperture e l'utilizzo di una pavimentazione in ardesia che continua

dall'abitazione e si protende verso il giardino. La pianta è composta da due rettangoli sfalsati e organizzati in modo da creare spazi d'aggregazione per la famiglia. Un soggiorno molto ampio con cucina al piano terreno e le camere private al secondo piano costituiscono l'organizzazione in pianta dell'abitato. Le camere sono dotate di due ampi balconi che consentono la vista sulla baia di Aarhus, mentre al primo piano una "multy house" serve da riparo per le biciclette e gli attrezzi da giardino.

Principi d'architettura bioclimatica

L'abitazione monofamiliare segue un orientamento ottimale ed è organizzata secondo l'asse est-ovest per massimizzare i guadagni dati dall'apporto solare. Il fronte sud appare più



Figura 4.151: Planimetria generale scala 1:750; Fonte: Aart Architects, 2009;

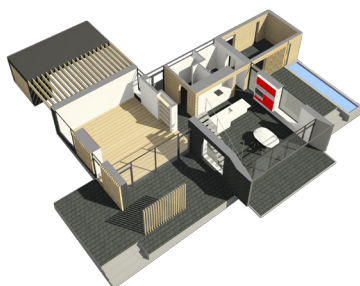


Figura 4.152: Spaccato pianta piano terra;
Fonte: Aart Architects, 2009;

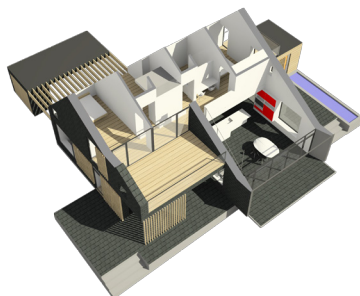


Figura 4.153: Spaccato pianta piano primo;
Fonte: Aart Architects, 2009;

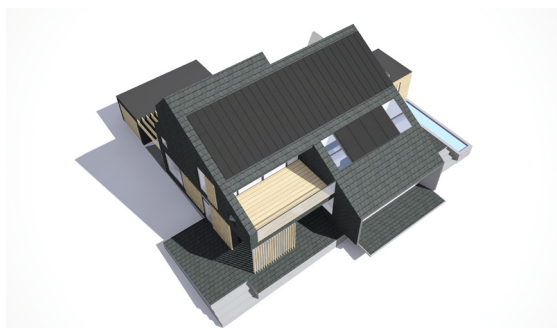


Figura 4.154: Spaccato vista dall'alto;
Fonte: Aart Architects, 2009;

aperto ed accogliente grazie alle vetrate a tutta altezza che lo caratterizzano mentre la facciata esposta a nord invece risulta essere molto chiusa e protetta.

L'area delle finestre sia verticale sia collocate sul tetto equivale al 40% della superficie calpestabile permettendo ad una quantità di luce naturale, due volte maggiore rispetto alle convenzionali case a basso consumo, di penetrare negli ambienti. Le superfici finestrate, cruciali per la quantità di calore passivo guadagnato, coprono il 68% del fabbisogno di riscaldamento domestico necessario. Per ridurre il surriscaldamento estivo il fattore di trasmissione delle finestre risulta essere 45% con una trasmittanza di luce del 67%.

Data l'ampia superficie occupata dalle parti vetrate è stata fondamentale una corretta pro-

gettazione degli elementi di ombreggiamento. Il tetto sporge verso sud di un metro e consente di proteggere le vetrate dal sole estivo. Sono stati previsti anche tendaggi in grado di fare passare l'irraggiamento solare durante il periodo invernale e rifletterlo durante il periodo estivo per evitare fenomeni di surriscaldamento interno degli ambienti.

Soluzioni tecnico-costruttive

L'edificio è rivestito esternamente da lastre di ardesia fissate e da un mosaico di mattonelle in vetro riciclato. Tutte le superfici trasparenti sono caratterizzate da triplo vetro con intercapedine riempita di gas argon e il coefficiente di trasmittanza termica U pari a 1.1 W/m²K per le finestre in facciata e 1.0 W/m²K per le finestre sul tetto.

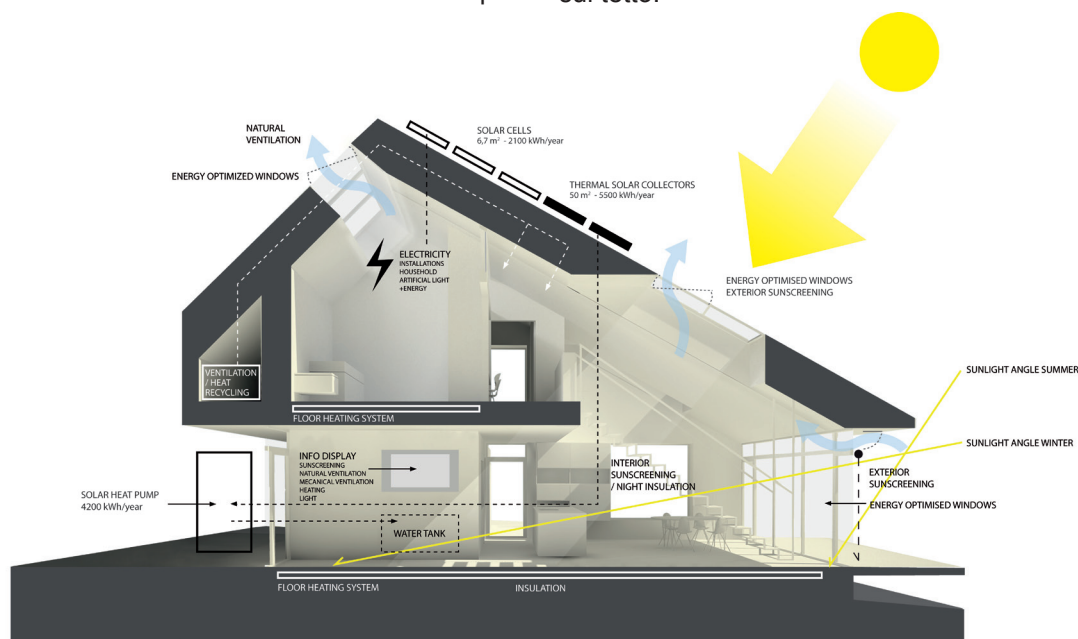


Figura 4.155: Sezione trasversale rappresentante i principi energetici; Fonte: Aart Architects, 2009;

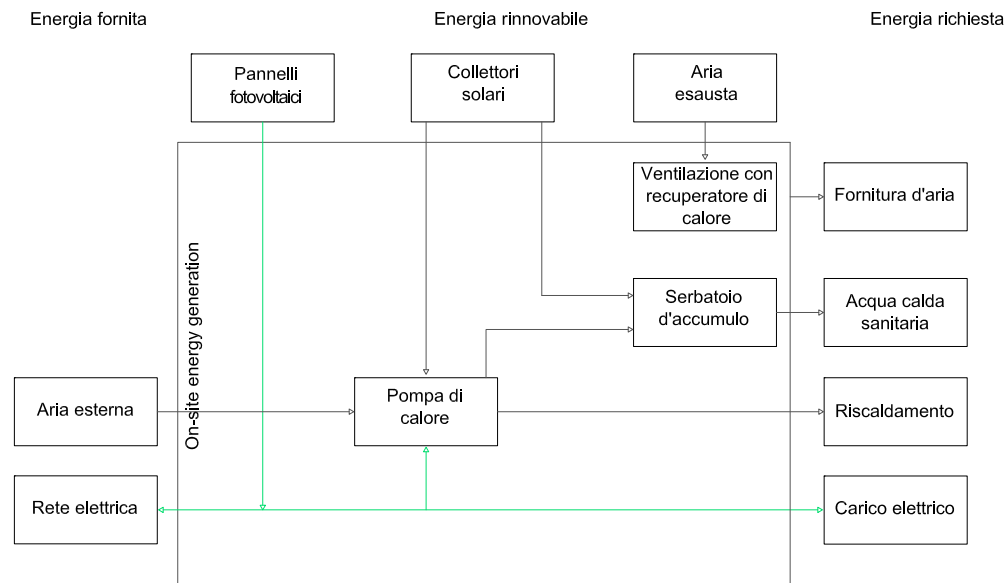


Figura 4.156: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;

Per assicurare all'interno un ambiente salubre e confortevole dei sensori registrano la quantità di calore, di umidità e di CO₂ presente in ogni stanza. Un sistema di controllo elettronico aiuta ad assicurare un clima confortevole interno e un consumo minimo di energia.

Impianti

La ventilazione all'interno dell'abitazione è regolata da un sistema di ventilazione meccanica adatto ad essere programmato a seconda delle esigenze degli occupanti. L'aria circola dalle "stanze pulite", quali le camere da letto e il soggiorno, alle stanze "esauste", la cucina, il bagno e la lavanderia. Un recuperatore di calore permette di recuperare il calore interno all'aria viziata e cederlo all'aria in entrata. L'aria in entrata viene precedentemente riscaldata in

inverno e raffrescata in estate.

La centrale tecnologica è il cuore della *Home for Life*. Sono presenti molti sensori per i controlli diversi. Dei sensori gestiscono autonomamente il controllo dei sistemi di ombreggiamento per proteggere dalle radiazioni solari e il riscaldamento dell'ambiente attivate in modo differente a seconda dell'orientamento e senza privare le stanze dalla penetrazione indiretta della luce naturale. Per aumentare la sicurezza e il risparmio energetico sono presenti dei sensori di movimento che attivano la luce artificiale e la disattivano nel momento in cui la stanza risulta essere non occupata.

Sistema di produzione dell'energia

I 200 m² dell'edificio monofamiliare sono stati progettati per raggiungere l'obiettivo di un

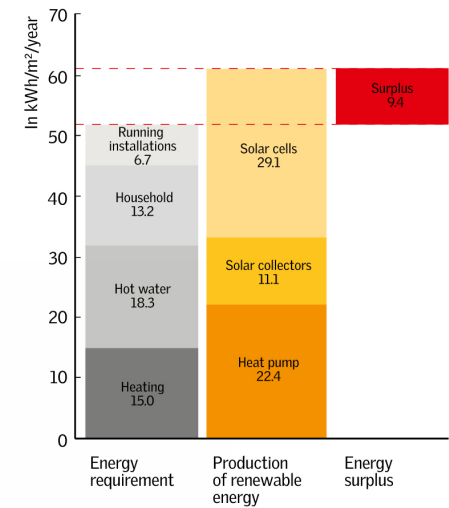


Figura 4.157: Quantità di energia primaria richiesta e prodotta dall'edificio in kWh/m²a; Fonte: www.velfac.dk;



Figura 4.158: Particolare della facciata orientata a nord est; Fonte: Aart Architects, 2009;

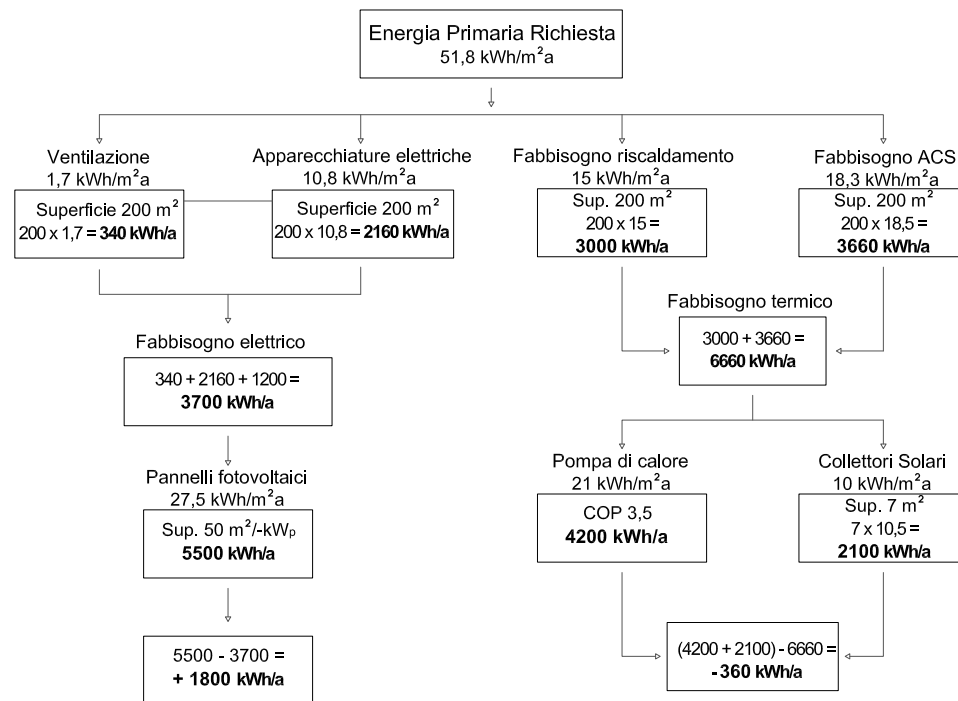


Figura 4.159: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;



Figura 4.160: Vista da nord-est; Fonte: Aart Architechts, 2009;

edificio a zero emissioni di CO₂; grazie ai 7 m² dei collettori solari, 50 m² occupati dalle cellule fotovoltaiche e la pompa di calore aria-acqua sono progettate per produrre più energia di quello che consumano. Con una produzione in eccessi di 9 kWh/m²a si calcola che la casa necessiti all'incirca 40 anni ha generare la stessa quantità di energia utilizzata per i materiali da costruzione.

I collettori solari sono collegati ad un serbatoio di raccolta per rifornire il riscaldamento degli ambienti e l'acqua calda sanitaria. Al serbatoio è collegata anche la pompa di calore che utilizza sia il calore prodotto dai collettori solari sia il calore fornito dal terreno.

Bilancio energetico

Secondo i dati raccolti la casa è stata in grado di produrre un surplus di energia di circa 1800 kWh/a; l'impianto fotovoltaico ha contribuito alla produzione di circa 5500 kWh/a fornendo il fabbisogno elettrico necessario per il funzionamento sia della pompa di calore, circa 1200 kWh/a, sia per ventilazione e altre richieste di elettricità. Si calcola che la casa necessiti all'incirca 40 anni ha generare la stessa quantità di energia utilizzata per i materiali da costruzione, la quale ammonta all'incirca a 500 kWh/m².

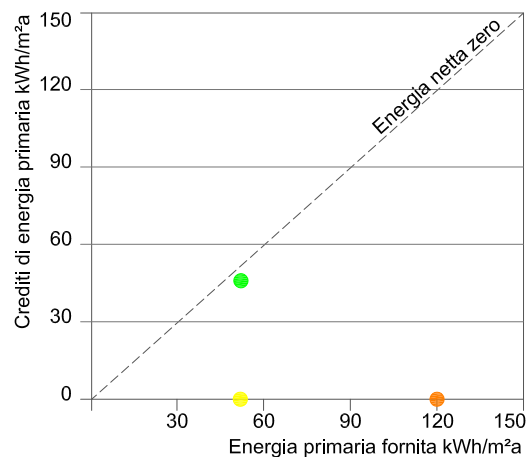
Monitoraggio

Home for life è stata ora venduta alla famiglia Kristensen. Il monitoraggio e le osservazioni continueranno per ridurre i consumi energetici per il riscaldamento e il controllo. Durante il primo anno di funzionamento dell'abitazione sono stati confrontati le prestazioni della casa e i calcoli teorici sulla base dei quali la casa è stata progettata.

L'energia misura per la produzione del fabbisogno di acqua calda sanitaria è risultata molto inferiore ai livelli previsti. Il sistema di ventila-

zione è risultato fuori servizio per un totale di 14 giorni; in quei giorni l'aria non è stata preriscaldata. Inoltre la pompa di calore non è risulta conforme alle reali aspettative, il suo rendimento è stato più basso rispetto a quello previsto. Anche il consumo di elettricità per gli impianti tecnici, forse dovuto anche all'innalzamento della temperatura interna degli ambienti da 20 a 22°C, è risultato essere superiore alle previsioni.

La produzione da parte del sistema solare e dell'impianto fotovoltaico si sono misurate leggermente superiori alle aspettative. Per il futuro si prevede un maggiore dialogo tra gli utenti e i tecnici per raggiungere un bilanciamento intelligente e la sostituzione della pompa di calore con un impianto correttamente dimensionato con consumi effettivamente efficienti.



Nel primo anno di monitoraggio non si è raggiunto un bilancio pari a zero. Le ragioni possono essere una mancanza di armonizzazione, la sostituzione di alcuni sistemi e di modifiche causate dall'aumento dei membri della famiglia.

- Energia primaria consumata annualmente compresi i consumi degli abitanti (120 kWh/m²a)
- Consumo approvvigionato mensilmente dall'energia del sole (66 kWh/m²a)
- Elettricità generata non considerata nel bilancio mensile (44 kWh/m²a) e deficit (9 kWh/m²a)

Figura 4.161: Valutazione energetica in kWh/m²a; Fonte: K. Voss, 2011

4.18

Caso studio 18: LEAF HOUSE Angeli di Rosora, I 2008



Progettista:
Architetto Pacifico Ramazzotti
Consulente energetico:
Ing. F. M. Butera, Ing. G. Poillucci,
Loccioni Facility Team



Dati di progetto

Superficie Netta di Pavimento, SNP	495 m ²
Superficie Lorda di Pavimento, SLP	594 m ²
Volume	1485 m ³
Sito	Angelo di Rosora
Radiazione annuale globale	1455kWh/m ² a
Temperatura media annuale	13 °C
Contesto	Suburbano
Caratteristiche dell'involucro	W/m ² k
U, muri esterni	0.15
U, finestre (con telaio)	1.40
U, copertura	0.25
U, solaio	0.3

Sistemi di produzione energetica

Area collettori solari	18 m ²
Volume serbatoio termico	800 l
Area pannelli fotovoltaici	150 m ²
Capacità	20 kW _p
Rete di infrastrutture e fonti d'energia	
Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica
Fonti di energia	elettricità
Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica
Fonti di energia re-immessa	elettricità

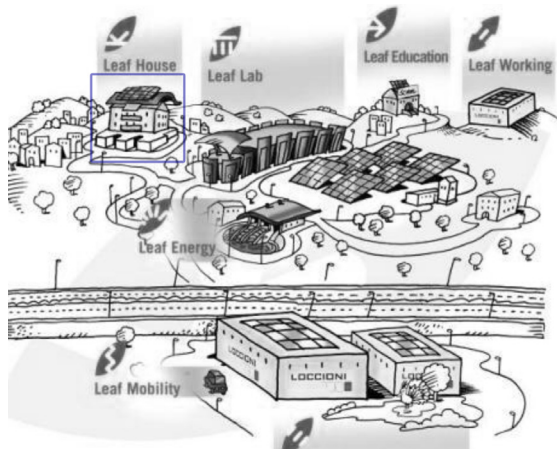


Figura 4.162: Leaf Community: la prima comunità sostenibile in Italia; Fonte: www.energy.loccioni.com;

Strategie progettuali

Geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, ventilazione naturale, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, vegetazione, accumulo passivo di calore negli elementi costruttivi, materiali ecologici, assenza inquinamento indoor, sistema di recupero dell'acqua piovana, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, controllo dell'illuminazione artificiale con Led, principi di domotica, sensori di presenza, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, collettori solari, pompa di calore geotermica, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

Leaf House è un laboratorio permanente

sull'energia pulita; criteri di bioarchitettura si fondono con l'idea di energia rinnovabile per ridurre al minimo il consumo energetico. Il modello d'ispirazione della Leaf House è la casa colonica della tradizione mezzadrile marchigiana con il suo podere per le sue caratteristiche di autosufficienza dove nulla veniva sprecato ma sfruttato. La casa è parte di un progetto più ampio la Leaf Community, un progetto sperimentale per la prima comunità ecosostenibile in Italia dove ci si muove solo con mezzi elettrici, i bambini frequentano una scuola alimentata da energia solare e anche gli ambienti di lavoro hanno un'alimentazione energetica, ecocompatibile autonoma.

La palazzina è divisa in tre livelli ognuno dei quali contiene due appartamenti per un tota-

le di sei appartamenti; i primi condomini sono stati i dipendenti del gruppo Locconi che ha finanziato il progetto in collaborazione con altri numerosi partner. Due appartamenti sono occupati occasionalmente mentre tutti gli altri sono abitati da due persone. Per massimizzare il guadagno dato dalla radiazione solare il rapporto tra la facciata esposta a sud e quella esposta ad est è di 1.34.

Principi d'architettura bioclimatica

L'illuminazione naturale ha avuto un ruolo fondamentale nella creazione di spazi di qualità; la percentuale di superficie vetrata, rispetto alla massa muraria è diversa a seconda dell'orientamento: 23.9% a sud, 6% ad est, 6% ad ovest e il 10% a nord.

Nel fronte dell'edificio con esposizione più sfavorevole, a nord, sono stati installati dei tubi solari che consentono di illuminare anche gli spazi più bui.

La ventilazione degli ambienti interni quindi il ricambio dell'aria esausta può essere garantita anche tramite l'apertura delle superfici vetrate con coefficiente di guadagno solare pari a 0.6; il sistema di aerazione si ferma automaticamente in caso di apertura per evitare sprechi.

Soluzioni tecnico-costruttive

Per la riduzione dei fabbisogni energetici è stata data molta importanza anche all'isolamento termico dell'involucro. La struttura del fabbricato è stata isolata con un sistema a cappotto utilizzando 18 cm di polistirolo espanso, il solaio contro terra invece con 4 cm di poliuretano, garantendo così una trasmittanza termica di 0.15 W/m²K per il primo e 0.30 W/m²K il secondo. Il tetto ventilato è invece caratterizzato da intonaco, un pannello in fibra di legno da 170 Kg/m³, un pannello Rockwool da 110 cm e legno di pino per una trasmittanza termica di 0.25 W

m²K.

La luce artificiale necessaria per garantire sicurezza e qualità agli spazi si coniuga con la necessità di ridurre i consumi energetici e le emissioni di CO₂.

Le finestre con doppio vetro, formate da 6 mm di vetro esterno, 14 mm di intercapedine isolante riempite di gas argon e 4 mm di vetro interno, sono formate da telai realizzati con triplo pannello di legno, schiuma termica ed alluminio: il fattore di trasmittanza termica totale è di 1.40 W/m²K.

Impianti

La ventilazione degli ambienti interni quindi il ricambio dell'aria esausta viene garantita da un'unità di trattamento dell'aria, UTA. Prima di introdurre l'aria nell'appartamento l'aria esterna viene riscaldata in inverno e raffrescata in estate attraverso uno scambiatore termico con l'acqua prodotta dalla pompa di calore. Per evitare sprechi termici viene estratta l'energia termica dall'aria esausta prima di espellerla all'esterno. Il modello ispiratore della Leaf House è la casa colonica tradizionale marchigiana, dove il recupero delle acque piovane si rivela di fondamentale importanza. L'acqua piovana viene raccolta in una vasca interrata e riutilizzata per i WC e l'irrigazione riducendo il consumo totale di acqua del 69%. L'acqua potabile viene richiesta alla rete pubblica; le cucine sono dotate di un rubinetto a tre vie, calda, fredda e potabile, così da evitare l'acquisto di bottiglie e il corrispondente carico di CO₂.

Sistema di produzione dell'energia

Nella Leaf House la generazione di caldo e freddo viene affidata alla pompa geotermica che scambia con il terreno attraverso tre sonde verticali da 100 metri. Il coefficiente di prestazione dichiarato della pompa geotermica è

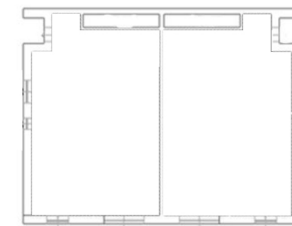


Figura 4.163: Pianta piano terra; Fonte: M. Cerula, et. al., 2011;



Figura 4.164 : Pianta piano primo; Fonte: M. Cerula, et. al., 2011;

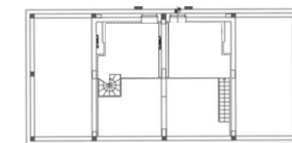


Figura 4.165 : Pianta piano secondo; Fonte: M. Cerula, et. al., 2011;

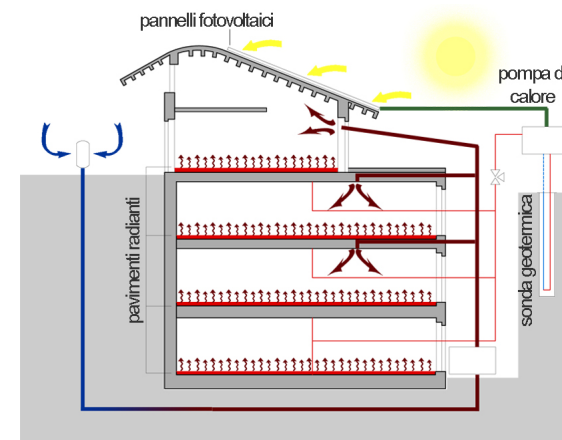


Figura 4.166: Schema generazione di calore per riscaldare la casa in inverno; Fonte: AA.VV., Azero, 2011;

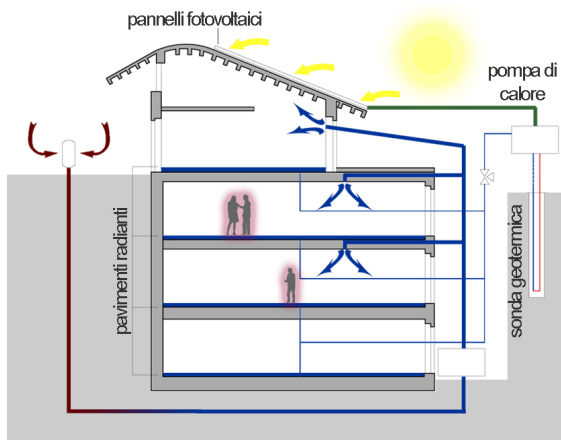


Figura 4.167: Schema generazione del freddo per raffrescare la casa in estate; Fonte: AA.VV., Azero, 2011;

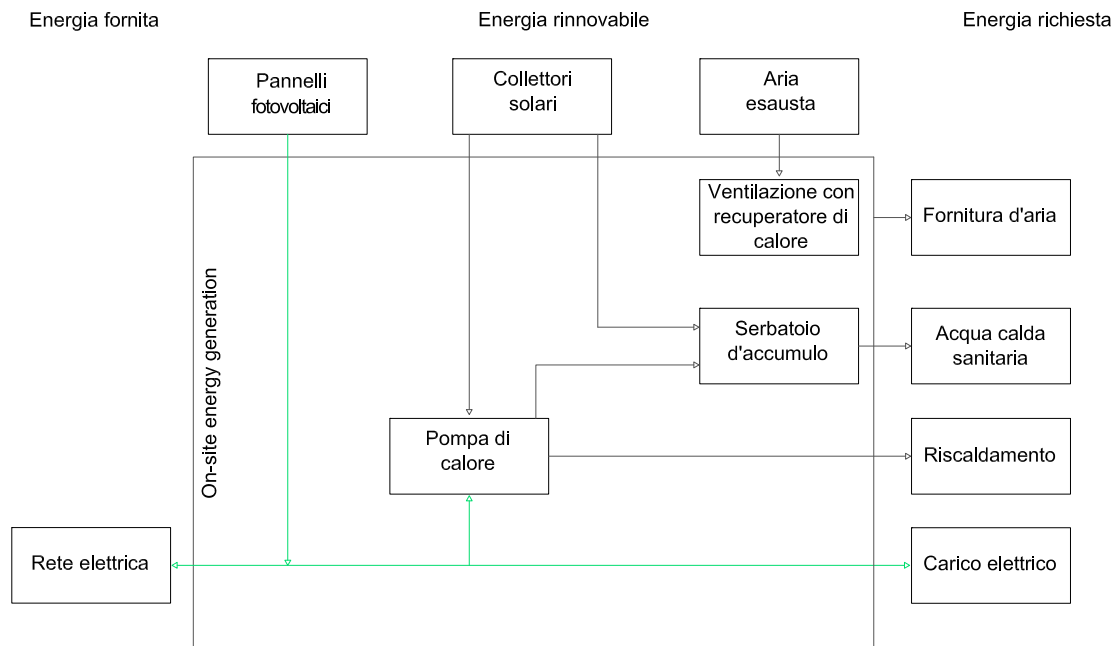


Figura 4.168: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti



Figura 4.169: Prospetto sud; Fonte: www.energy.loccioni.com;

di 4,6, più basso rispetto ai valori riscontrati durante il primo anno di monitoraggio. In ogni appartamento è installato un impianto di riscaldamento a pannelli radianti in cui la temperatura dell'acqua è controllata da un sistema di regolazione che viene alimentato dalla pompa di calore. Nella maggior parte del periodo estivo non è necessario l'uso del sistema geotermico in quanto l'acqua si raffredda solamente attraverso le sonde sotterranee.

L'elettricità necessaria al funzionamento della pompa di calore insieme al fabbisogno elettrico complessivo dell'abitazione, equivalente a circa 25000 kWh/a corrispondenti a 1150 kg/CO₂a, è fornita sul sito dai pannelli fotovoltaici caratterizzati da una potenza nominale di 20 kW. 115 pannelli ricoprono l'intera superficie

del tetto orientata a sud.

L'acqua calda sanitaria e una quota dell'acqua necessaria al riscaldamento viene approvvigionata da 7 collettori solari per una superficie coperta di 15m² integrati all'edificio. Un sistema di circolazione permette agli occupanti di ricevere subito l'acqua calda diminuendo così le perdite idriche. Il calore viene trasferito dai collettori solari alla bobina del serbatoio per mezzo di una miscela acqua-glicole. Una pompa spinge il fluido indietro al collettore. La differenza tra la temperatura dell'acqua in uscita dal collettore e l'acqua all'interno del serbatoio è meno di 10°C, altrimenti la pompa verrebbe spenta. Enel ha inoltre installato un sistema di produzione, stoccaggio e riutilizzo dell'idrogeno per la generazione di energia elettrica. Questo

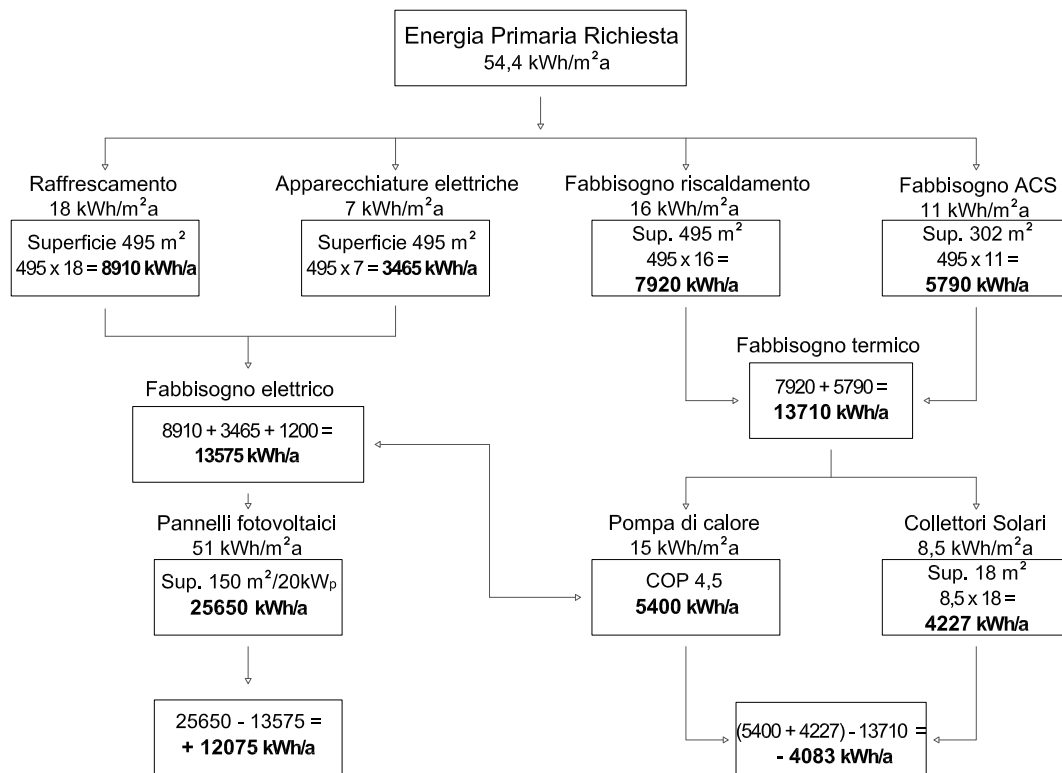


Figura 4.172: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;

sistema utilizza l'energia in eccesso prodotta dai pannelli fotovoltaici per alimentare un elettrolizzatore per scindere le molecole d'acqua in idrogeno e ossigeno. "L'idrogeno prodotto viene accumulato in un sistema che utilizza idruri metallici e riconvertito, grazie a una pila a combustibile, in elettricità disponibile nelle ore in cui non c'è produzione di energia dal sole." (Azero,2012)

Bilancio energetico

I dati ottenuti durante il primo anno di monito-

raggio della Leaf House, inaugurata nel 2009, dimostrano che i pannelli solari termici con una produzione di 4,227 kWh_{th} hanno ricoperto il 63% del fabbisogno di acqua calda sanitaria a fronte di un consumo di 6638 kWh_{th}. Il consumo idrico totale è stato di 730600 litri ma utilizzando l'acqua piovana si è risparmiato il 70% sui consumi idrici totali; la raccolta delle acque piovane ha permesso di recuperare 515400 litri, utilizzati sia per l'irrigazione, 452200 litri, sia per usi sanitari, i restanti 63200. In termini di CO₂ si è potuto risparmiare 34080

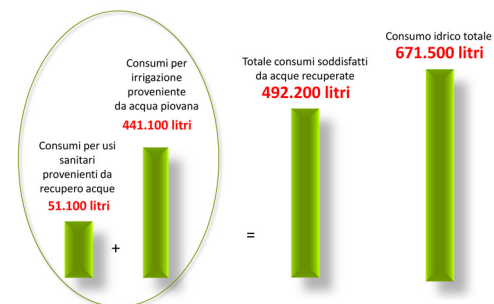


Figura 4.170: Consumi da acque recuperate; Fonte: AA.VV., Azero, 2011;

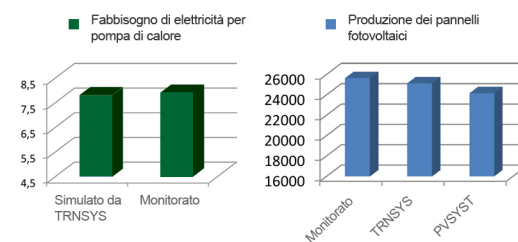


Figura 4.171: Dati monitorati e simulati con il programma TRNSYS per l'energia prodotta dal fotovoltaico e i consumi elettrici della pompa di calore; Fonte: M. Cerula, et. al., 2011;

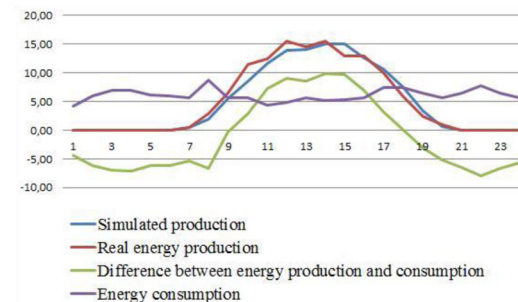


Figura 4.173: Differenza tra produzione simulata e reale dei pannelli fotovoltaici e tra produzione e consumi in un giorno prescelto; Fonte: M. Cerula, et. al., 2011;

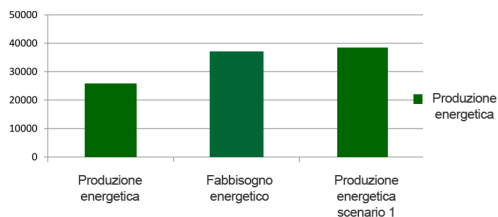


Figura 4.174: Produzione energetica scenario 1 (sostituzione PV con pannelli più efficienti); Fonte: M. Cerula, et. al., 2011;

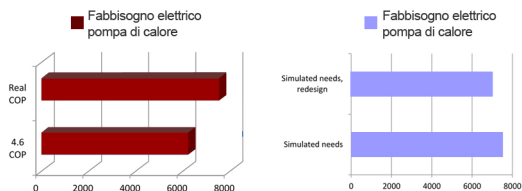


Figura 4.175: Fabbisogno elettrico della pompa di calore scenario 2 (C.O.P. 4.6) e scenario 3 (eliminazione scambiatore di calore, utilizzo del fluidotermovettore acquaglicole); Fonte: M. Cerula, et. al., 2011;

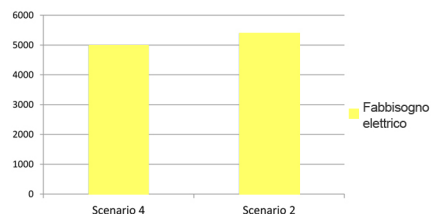


Figura 4.176: Fabbisogno energetico della pompa di calore; Fonte: M. Cerula, et. al., 2011;

kg ripartiti tra: 20860 kg risparmiate grazie all'efficienza energetica dell'edificio e 13220 kg risparmiate grazie alla produzione di energia elettrica dal tetto fotovoltaico.

L'impianto fotovoltaico ha prodotto 25650 kWh_{th} durante l'anno di monitoraggio mentre l'elettricità necessaria per il corretto funzionamento della pompa di calore geotermica, per riscaldare e raffreddare, è stata stimata a 2.6 MWh durante il periodo estivo e 5.3 MWh durante il periodo invernale.

I dati raccolti hanno dimostrato che l'edificio è risultato pertanto essere vicino al raggiungimento della soglia NZEB.

Si è effettuato un rapporto economico tra i consumi di un abitazione media italiana e i consumi degli appartamenti della Leaf House.

In un abitazione normale valutando i costi affrontati si otterrebbe un totale di 12254 Euro, nella Leaf House, considerato anche il costo per i 215200 litri di acqua utilizzata, si ottengono 5801 Euro. Gran parte dei consumi sono sostenuti dalle tecnologie impiegate per il risparmio energetico: l'impianto fotovoltaico, che ricopre la maggior parte del fabbisogno energetico, permette un guadagno di 14800 Euro in base al conto energia.

Considerato un aumento annuo dell'energia pari a 3% si prevede che dopo l'ottavo anno ci possa essere un pareggio dei costi a un investimento iniziale maggiore per la realizzazione dell'edificio.

Monitoraggio

All'interno dell'organismo internazionale l'*International Energy Agency* in seno al gruppo di ricerca *Task 40* è stato approfondito il caso Laef House. Per ridurre il dislivello tra energia consumata ed energia prodotta è stato creato un modello dinamico dell'edificio e dei suoi sistemi termici. La simulazione, svolta nell'ambito del-

la *Subtask B*, è stata effettuata con il *Software Trnsys*.

Ogni singolo componente è stato studiato al fine di ottenere riscontri precisi e dettagliati.

Con la possibilità di simulare il comportamento dinamico del sistema, con un piccolo margine di errore, sono stati ipotizzati diversi scenari migliorativi: sostituzione dei pannelli fotovoltaici, sostituzione della pompa di calore geotermica con un modello più efficiente, eliminazione dello scambiatore connesso alla pompa di calore geotermica e conseguente connessione diretta del fluido caldo o freddo con la tubazione principale, modifica della composizione del tetto per ottenere un valore di U inferiore e combinazione della I, II, III ipotesi.



Dall'analisi dei risultati ottenuti si è visto come la sostituzione con moduli fotovoltaici più efficienti possa coprire l'intero fabbisogno del fabbricato, ma al fine di ottenere una soluzione ancora più efficace nel rispettare i criteri di efficienza energetica dati dalla normativa nazionale è risultata soluzione energeticamente più efficiente, la combinazione della I, II, III ipotesi. Questa ha portato a una riduzione del consumo energetico a 2.6 MWh_e e una produzione di 12.65 MWh_e dal sistema fotovoltaico.

4.19

Caso studio 19: THE LIGHTHOUSE

Watford, UK 2000



	Dati di progetto		Sistemi di produzione energetica	
	Superficie Netta di Pavimento, SNP	79 m ²	Area collettori solari	4 m ²
Progettista: Sheppard Robson Consulente energetico: Arup	Superficie Lorda di Pavimento, SLP	93 m ²	Volume serbatoio termico	210 l
	Volume	432 m ³	Area pannelli fotovoltaici	46 m ²
	Numero totale degli occupanti	2	Capacità	4.7 kW _p
	Sito	Watford	Rete di infrastrutture e fonti d'energia	
	Radiazione annuale globale	950 kWh/m ² a	Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica, richiesta di legno a pellet
	Temperatura media annuale	10.4 °C	Fonti di energia	legno a pellet, elettricità
	Contesto	Suburbano	Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica
	Caratteristiche dell'involucro	W/m ² k	Fonti di energia re-immessa	elettricità
	U, muri esterni	0.11		
	U, finestre (con telaio)	0.70		
	U, copertura	0.11		
	U, solaio inferiore	0.11		
				

Strategie progettuali

Geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, ventilazione naturale, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, controllo dell'illuminazione artificiale con Led, principi di domotica, sensori di presenza, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, collettori solari, caldaia a biomassa, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

Definita dalla luce, dal vento e dal sito, la Lighthouse si trova nell'*Innovation Park del Building Research Establishment, BRE, a Watford*. Il parco comprende una comunità residenziale dimostrativa a basse emissioni di carbonio. Uno

dei requisiti tipici dell'abitazione prototipo è una flessibilità progettuale tale da renderle realizzabili in una vasta serie di situazioni contestuali e geografiche. La necessità di un accesso solare diretto ha imposto una configurazione secondo un percorso nord-sud per garantire accesso e visuali.

Al piano terra sono collocati l'ingresso, il locale di servizio, il bagno, le due camere da letto e la scala per accedere ai piani alti. La scala è dotata di alzate a giorno e di un parapetto vetrato che lascia filtrare la luce. Al piano superiore sono collocati la cucina e la zona pranzo.

Principi d'architettura bioclimatica

Per sfruttare al massimo la luce naturale all'in-

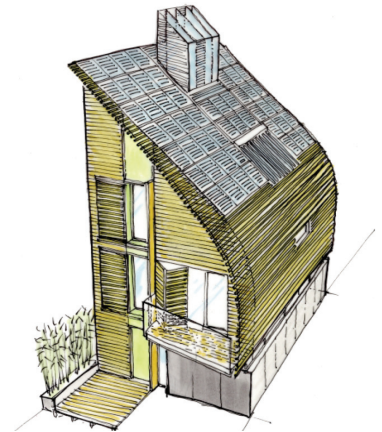


Figura 4.177 : Schizzo progettuale per la realizzazione della Lighthouse; Fonte: www.kingspanlighthouse.com;

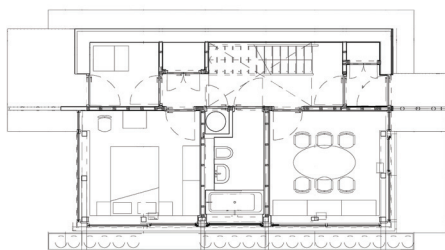


Figura 4.178: Pianta piano terra; Fonte: M. Guzowsky, 2010;

terno degli spazi i progettisti hanno posizionato la zona notte al piano inferiore e la zona giorno al piano superiore, più ricco di luce naturale, aria e vedute panoramiche.

Le camere da letto sono caratterizzate da alte finestre che assicurano sia la privacy sia filtrano la luce che riflessa dai soffitti bianchi illumina l'ambiente. Finestre e lucernari ai piani superiori contribuiscono a dare luminosità e amplificare lo spazio. L'abitazione gode nel complesso di un fattore medio di luce diurna del 2%. Le superfici vetrate e i balconi, dotati di parapetti vetriati per aumentare la luminosità, esposti ad est e ad ovest, sono protetti termicamente da una struttura a listelli in legno formata prolungando il lato della copertura.

Al centro della casa è collocato un dispositivo che funziona come una torre del vento: cattura luce e aria, illumina dall'alto, raffredda passivamente la casa e la ventila naturalmente. Il dispositivo filtra l'aria più fredda dall'esterno verso l'interno, sostituendo all'aria esausta interna. Le finestre apribili aumentano l'effetto di ventilazione incrociata.

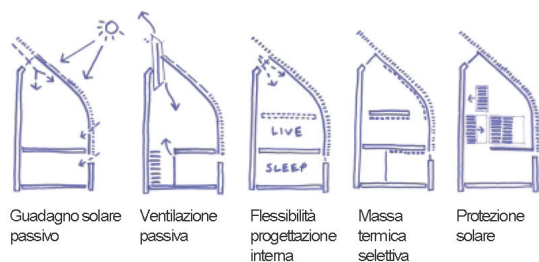


Figura 4.179: Principi progettuali seguiti per la realizzazione del prototipo Lighthouse; Fonte: www.kingspanlighthouse.com;

Soluzioni tecnico-costruttive

La difficoltà principale nella progettazione è stato rispettare i parametri minimi dell'edificio a zero emissioni relativo a raffrescamento, riscaldamento, acqua calda e tutti i parametri energetici; ad esempio il parametro obbligatorio relativo alla dispersione termica di calore, indetto dal Livello 6, implica finestre e pareti con elevato coefficiente di scambio termico globale U, 0.11 W/m²k per le parti opache. Le parti verticali sono composte da elementi sandwich prefabbricati in legno di spessore 39 cm mentre il tetto, con un inclinazione di 40° verso sud, è composto da un cuore d'isolamento in poliuretano compreso tra due pannelli in OSB per un totale di 22 cm. Per ridurre i ponti termici

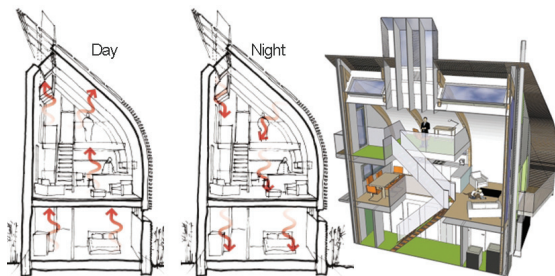


Figura 4.180: Benefici per la ventilazione dari dal "camino" centrale; Fonte: www.kingspanlighthouse.com;

al minimo lo strato d'isolante viene raddoppiato nei punti critici: agli angoli e in prossimità dei telai a vista delle finestre.

La *Lighthouse* è caratterizzata da finestre con triplo vetro e intercapedine riempita di gas. La superficie vetrata ridotta al 18% e l'involucro altamente isolato consentono di utilizzare il riscaldamento per soli quattro mesi l'anno.

Impianti

E' previsto inoltre un sistema di ventilazione meccanica con un recuperatore di calore con fattore 88%.

Per ridurre il consumo energetico all'interno dell'abitazione vengono utilizzate lampade compatte fluorescenti, lampade a LED all'esterno ed elettrodomestici classificati a livello di consumo A++.

Meccanismi di riduzione del flusso di acqua consentono di minimizzare l'acqua corrente per la doccia e il bagno di 8 l/m consentendo così di risparmiare il 50% rispetto ad una casa normale; inoltre un sistema di raccolta dell'acqua piovana permette di utilizzare quest'acqua per innaffiare il giardino e lavare i panni, mentre le acque grigie vengono convogliate nelle toilets.

Sistema di produzione dell'energia

La forma della copertura sviluppata con un inclinazione di 40° ottimizza la prestazione del generatore fotovoltaico e dei collettori solari termici.

Strategie passive e attive collaborano nella realizzazione della Lighthouse. Prima i progettisti hanno cercato di ridurre il fabbisogno energetico per poi pensare alla realizzazione di sistemi ad energie rinnovabili e installare impianti ed elettrodomestici ad alto rendimento.

L'intero fabbisogno annuo di acqua calda, riscaldamento viene coperto da un sistema di collettori solari che occupano una superficie di

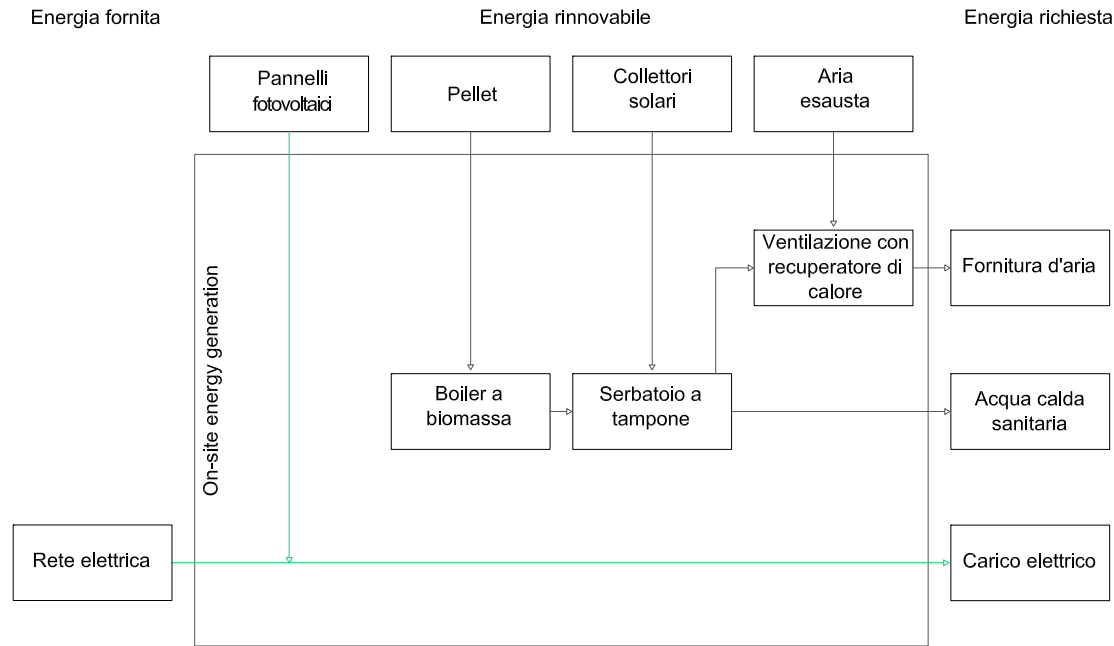


Figura 4.181: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;

4 m² e da una caldaia a biomassa da 10 kW collegati ad un serbatoio d'accumulo di 210 l. La caldaia a pellet è stata installata con l'intenzione di utilizzarla per sei settimane l'anno in aggiunta ai collettori solari per soddisfare il fabbisogno termico; si è pensato di integrare il luogo di approvvigionamento del pellet per evitare che quest'ultimo si inumidisca. Il fabbisogno di elettricità viene coperto dai pannelli fotovoltaici con una potenza di 4,7 kW_p, per una superficie di 46 m².

Bilancio energetico

Le emissioni e i cambiamenti climatici sono temi trattati con attenzione nel progetto Lighthouse, le cui emissioni annue sono stimate in 2031 kg/CO₂a; valore compensato dalla produ-

zione di elettricità da pannelli fotovoltaici 2035 kg/CO₂a. I calcoli dei consumi necessari per una corretta progettazione sono stati effettuati con il Software *British SAP, Standard Assessment Procedure*. Il fabbisogno energetico in termini di energia primaria è stato stimato a 163 kWh_{prim}/m²a. Questo viene bilanciato dai pannelli fotovoltaici che producono con una potenza di 4,7 kW_p, un totale di 192 kWh_{prim}/m²a. Il surplus di energia prodotta viene immesso nella rete elettrica per compensare anche l'energia primaria richiesta per l'approvvigionamento di pellet che ammonta approssimativamente a 3 kWh_{prim}/m²a. Il costo calcolato per l'energia è di 37 €/a, con il prezzo del pellet di 2.5 Ct/kWh e il costo dell'elettricità a 15 Ct/kWh. L'apporto dei pan-

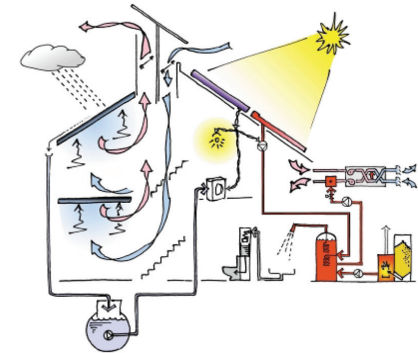


Figura 4.182: Schema in sezione sul funzionamento degli impianti; Fonte: www.kingspanlighthouse.com;

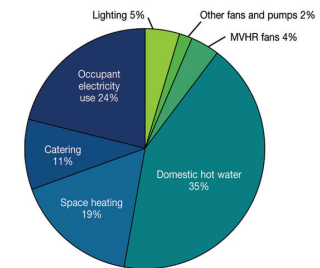


Figura 4.183: Energia richiesta per il corretto funzionamento della Lighthouse; Fonte: www.kingspanlighthouse.com;

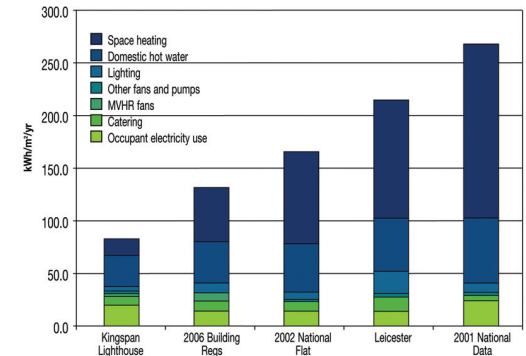


Figura 4.184: Confronto tra l'energia utilizzata da Lighthouse e altre abitazioni, con la stessa metratura, progettata tra il 2002 e il 2006 secondo gli standard edilizi; Fonte: www.kingspanlighthouse.com;

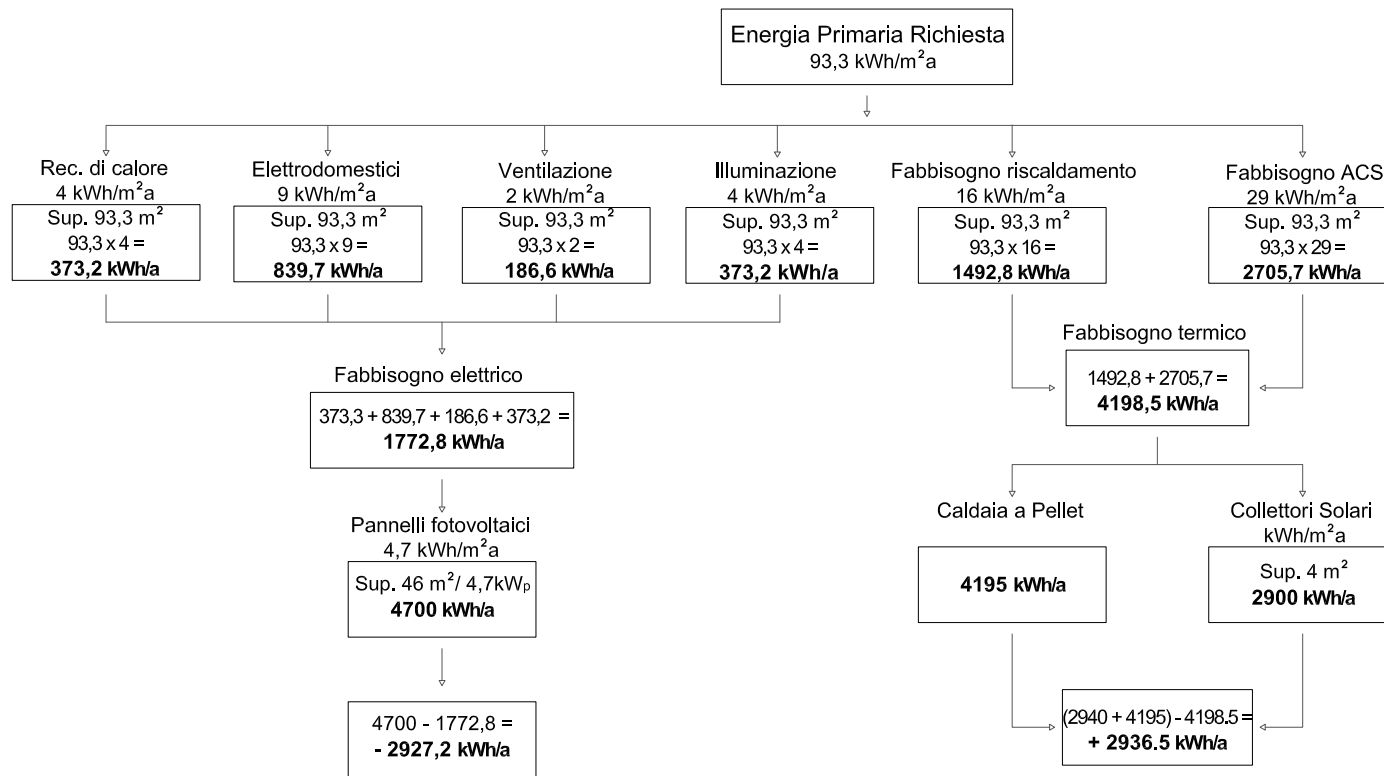


Figura 4.185: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;

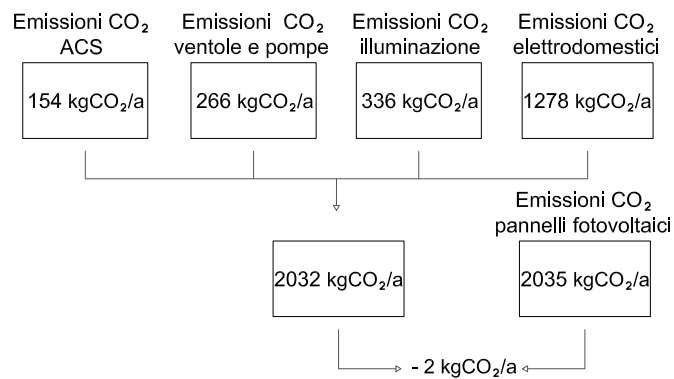
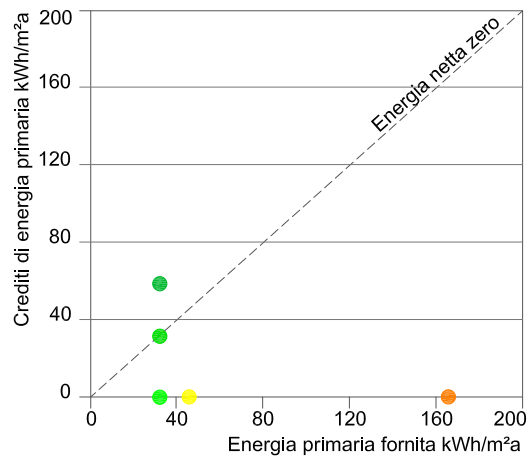


Figura 4.186: Schema tecnico per nalizzare le emissioni di CO₂;



I valori energetici calcolati mostrano che il 28 kWh/m²a del consumo totale di energia non possono essere compensate. Nel bilancio annuale l'edificio raggiunge i livelli di NZEB:

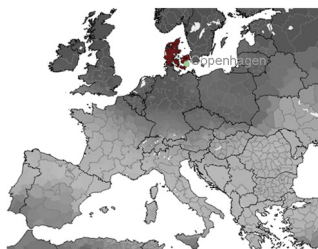
- Energia primaria consumata annualmente (166 kWh/m²a)
- Consumo di energia primaria specifica dell'edificio (47 kWh/m²a)
- Consumo rimanente dalla copertura mensile (138 kWh/m²a)
- Bilancio del rimanente consumo (26 kWh/m²a)
- Elettricità prodotta in eccesso (26 kWh/m²a)

Figura 4.187: Valutazione energetica in kWh/m²a; Fonte: K. Voss, 2011;

nelli fotovoltaici è calcolato secondo il prezzo delle risorse di elettricità. I crediti 42 Ct/kWh, per l'energia solare, sono applicati solo a sistemi costruiti dopo il 2009 (K.Voss, 2011).



Figura 4.188: dettaglio dei sistemi solari attivi e passivi del tetto esposto a sud: il generatore fotovoltaico, il collettore solare a tubi sottovuoto e il sistema passivo a torre del vento; Fonte: M. Guzowsky, 2010;



Progettista:
Christensen og. Co Arkitekter A/S
Consulente energetico:
COWI



Dati di progetto

Superficie Netta di Pavimento, SNP	950 m ²
Superficie Lorda di Pavimento, SLP	1140 m ²
Volume	2850 m ³
Numero totale degli occupanti	2
Sito	Copenhagen
Radiazione annuale globale	990 kWh/m ² a
Temperatura media annuale	8.4 °C
Contesto	Suburbano
Caratteristiche dell'involucro	W/m ² k
U, muri esterni	0.095
U, finestre (con telaio)	0.5 - 1.1
U, copertura	0.084
U, solaio inferiore	0.085

Sistemi di produzione energetica

Area collettori solari	30,8 m ²
Area pannelli fotovoltaici	76 m ²
Rete di infrastrutture e fonti d'energia	
Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica
Fonti di energia	legno a pellet
Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica, teleriscaldamento
Fonti di energia re-immessa	elettricità, calore

Strategie progettuali

Geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, ventilazione naturale, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, accumulo passivo di calore negli elementi costruttivi, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, controllo dell'illuminazione artificiale con Led, principi di domotica, sensori di presenza, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, collettori solari, pompa di calore, rete di teleriscaldamento, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

Il campus Green Lighthouse progettato dagli architetti Christensen & Co. si propone come nuovo punto di riferimento per gli studenti della facoltà di Scienze dell'università di Copenha-

gen.

Lo scopo principale del progetto Green Lighthouse è di rendere l'edificio ad emissioni neutrale di CO₂. L'edificio non risulta sommerso nel tessuto costruttivo circostante ma fruisce di uno spazio esterno utile ai fini della disponibilità di luce e della ventilazione. Si sviluppa intorno ad un atrio aperto, arioso e luminoso che costituisce il cuore aggregante delle attività che coinvolgono i diversi fruitori: funzionari, studenti e docenti.

Il piano terra è per la maggior parte destinato agli sportelli informativi per gli studenti della Facoltà. Il primo piano ospita gli uffici amministrativi, mentre al secondo piano si trovano una terrazza e uno spazio riservato agli incontri di lavoro tra studenti, ricercatori e professori.



Figura 4.189: Vista esterna della Green Lighthouse;
Fonte: www.velux.com;

Il progetto è stato frutto di un'alleanza tra pubblico e privato per la realizzazione di uno spazio di tipo non residenziale; in particolare grazie alla collaborazione tra la città di Copenhagen e le aziende Velux e Velfac.

Principi d'architettura bioclimatica

Perno del progetto Green Lighthouse è il sole principale fonte d'energia della struttura; l'orientamento tiene conto dell'incidenza dei raggi solari durante tutto l'arco della giornata consentendo di sfruttare al massimo l'energia solare. La forma cilindrica dell'area di assorbimento dell'edificio effettua un inseguimento passivo dei raggi solari durante l'intero arco della giornata. La forma circolare, compatta, assicura inoltre minori dispersioni termiche attraverso le pareti rispetto, ad esempio, alla forma rettangolare che presenta una maggiore superficie esterna.

Il nucleo centrale dell'edificio è svuotato per favorire sia la filtrazione della luce dalle finestre sul tetto sia la circolazione naturale dell'aria, fungendo da camino di ventilazione. L'aria viene fatta filtrare attraverso la parte superiore delle finestre che viene apertura automaticamente. L'aria esausta, calda, sale verso l'alto e viene espulsa attraverso le aperture sul tetto. Il livello di illuminazione naturale è stato calcolato utilizzando il Fattore di Luce Diurna come indicatore delle prestazioni. Normalmente il *Daylight Factor*, FD dovrebbe essere almeno del 3% sulle postazioni di lavoro e almeno il 2% nelle zone di passaggio. I livelli medi sono superiori nella Green Lighthouse.

Per evitare fenomeni di surriscaldamento le superfici vetrate esposte ad est, ovest e sud, sono dotate di sistemi d'oscuramento a scomparsa nello spessore dell'involucro o di tende avvolgibili applicate esternamente la superficie trasparente.

Soluzioni tecnico-costruttive

L'involucro edilizio gioca un ruolo fondamentale la maggior parte della superficie circolare è occupata da superfici vetrate per permettere l'illuminazione naturale; le pareti esterne sono costituite da pannelli in legno della *Rockwool*, con una barriera la vapore, uno strato di 15 cm di isolante in lana di roccia ad alta coibentazione e un pannello in cartongesso, verso l'interno.

Impianti

In inverno la ventilazione viene invece favorita da un sistema meccanico con recuperatore di calore ad alta efficienza. L'illuminazione artificiale viene garantita da

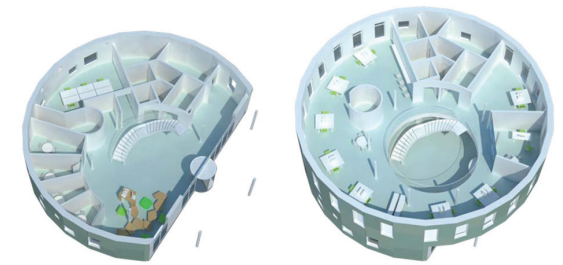


Figura 4.190 :Pianta piano terra (sinistra) e primo piano (destra); Fonte: www.velux.com;

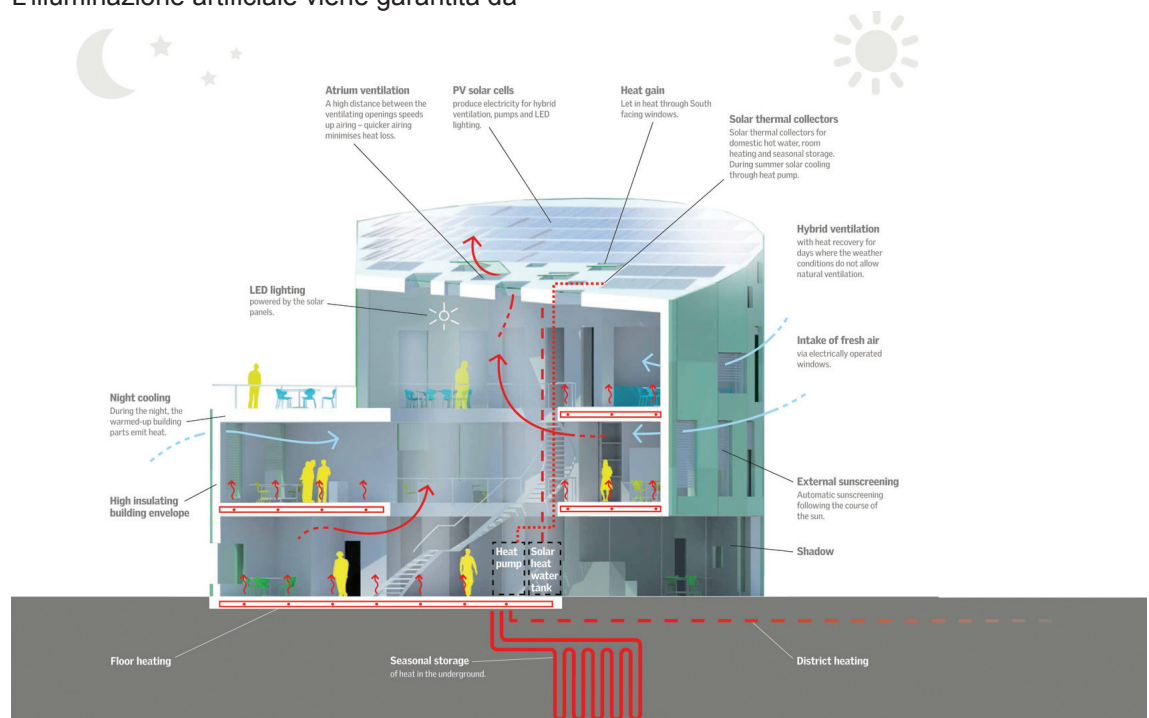


Figura 4.191: Schema in sezione rappresentante i principali concetti energetici del progetto Green Lighthouse; Fonte: www.velfac.dk;

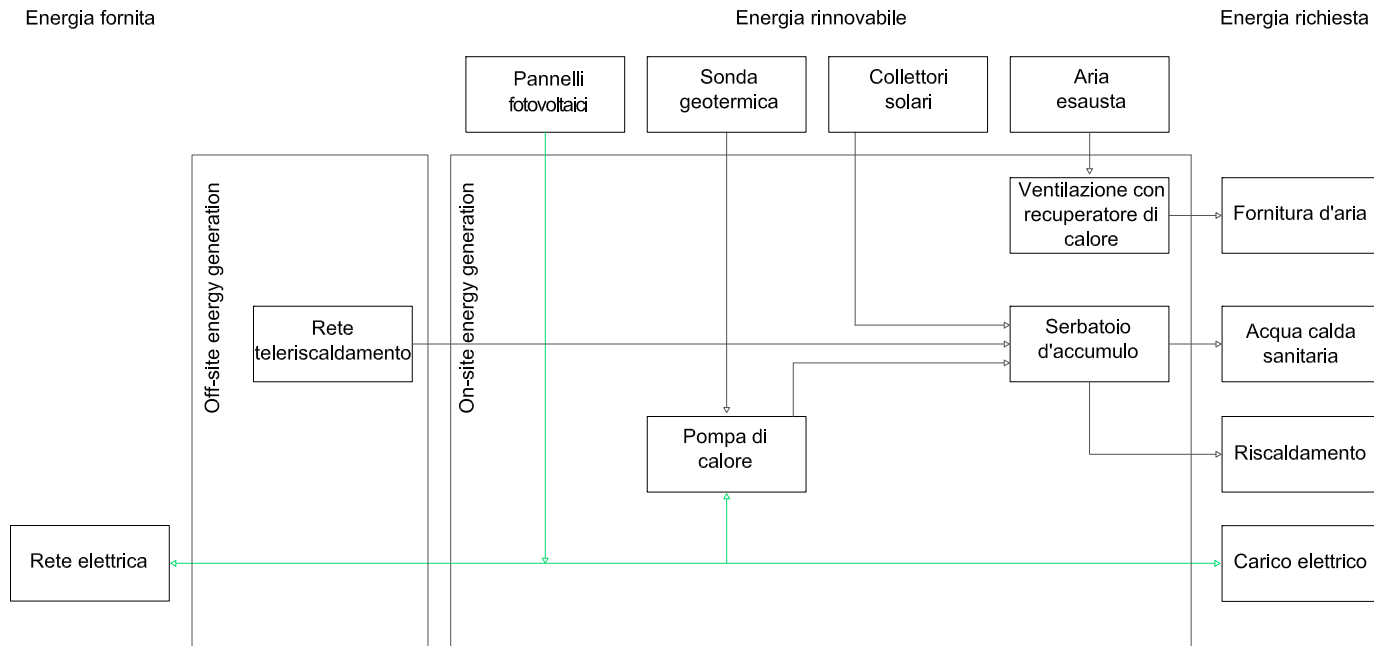


Figura 4.192: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti;

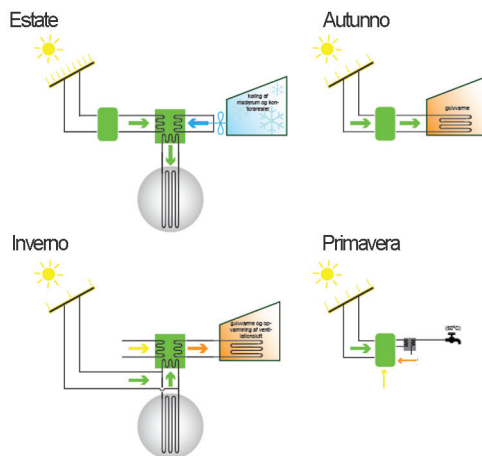


Figura 4.193: Principi di funzionamento degli impianti nelle diverse stagioni; Fonte: www.lisnet.com;

lampade a LED regolate attraverso sensori di presenza che misurano anche adeguati livelli d'illuminazione.

Sistema di produzione dell'energia

L'edificio è stato progettato secondo i principi della *active house*. Questo significa che si autoalimenta ovvero produce l'energia che consuma attraverso la combinazione di fonti energetiche rinnovabili quali l'energia solare, le pompe di calore geotermiche e i solai termo attivi.

Ventidue collettori solari *Velux* forniscono acqua calda sanitaria e integrano l'impianto di riscaldamento a bassa temperatura. Il *surplus* energetico nei mesi estivi viene immagazzinato nel sottosuolo e utilizzato dalla pompa di calore

riducendo così i costi del teleriscaldamento.

Tutto il calore coperto dalla rete di teleriscaldamento e dai collettori solari passa attraverso la pompa di calore. In questo modo il calore prodotto dalla pompa diventa un miscuglio tra il calore estratto dal terreno e quello prelevato dalla rete. Il 75% del fabbisogno termico per riscaldamento è coperto dalla pompa geotermica, solo il 25% è coperto dal teleriscaldamento. Il calore prodotto dai collettori solari e dalla pompa geotermica viene convogliato in un serbatoio d'accumulo che in inverno, dato lo scarso isolamento, permette di riscaldare gli ambienti circostanti.

Il fabbisogno elettrico dell'edificio per l'illuminazione, la ventilazione e il funzionamento delle pompe, viene fornita dai pannelli fotovoltaici che occupano una superficie di 76 m².

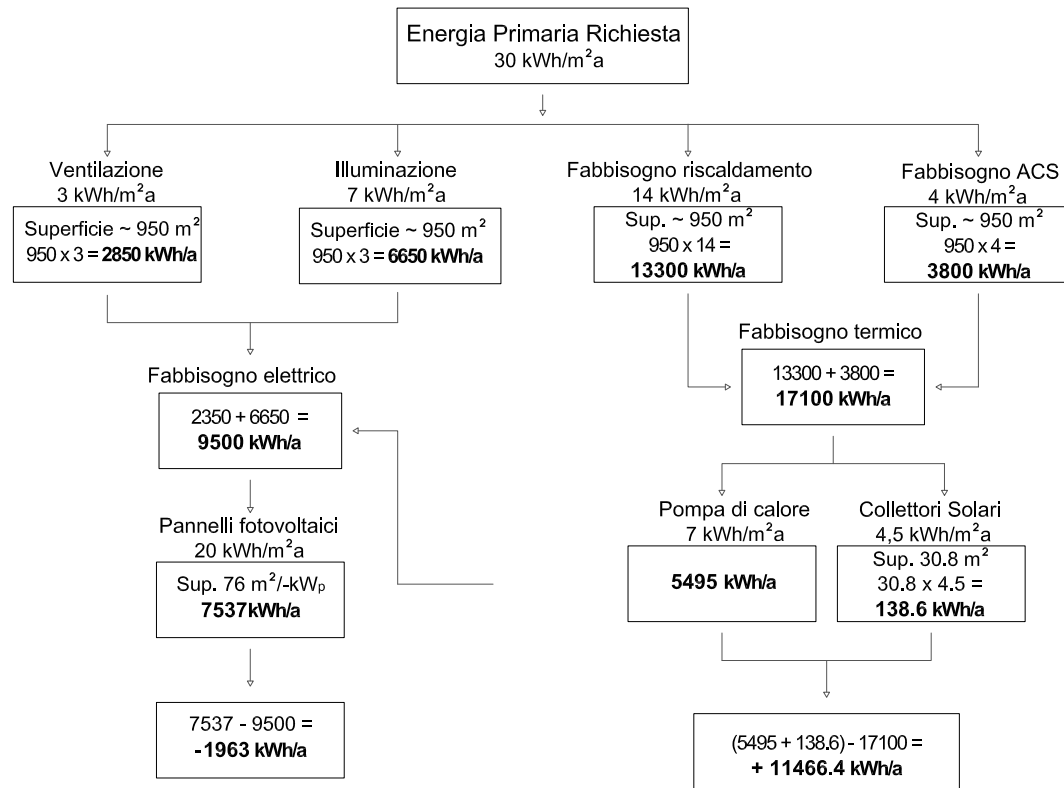


Figura 4.194: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;

Bilancio energetico

La *Green Lighthouse* è stata costruita attraverso l'applicazione del modello di calcolo energetico BE06. I collettori solari secondo questo modello di calcolo con la loro inclinazione producono all'incirca 4259 kWh (circa 4,5 kWh/m²a); questo viene utilizzato per coprire il fabbisogno di riscaldamento e acqua calda sanitaria. In una prospettiva a lungo termine si prevede che i collettori possano produrre ulteriori 3500 kWh.

Il 35% dell'energia solare deriva da 30 m² di

collettori solari installati sul tetto e dello stoccaggio di calore tramite una pompa geotermica mentre il 65% deriva dalla rete di riscaldamento ecologico, con una quota di scambio del 35% di risorse rinnovabili. Parte dell'energia elettrica viene invece fornita dai pannelli fotovoltaici. I moduli fotovoltaici forniscono circa 7587 kWh di elettricità convertita con il fattore di energia primaria 2.5 raggiunge un ammontare di 18967 kWh, circa 20 kWh/m²a.

La costruzione dell'edificio è stata resa possibile dall'investimento finanziario dei partner. La realizzazione della *Green Lighthouse* è costa-

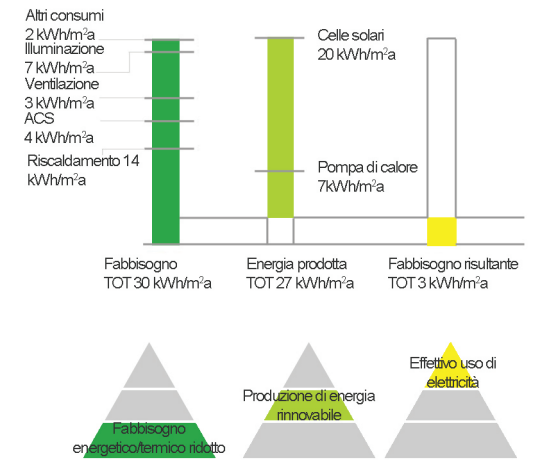


Figura 4.195: Bilancio energetico in kWh/m²a; Fonte: www.lisnet.com;

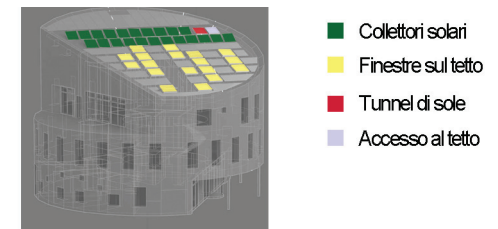


Figura 4.196: Schema della disposizione dei sistemi solari attivi e passivi sul tetto; Fonte: www.velux.com;

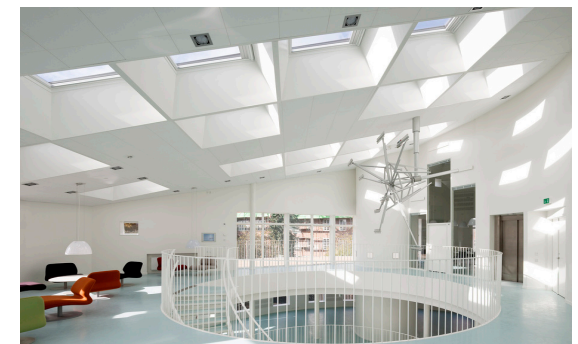


Figura 4.197: Veduta interna delle aperture al secondo piano; Fonte: www.velux.com;

ta 37 milioni di corone danesi. Il ministro della scienza, tecnologia e innovazione, ha finanziato 33 milioni di corone, mentre VELUX e VELFAC, produttori di serramenti, hanno contribuito con 3.5 milioni di corone danesi, in termini di componenti edilizie e tecnologiche. Anche Rockwool, Knauf e Danogips hanno contribuito con 500000 corone danesi.

Monitoraggio

Durante il primo anno di monitoraggio l'edificio universitario è stato utilizzato più del previsto. E' stato usato per un totale di 3000 h/a. Il *Green Lighthouse*, è stato concepito secondo i principi del regolamento energetico danese B06, il quale presuppone un utilizzo dell'edificio di circa 2250 h/a. Inoltre si sono verificati alcuni difetti di produzione; durante il periodo d'utiliz-

zo iniziale, per raggiungere livelli adeguati di comfort interno, si è dovuta alzare la temperatura da 20 a 22°C, i collettori solari, installati in modo scorretto, non sono stati in grado di soddisfare il fabbisogno richiesto. Si è verificata la mancanza di un ammortizzatore nel sistema di ventilazione. Nel primo anno di utilizzo, il consumo per la ventilazione e il riscaldamento registrato, è stato il doppio di quello previsto dal modello di calcolo, ma, nonostante le iniziali difficoltà ad adattarsi al nuovo edificio, il consumo di energia per acqua calda sanitaria, automazione, pompe e impianti *stand-by* sono leggermente inferiori rispetto a quanto calcolato. La grande quantità di luce diurna permette anche un basso consumo di sistemi d'illuminazione naturale.

4.21

Caso studio 21: STABILIMENTO SOLVIS Braunschweig, D 2002



Progettista:
Banz+Riecks Architekten
Consulente energetico:
Fraunhofer Institut für Solare
Energiesysteme ISE



Dati di progetto

Superficie Netta di Pavimento, SNP	8215 m ²
Superficie Lorda di Pavimento, SLP	9600 m ²
Volume	54700 m ³
Sito	Braunschweig
Radiazione annuale globale	980 kWh/m ² a
Temperatura media annuale	8.7 °C
Contesto	Suburbano
Caratteristiche involucro	W/m ² k
U, muri esterni	0.20
U, finestre (con telaio)	1.10
U, copertura	0.16
U, solaio inferiore	0.27

Sistemi di produzione energetica

Area collettori solari	240 m ²
Volume serbatoio termico	100000 l
Volume serbatoio per m ²	12.20 l/m ²
Area pannelli fotovoltaici	560 m ²
Capacità	45 kW _p
Capacità CHP	166 kW _{th} 105 kW _{el}

Rete di infrastrutture e fonti d'energia

Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica, olio di colza
Fonti di energia	olio di colza, elettricità
Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica
Fonti di energia re-immessa	elettricità

Strategie progettuali

Geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, cavedio, ventilazione naturale, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, accumulo passivo di calore negli elementi costruttivi, materiali ecologici, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, principi di domotica, sensori di presenza, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, collettori solari, pompa di calore geotermica, impianto a cogenerazione alimentato con olio di colza pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

Gli obiettivi del progetto sono: progettare ambienti di alta qualità, favorire la funzionalità in un ambiente di lavoro privo di emissioni inquinanti

e realizzare un edificio con un basso consumo energetico il cui fabbisogno potesse essere ricoperto da fonti rinnovabili. La fabbrica sorge in una zona industriale a nord di Braunschweig a breve distanza dal canale fluviale che collega i fiumi Reno, Weser ed Elba. La pianta dell'edificio è rettangolare caratterizzata da articolazioni di un cortile rientrante e diverse sporgenze. Attorno al cortile che occupa il centro dell'edificio, sono organizzati gli uffici che si sviluppano su due piani e gli spazi collettivi. Una delle strategie di progetto era di rendere gli spostamenti interni alla fabbrica il più semplice possibile. La *Via Solvis*, il corridoio centrale che attraversa l'edificio per tutta la sua lunghezza, consente l'accesso a tutti i reparti.

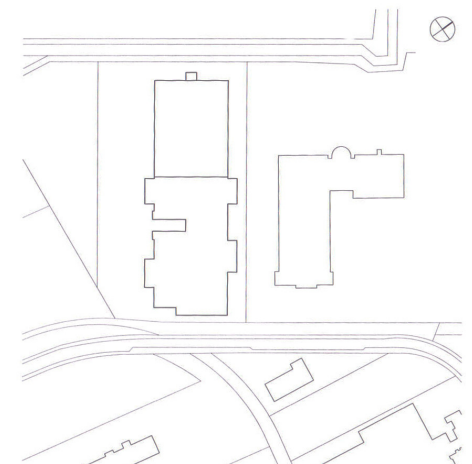


Figura 4.198: Planimetria generale; Fonte: Banz+Riecks, 2004;

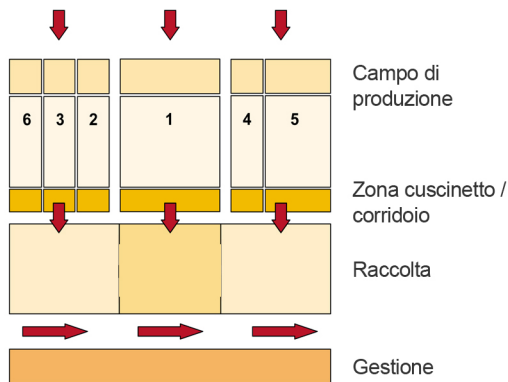


Figura 4.199: Schema compositivo della pianta; Fonte: Banz+Riecks, 2004;



Figura 4.200: Pianta piano terra; Fonte: Banz+Riecks, 2004;

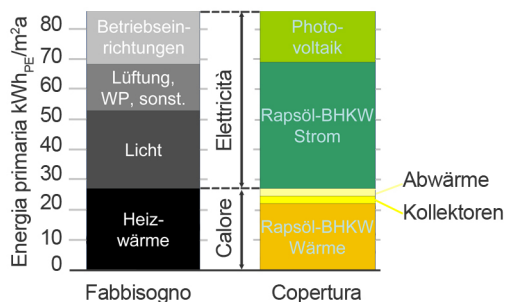


Figura 4.201: Bilancio di energia primaria calcolato durante la fase di progettazione della fabbrica; Fonte: Banz+Riecks, 2004;

Principi d'architettura bioclimatica

L'edificio ha una forma molto compatta con un rapporto tra S/V pari a 0.37. Il nucleo interno dell'edificio che ospita i servizi igienico-sanitari e gli impianti, funge da accumulatore di calore e di massa in grado di sfruttare il raffrescamento notturno degli edifici.

Gli uffici sono dotati di vetrate molto ampie e da una fascia continua di tripli vetri color sabbia ad altezza occhi, per permettere un collegamento visivo con l'esterno. La schermatura parasole, montata all'esterno delle finestre, consiste in tende a lamelle orientate in modo da consentire alla parte superiore di riflettere la luce sulle pareti.

All'interno degli uffici la ventilazione naturale viene garantita da ante apribili in legno dotate di pannelli termoisolanti sottovuoto con un valore U di 0.02 W/m²K e uno spessore di 16 cm.

Soluzioni tecnico-costruttive

Il nucleo con gli uffici e le strutture lungo la Via Solvis sono stati realizzati in cemento armato mentre il tetto e le pareti sono composti da elementi leggeri prefabbricati in legno.

Ai lati dove si sviluppano gli spazi della produzione e il magazzino, l'edificio è costituito da una parete leggera intelaiata in legno con isolante in lana di roccia di 24 cm. Le pareti e il tetto della hall di produzione sono anche esse super isolate con pannelli spessi 30 cm. Le alte prestazioni termiche dell'involucro sono date anche dall'adozione di tripli vetri basso emissivi nello spazio degli uffici e doppi vetri basso emissivi nell'area di produzione. Il rivestimento si può dire perfettamente impermeabile all'acqua e alle intemperie con adeguata traspirabilità con un valore n₅₀ verificato: 0.22.

Impianti

L'illuminazione artificiale con una potenza di 8

W/m² che viene controllata da sensori secondo l'intensità della luce. In alcuni reparti viene data la possibilità di controllare individualmente l'illuminazione

Gli uffici sono provvisti anche di un sistema di ventilazione che procura un ricambio d'aria durante le ore di lavoro con un tasso di 1.0, e di 0.3, più elevato durante le ore notturne. Il sistema di ventilazione è di sola espulsione; l'aria esausta viene aspirata attraverso aperture nelle porte e nei corridoi e locali sanitari, per poi essere espulsa dal tetto. Il COP maggiore di 4,0 della pompa di calore che estrae l'energia dall'aria esausta permette un rendimento ragionevole a quello di un sistema di recupero.

Nella fabbrica uno degli obiettivi principali è di ridurre al minimo i flussi incontrollati d'aria soprattutto nelle aree di accettazione e di consegna delle merci. Il carico e scarico delle merci dai camion avviene quindi a porte chiuse e i portoni che si trovano uno di fronte all'altro, non possono essere aperti contemporaneamente; il passaggio dei mezzi di trasporto viene scandita con un'apertura delle entrate di 3 min/h.

I reparti di produzione e di magazzini sono serviti da un sistema di ventilazione meccanica con recuperatore di calore e riscaldati tramite l'utilizzo dell'aria in entrata ad una temperatura di 17°C. Il gruppo centrale di ventilazione è dotato di uno scambiatore di calore a flusso inverso con un rendimento dell'80%.

Sistema di produzione dell'energia

L'approvvigionamento energetico viene fornito principalmente dall'impianto fotovoltaico sul tetto del capannone. La superficie di 500 m² di moduli fotovoltaici con una potenza di 52 kW_p per le celle di silicio policristallino e 1 kW_p per quelle amorphe producono annualmente circa 49 MWh, necessari a coprire solo il 30% del fabbisogno complessivo dell'intera fabbrica. I

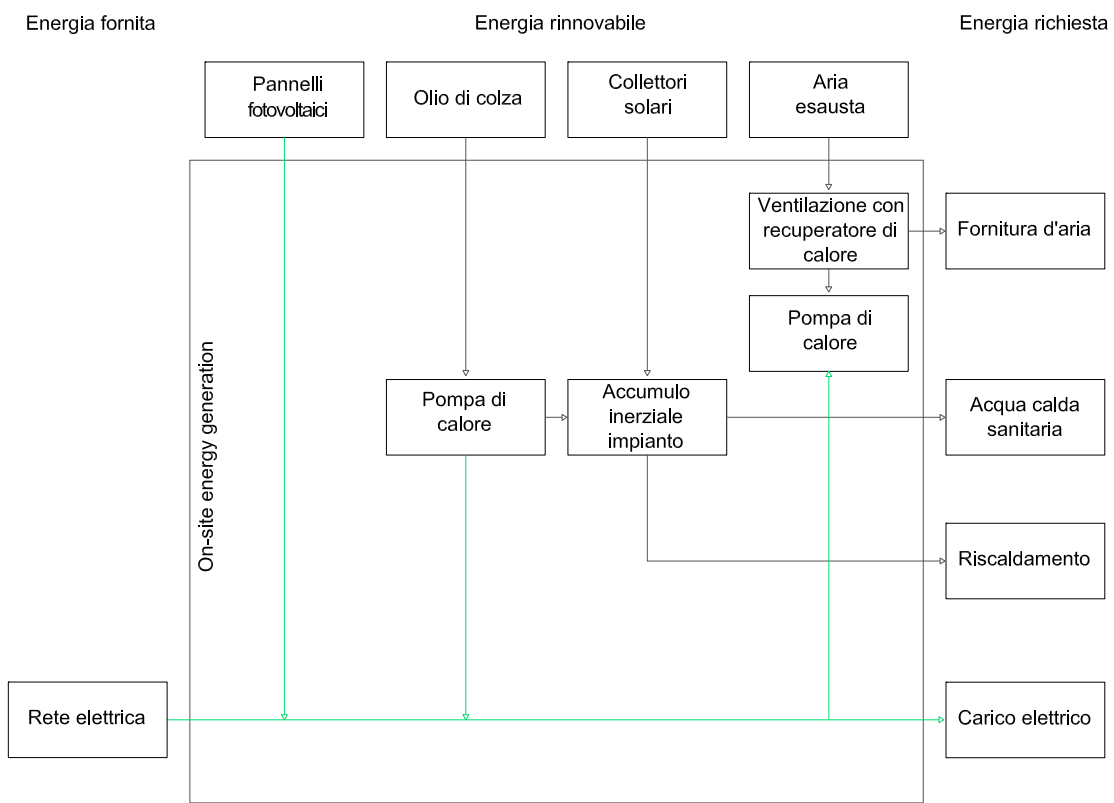


Figura 4.202: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;

pannelli hanno un inclinazione di 18° e le celle di silicio amorfo, che hanno un rendimento maggiore, sono state scelte in considerazione all'ombreggiamento da parte della struttura metallica del tetto. Il fabbisogno energetico viene colmato anche dall'installazione di una centrale di cogenerazione che produce calore ed ha una potenza nominale di 100kW. Data la scarsità di fonti energetiche quali il vento e l'acqua sul sito la centrale viene alimentata ad olio di colza. L'acqua calda anche quella prodotta dai 200 m² di collettori solari viene convo-

gliata in serbatoi d'accumulo situati in diverse zone dell'edificio. I serbatoi che servono anche ad alimentare l'impianto antincendio *Sprinker* hanno una capienza di 500 m³ e non essendo isolati termicamente, emettono in inverno del calore mentre in estate vengono raffreddati con l'aiusilio dell'impianto solare. Gli uffici sono invece riscaldati tramite un sistema di radiatori a piastra montati sotto le finestre, soluzione scelta per avere una maggiore differenziazione delle temperature.

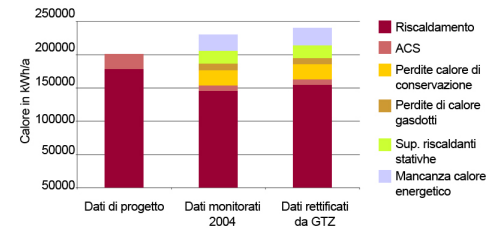


Figura 4.203: Fabbisogno termico. Confronto dati di progetto, dati monitorati nel 2004 e rettificati da GTZ; Fonte: www.enob.info

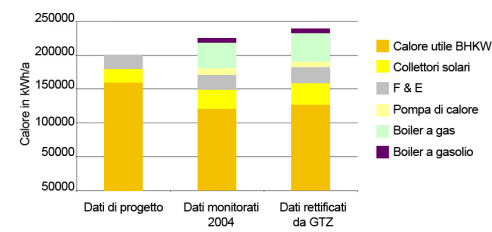


Figura 4.204: Produzione di calore. Confronto dati di progetto, dati monitorati nel 2004 e rettificati da GTZ; Fonte: www.enob.info

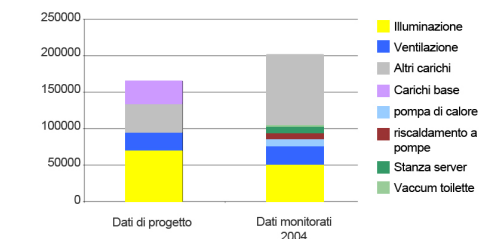


Figura 4.205: Fabbisogno elettrico. Confronto dati di progetto, dati monitorati nel 2004; Fonte: www.enob.info;

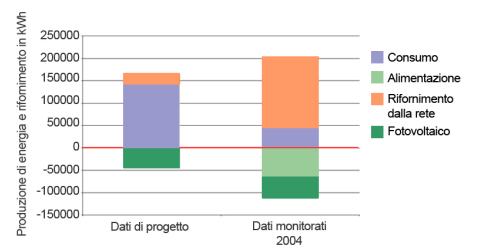


Figura 4.206: Produzione energia elettrica. Confronto dati di progetto, dati monitorati nel 2004; Fonte: www.enob.info

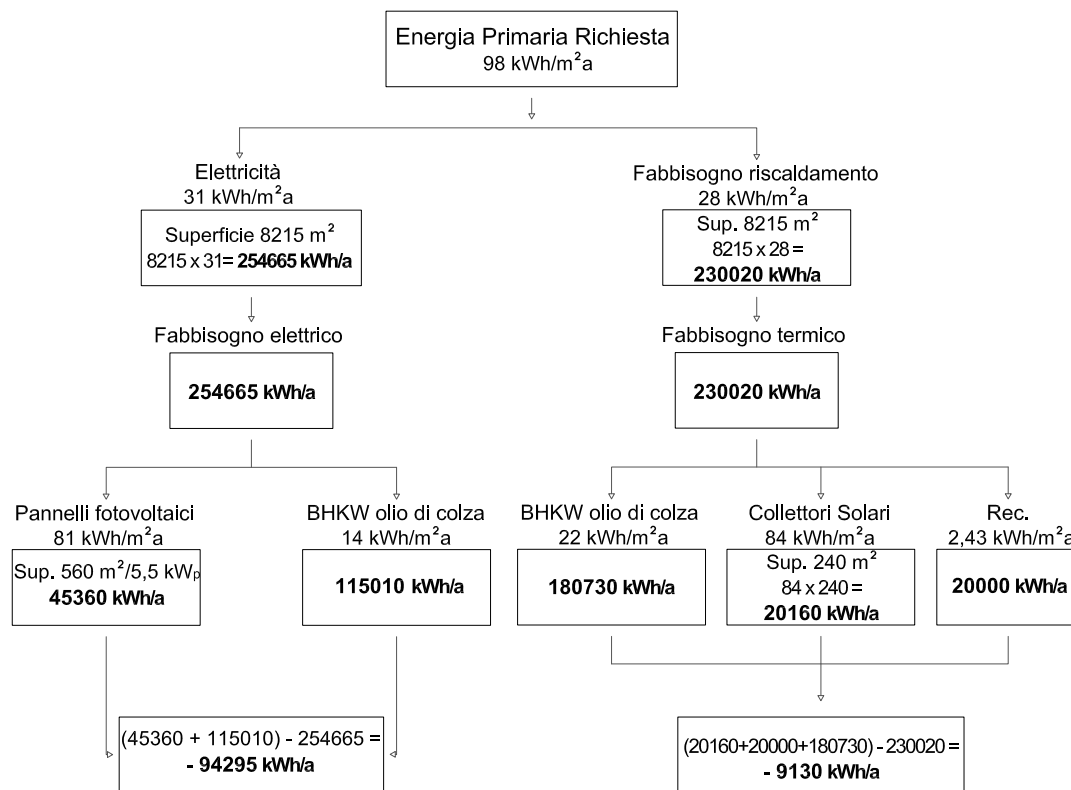


Figura 4.208: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;



Figura 4.209: Vista esterna dello stabilimento Solvis; Fonte: Banz+Riecks, 2004;

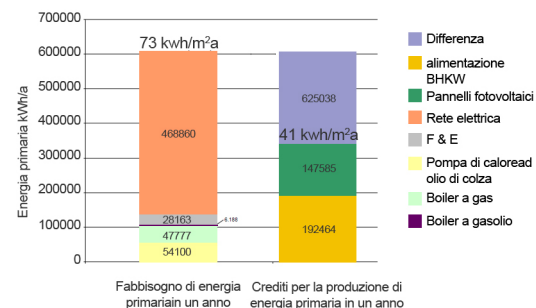


Figura 4.207 : Energia primaria consumata e generata dallo stabilimento Solvis nel 2004; Fonte: www.enob.info;

Bilancio energetico

Durante il periodo di monitoraggio secondo i dati raccolti nel 2005 l'obiettivo zero emissioni non è stato raggiunto dallo stabilimento industriale a Braunschweig. L'aumento di produzione e delle ore di lavoro hanno causato uno squilibrio rispetto ai dati utilizzati per la progettazione della fabbrica. L'installazione di un impianto di raffreddamento per l'aria dei server e l'aumento di numero delle postazioni lavoro, quindi dei computer e l'illuminazione, hanno causato un aumento del fabbisogno energetico di 5 kWh/m²a nel 2004 e 11 kWh/m²a nel 2005. Nel periodo calcolato inoltre l'impianto di cogenerazione non ha dato le prestazioni supposte; il calore necessario è stato prodotto da un boiler e non è stato possibile produrre la quantità di elettricità necessaria. Per raggiungere l'obiettivo di neutralità di emissioni di CO₂ risulta quindi necessario diminuire sia la domanda di elettricità dell'edificio di 20 kWh/m²a e di aumentare la superficie utile per l'installazione di pannelli fotovoltaici.

Se considerati i consumi di energia primari richiesti dalla DIN V 18599, senza contare il fabbisogno di energia richiesta per il funzionamento di apparecchiature, l'obiettivo neutrale di emissioni di CO₂ viene raggiunto; infatti

l'edificio consuma il 75% di elettricità in meno di una normale fabbrica. Questo significa che ogni anno vengono risparmiate circa 800 tonnellate di CO₂; grazie sia alle alte prestazioni dell'involucro, sia al recuperatore di calore con alta efficienza. (K. Voss, 2011)

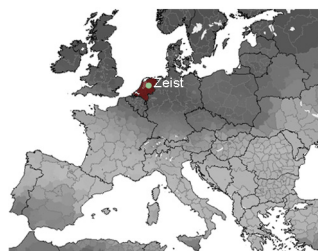
Monitoraggio

Due altre fasi di costruzione sono seguite dopo l'entrata in esercizio del 2002.

Nel 2008 si è deciso di ampliare di 5000 m³ la superficie della fabbrica costruendo un altro edificio dalla parte nord-ovest dell'area. L'edificio è stato progettato seguendo gli stessi principi di flessibilità variabilità del vecchio manufatto. Il nuovo edificio è stato utilizzato come magazzino mentre la produzione e l'area di manufatti è stata mantenuta nel vecchio.

Nel 2009 invece è stata ampliata un'area di 1000 m³ destinata ad uffici. Gli elementi di fac-

ciata sono costituiti da componenti individuali che ospitano tutte le funzioni tecniche come la protezione dal sole e dall'abbagliamento. Insieme all'edificio sono stati sviluppati anche concetti energetici. Per evitare, un supplemento all'impianto di cogenerazione, è stato aggiunto un serbatoio di accumulo, per il lungo periodo, con una capacità di 100000 l. Anche i moduli fotovoltaici sono stati aumentati occupando una superficie di 3200 m². La maggior parte delle cellule con una potenza di 24 kW_p sono state installate sul tetto dell'ampliamento mentre altre con una potenza di 20 kW_p sono state posizionate su appositi inseguitori solari. In questo modo anche dopo notevoli ampliamenti è stato possibile raggiungere un bilancio annuale a zero emissioni.



Progettista:
RAU Architects
Consulente energetico:
DGMR



Dati di progetto

Superficie Netta di Pavimento, SNP	3360 m ²
Superficie Lorda di Pavimento, SLP	3800 m ²
Volume	14360 m ³
Numero totale degli occupanti	200
Sito	Zeist
Radiazione annuale globale	990 kWh/m ² a
Temperatura media annuale	9.7 °C
Contesto	Suburbano
Caratteristiche involucro	W/m ² k
U, muri esterni	0.31
U, finestre (con telaio)	0.90
U, copertura	0.12
U, solaio inferiore	0.13

Richiesta energetica	kWh/m ² a
Totale Energia primaria richiesta	247
Totale Energia primaria fornita	326
Sistemi di produzione energetica	
Area collettori solari	5 m ²
Volume serbatoio termico	220 l
Area pannelli fotovoltaici	300 m ²
Capacità	41 kW _p
Capacità CHP	45 kW _{th}
	25 kW _{el}

Rete di infrastrutture e fonti d'energia	
Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica, olio di colza
Fonti di energia	olio di colza, elettricità
Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica
Fonti di energia re-immessa	elettricità

Strategie progettuali

Geometria compatta, ottimizzazione dell'orientamento, ventilazione naturale, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, accumulo passivo di calore negli elementi costruttivi, materiali naturali, raccolta acqua piovana, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, collettori solari, pompa di calore geotermica, impianto di cogenerazione alimentato con olio di colza, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

Il fulcro centrale del progetto si basa sull'idea di istituire un rapporto simbolico tra la nuova costruzione e l'ambiente che la circonda.

Il quartiere generale olandese del WWF è

localizzato nel perimetro a sud est della città di Zeist. L'intervento prevede il recupero di un laboratorio di agricoltura costruito nel 1954. Del vecchio edificio sono stati recuperati due corpi fabbrica di due livelli orientati quasi perfettamente verso nord-sud e collegati da un elemento a *blob* di tre piani. La forma organica centrale si distingue dal resto dell'edificio e rende leggibile anche l'area d'accesso. Il volume contiene al suo interno la hall d'entrata con il banco informativo, la libreria, il negozio, un caffè e una scala centrale elicoidale. Nei corpi laterali sono invece organizzate le parti più private dell'edificio cioè gli uffici connessi tra loro attraverso una passerella posta a nord del volume centrale. La pianta aperta degli edifici conferisce flessibilità e chiarezza allo spazio

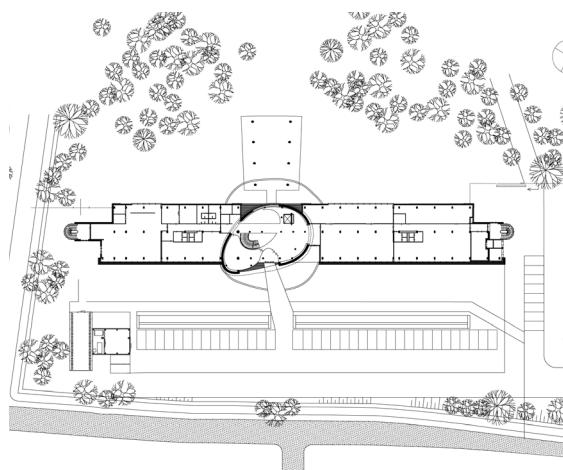


Figura 4.210: Planimetria generale del quartiere generale del WWF; Fonte: C. Piferi, 2010;

circostante organizzato secondo una maglia molto rigida, con luce 3 metri, di pilastri in calcestruzzo.

Principi d'architettura bioclimatica

I sistemi passivi garantiscono ventilazione e illuminazione naturale mentre i sistemi attivi a energia rinnovabili provvedono all'acqua calda sanitaria, al riscaldamento ed all'elettricità.

Il sistema di aperture nella parte inferiore delle facciate di ogni piano, combinato con i sistemi di ventilazione integrati nella struttura lignea, garantisce una ventilazione naturale per tutto l'anno.

L'utilizzo di argilla degli estuari dei fiumi olandesi per realizzare le piastrelle di rivestimento del corpo centrale non è casuale ma è dettata dalla ricerca, per la costruzione, di materiali naturali privi di emissioni, igroregolatori, prodotti senza sfruttamento del lavoro minorile e facilmente reperibili sul luogo di progetto. Il legno di pino per le facciate e il bamboo per i parapetti sono certificati e controllati dalla FSC, *Forest Stewardship Council*. Frutto di questa fase di analisi è stato anche l'impiego di *jeans* riciclati per la *mouquette* che riveste il pavimento degli uffici.

Il disegno della facciata ha permesso sia l'inserimento di serramenti apribili a seconda della necessità sia la penetrazione della luce naturale negli uffici. La facciata esposta a sud è prevista di sistemi di oscuramento orizzontali fissi in legno caratterizzati da profondità variabili a seconda dell'incidenza solare da schermare in modo tale da permettere al sole estivo di penetrare solo indirettamente e al sole invernale di filtrare senza nessuna ostruzione. Su questo fronte, per assicurare la protezione nelle giornate estive, sono previste delle tende avvolgibili, facilmente regolabili.

Soluzioni tecnico-costruttive

La facciata orientata a nord delle ali laterali dell'edificio è composta da elementi leggeri in legno, isolati con un pannello di 12 cm di lana minerale, per un totale di trasmittanza termica di $0.32 \text{ W/m}^2\text{K}$. Anche le lastre di cemento armato del pavimento sono isolate termicamente e raggiungono un valore di trasmittanza termica fino a $0.13 \text{ W/m}^2\text{K}$. La costruzione in legno della parte centrale ha invece un totale di isolamento di 40 cm di polistirene per un valore di U pari a $0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$.

L'aria immessa all'interno dell'ambiente viene precedentemente riscaldata, attraverso uno strato di isolamento di 40 cm posto davanti alle aperture di ventilazione. Un sistema di accumulo di calore, attraverso una rete capillare di tubazioni integrata nell'intonaco di argilla, controlla la circolazione dell'aria; tale soluzione permette di recuperare il calore residuo dell'aria prodotto dalla presenza umana e dall'uso di attrezzature all'interno dell'edificio e immagazzinarlo nelle sonde geotermiche. Il calore che rimane viene poi utilizzato per mezzo di una pompa di calore per riscaldare l'edificio in inverno.

L'acqua che scorre all'interno delle tubature integrate nello strato di 5 cm d'argilla viene mantenuta sempre in circolo, in modo tale che la temperatura di tutti gli ambienti rimanga il più costante possibile. In estate l'acqua viene rinfrescata tramite uno scambiatore di calore con il terreno e utilizzata per il raffrescamento.

Elemento costante di tutto il progetto, oltre alla scelta dei materiali impiegati, è la ricerca di grandi trasparenze che consentono alla natura di penetrare all'interno dell'edificio. Le facciate esistenti sono state sostituite con una griglia lineare ritmata da un'intelaiatura in legno di pino e vetro. Il vetro che può diventare elemento di dispersione in inverno e di tenuta in estate è

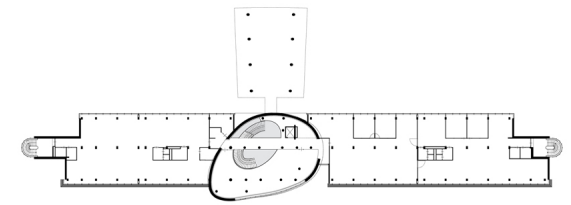


Figura 4.211: Pianta piano primo; Fonte: C. Piferi, 2010;

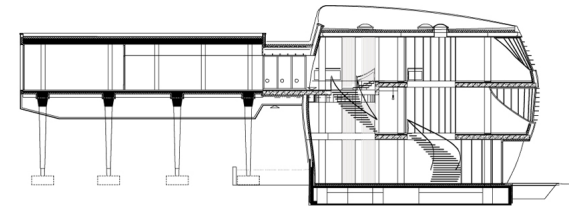


Figura 4.212: Sezione trasversale; Fonte: C. Piferi, 2010;

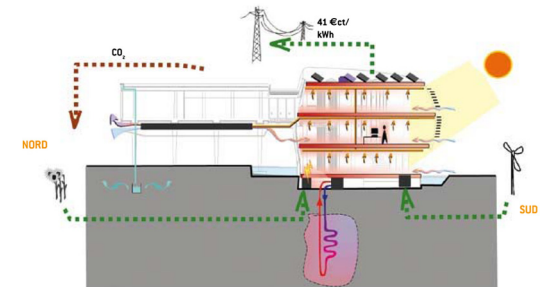


Figura 4.213: Schema illustrativo del flusso energetico e luminoso nel periodo invernale; Fonte: E. Formenti, 2008;

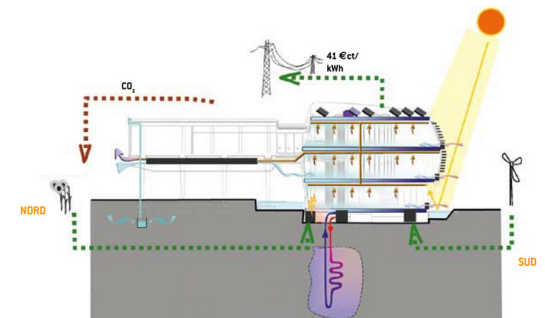


Figura 4.214: Schema illustrativo del flusso energetico e luminoso nel periodo estivo; Fonte: E. Formenti, 2008;

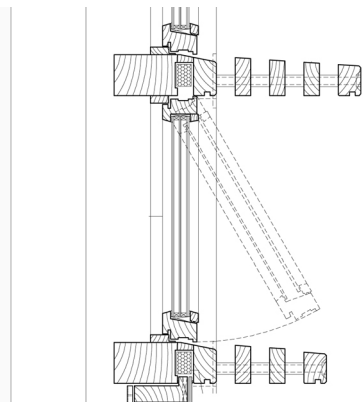


Figura 4.215: Dettaglio in sezione verticale dell'apertura delle finestre nel corpo degli uffici; Fonte: E. Formenti, 2008;

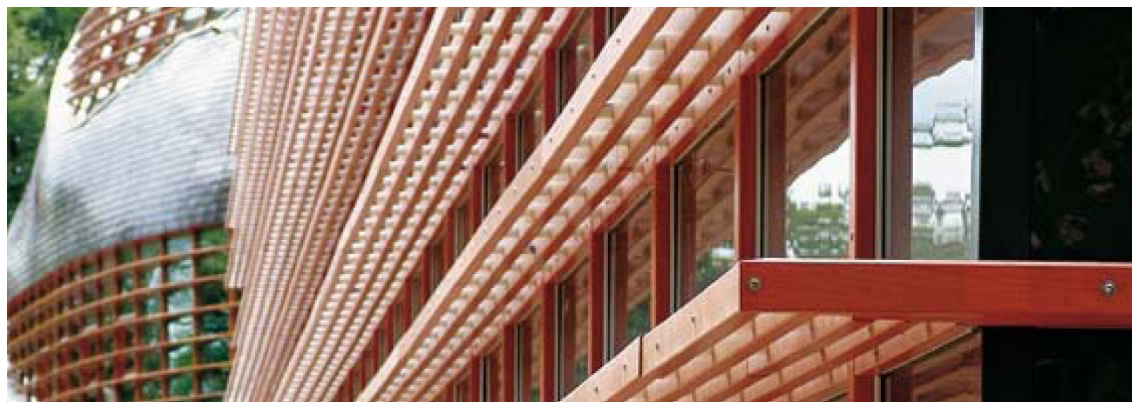


Figura 4.216: Vista sud degli uffici in vetro e legno e del "blob" centrale; Fonte: C. Piferi, 2010;

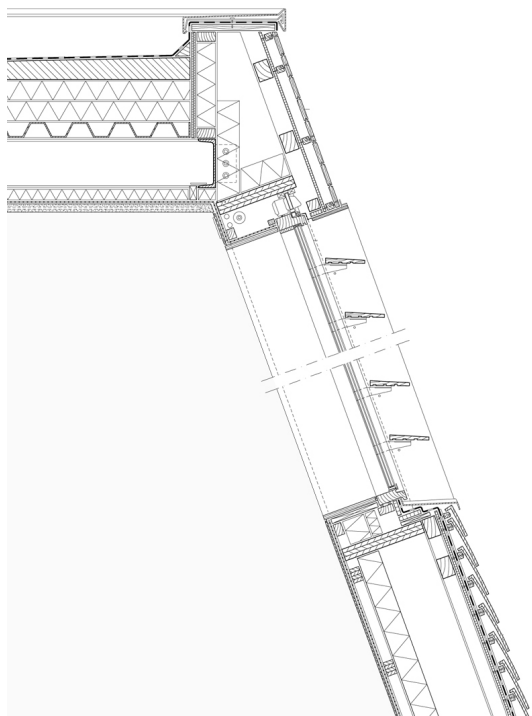


Figura 4.217: Dettaglio in sezione verticale del corpo centrale; Fonte: E. Formenti, 2008;

pensato come triplo vetro termoisolante composto da tre strati separati da gas Krypton, con un valore di trasmittanza termica compresa tra 0.9 e 0.6 W/m²K.

Impianti

Tra le strategie previste per non gravare a livello energetico sull'ambiente viene proposto il sistema di smaltimento delle acque reflue. Un sistema collocato sotto il lastricato d'ingresso consente il passaggio dell'acqua piovana, filtrandola e depurandola dalle sostanze nocive provenienti anche dal passaggio delle autovetture, e garantisce che gli agenti inquinanti non possano penetrare nelle falde acquifere.

Sistemi di produzione d'energia

La richiesta di riscaldamento dell'edificio viene coperta da una pompa di calore reversibile, 50 kW_{th} e 17 kW_{el}, collegata con delle sonde geotermiche. L'impianto è di grandi dimensioni sono utilizzate 18 sonde che arrivano ad una profondità di 100 m e distano una dall'altra 5 m. Un ulteriore fonte d'approvvigionamento è dato da un sistema di cogenerazione alimentato ad

olio di colza che fornisce 45 kW_{th} e 17 kW_{el}. In loco è prevista anche la produzione di energia solare realizzata mediante l'installazione di collettori solari per la produzione di acqua calda, e di pannelli fotovoltaici. I collettori solari sono collocati sulla copertura piana dell'edificio con una superficie di 5 m² riescono a ricoprire solo una parte del fabbisogno di acqua calda richiesto.

I pannelli fotovoltaici invece sono 208 moduli posizionati sul tetto dell'edificio ad una pendenza di 20°C e con una potenza di 40.5 kW_p riescono a produrre la maggior parte dell'energia primaria richiesta per riscaldare e del fabbisogno elettrico.

Bilancio energetico

Il fabbisogno elettrico dell'edificio dato dall'utilizzo delle apparecchiature interne, dal sistema di illuminazione e da altre fonti, 71 kWh/m²a, così come l'elettricità richiesta per il funzionamento del sistema di cogenerazione alimentato ad olio di colza, 121 kWh/m²a, viene compensato a livello di energia primaria e di emissioni dai 104 prodotti dai pannelli fotovoltaici.

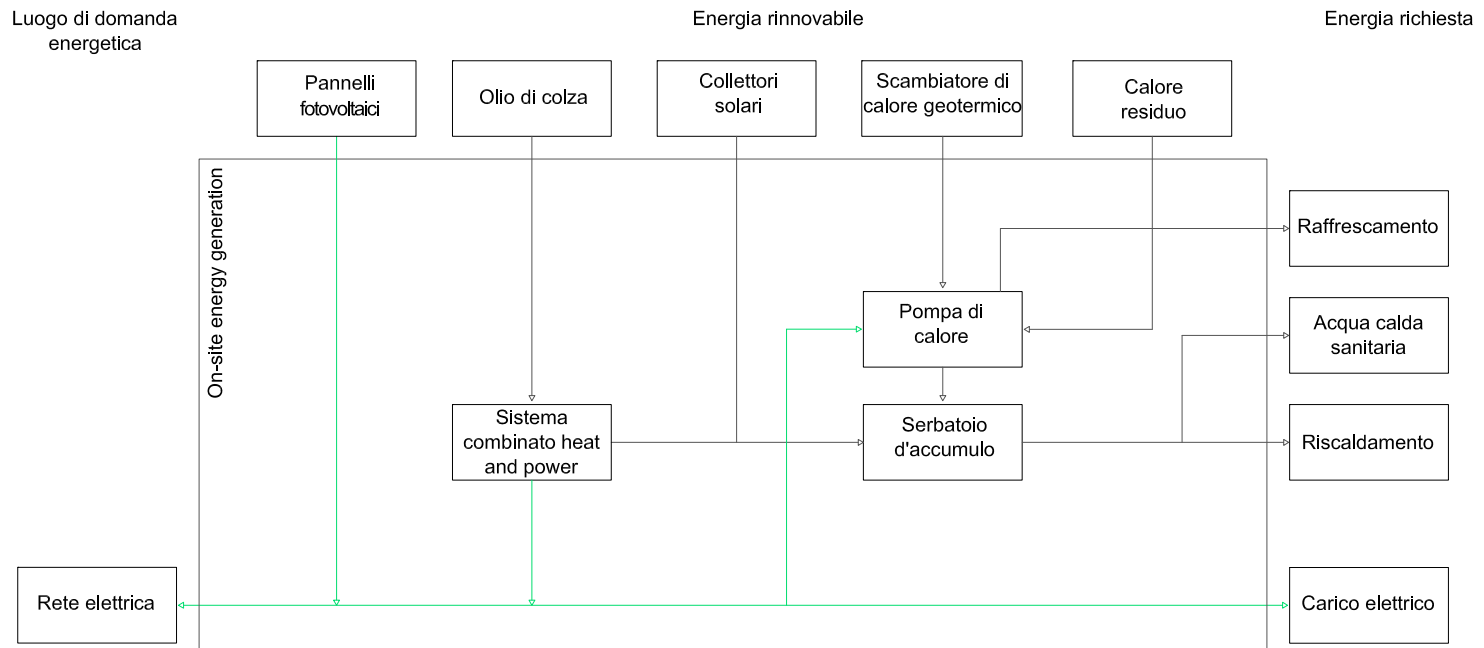
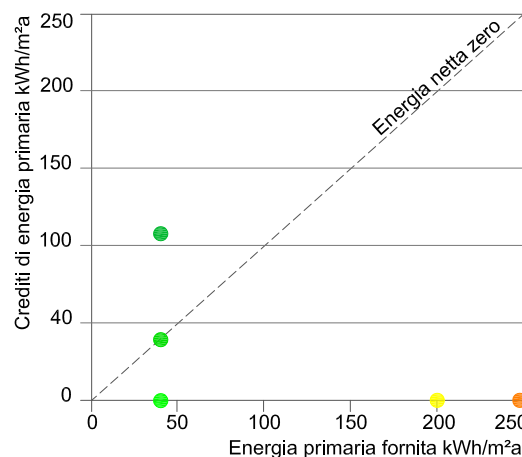


Figura 4.218: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;

Il quartier generale del WWF a Zeist è stato progettato con l'intenzione di costruire un sistema neutrale rispetto alle emissioni di anidride carbonica creando un equilibrio tra l'energia prodotta e quella non emessa. In estate l'energia prodotta in eccesso viene immessa nel sistema di rete a cui è connesso l'edificio, mentre in inverno quando la produzione di elettricità attraverso i pannelli fotovoltaici non è permessa, la struttura riceve il proprio sostentamento dalla rete elettrica.

Il fabbisogno di energia annuo dell'edificio di $0,49 \text{ MJ/m}^2$ gli ha garantito di ricevere una certificazione A++ secondo il sistema di certificazione energetica olandese.



Un consumo di $212 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ è coperto dalla produzione mensile. I restanti $35 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ sono compensati da un surplus annuale.

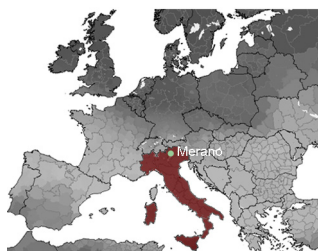
- Energia primaria consumata annualmente ($247 \text{ kWh/m}^2\text{a}$)
- Consumo di energia primaria specifica dell'edificio ($204 \text{ kWh/m}^2\text{a}$)
- Consumo copertura dalla produzione mensile ($212 \text{ kWh/m}^2\text{a}$)
- Bilancio del rimanente consumo
- Elettricità prodotta in eccesso ($114 \text{ kWh/m}^2\text{a}$)

Figura 4.219: Valutazione energetica in $\text{kWh/m}^2\text{a}$; Fonte: K. Voss, 2011;

4.23

Caso studio 23: NATURALIA_BAU

Merano, I 2009



Progettista:
Dietmar Dejori
Consulente energetico:
Dato non disponibile



Dati di progetto

Superficie Netta di Pavimento, SNP	750 m ²
Superficie Lorda di Pavimento, SLP	230 m ²
Volume	2350 m ³
Numero totale degli occupanti	40
Sito	Merano
Radiazione annuale globale	1288kWh/m ² a
Temperatura media annuale	11 °C
Contesto	Urbano
Caratteristiche involucro	W/m ² k
U, finestre (con telaio)	0.5
U, copertura	0.11

Sistemi di produzione energetica

Volume serbatoio termico	1800 l (x2)
Area pannelli fotovoltaici	190 m ²
Capacità	20 kW _p
Capacità CHP	35 kW _{th}
	30 kW _{el}

Rete di infrastrutture e fonti d'energia

Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica
Fonti di energia	elettricità
Re-immessa nell'infrastruttura	rete elettrica
Fonti di energia re-immessa	elettricità

Strategie progettuali

Geometria compatta, ventilazione naturale, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, vegetazione sul tetto, materiali ecologici, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, principi di domotica, sensori di presenza, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, collettori solari, pompa di calore geotermica, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

Sviluppato su tre piani l'edificio ha una superficie abitabile di circa 750 m² e ospita al primo piano l'ingresso con un banco informativo e un negozio, al secondo piano gli uffici e al terzo piano una sala conferenze con 40 posti. Gli uffici sono organizzati attorno ad un ampio atrio

che raccoglie la luce e la distribuisce uniformemente agli ambienti di lavoro. Vi è una qualità funzionale tra gli spazi aperti e chiusi tutti uniti da un percorso, un continuum dinamico dal basso verso l'alto. L'espressività dell'esterno, scandita da un ritmo dato dagli elementi verticali, viene interrotta dalle serre e i balconi in vetri che si affacciano sulla strana come elementi di curiosità.

Principi d'architettura bioclimatica

I materiali giocano un ruolo fondamentale nel raggiungimento dell'obiettivo "zero emissioni" sia durante la fase di utilizzo dell'edificio sia durante le fasi di costruzione e dismissione; è stato scelto il legno come elemento principale delle realizzazione edilizia, eccezione fatta per

Figura 4.220: Planimetria generale della sede Naturalia-Bau; Fonte: www.archinfo.it;

le fondazioni e le scale in cemento armato. Il legno come materiale si adatta all'edificio grazie alle sue caratteristiche e al processo produttivo dove l'emissività risulta essere molto ridotta rispetto ad altri materiali, inoltre la scelta del legno idoneo al sito e di vicina provenienza permette di raggiungere un basso consumo di CO₂ e un'alta compatibilità ambientale. Il legno è importante dal punto di vista igroscopico: è in grado di assorbire umidità negli ambienti, assorbendo l'aria in eccesso e cedendola nei periodi più secchi.

La copertura è stata pensata come verde pensile di tipo estensivo, con una minima manutenzione, che permette la ritenzione fino all'80% di acqua piovana che viene rilasciata per evaporazione durante il periodo estivo.

Soluzioni tecnico-costruttive

Per risparmiare energia non è stata sottovaluta la misura più semplice ed efficace da applicare all'edificio: la coibentazione. L'edificio è collocato in un clima particolarmente freddo, l'isolamento, la scelta dei materiali isolanti e il relativo spessore hanno svolto un ruolo fondamentale. Internamente le pareti sono rivestite di intonaco argilla, materiale naturale, in grado di assorbire odori e mantenere un grado di umidità interno costante. Le superfici trasparenti sono invece progettate in modo da diminuire le dispersioni termiche, caratterizzate da un triplo vetro hanno una trasmittanza globale U di 0,5 W/m²K.

Il tetto ha una stratigrafia particolare; la barriera al vapore non è stata posta nel lato caldo in modo tale che la stratigrafia in fibra di legno sia in grado di accumulare durante l'arco della stagione umida, l'acqua da cedere all'interno durante il periodo secco, così da ottenere un aumento del comfort interno.

L'elevata efficienza dell'involucro ha consentito di raggiungere la certificazione energetica Ca-

saClima^{gold}, con un fabbisogno di riscaldamento annuo inferiore a 10 kWh/m²a.

Impianti

Il sistema di ricambio d'aria, negli spazi interni al primo piano, gli uffici e la sala conferenze, viene garantito da un sistema di ventilazione meccanica con scambiatore di calore a flusso incrociato il cui recupero del calore in uscita è del 90%.

Sistema di produzione dell'energia

Il riscaldamento nell'edificio viene garantito da un sistema di pannelli radianti a pavimento e a parete collegati ad un impianto geotermico.

Un impianto di ventilazione meccanica controllata con recupero di calore minimizza le perdite e lo scambio energetico con l'esterno. In estate l'edificio può essere raffrescato anche grazie alle temperature basse del fluido circolante nelle sonde geotermiche.

Caldo e freddo sono infatti approvvigionati da due pompe di calore geotermiche con capacità di 35 kW_{th} e 30 kW_c, dotate di dieci sonde geotermiche della profondità di 100 m, che effettuano lo scambio di calore con il terreno ad una temperatura più o meno costante, 13 °C in inverno e 15 °C in estate.

Le pompe di calore convogliano in due serbatoi di accumulo da 1800 l ciascuno, prima di essere distribuiti al sistema.

I pannelli fotovoltaici, caratterizzati da una potenza totale di circa 20 kW_p e da un'inclinazione di circa 30° riescono a ricoprire con la loro superficie di 190 m² il fabbisogno elettrico dell'edificio commerciale dove l'energia elettrica per l'illuminazione è calcolata in 7300 kWh_{el}, che sommata a quella dei posti di lavoro, di 5000 kWh_{el}, è di 12300 kWh_{el}. L'energia necessaria per la climatizzazione nel periodo invernale ed estivo e gli ausiliari è calcolata per un totale di

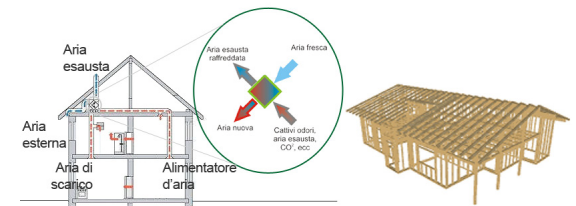


Figura 4.221: Principi di progettazione per la realizzazione dell'edificio della Naturalia-Bau a Merano;

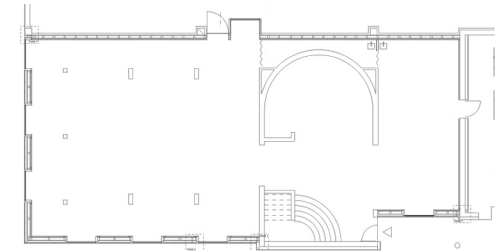


Figura 4.222: Pianta piano terra; Fonte: www.archinfo.it;

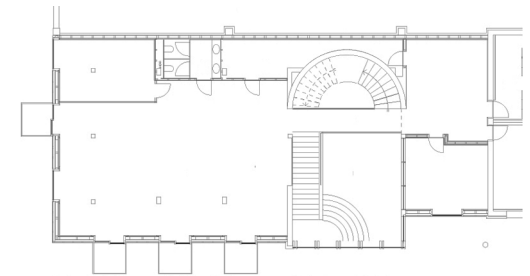


Figura 4.223: Pianta piano primo; Fonte: www.archinfo.it;

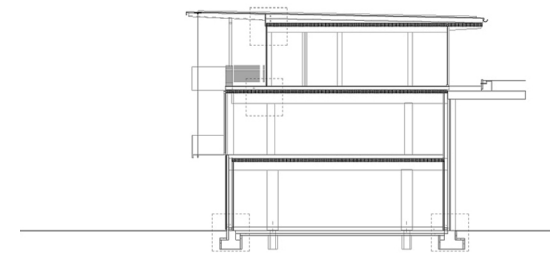


Figura 4.224: Sezione trasversale; Fonte: www.archinfo.it;

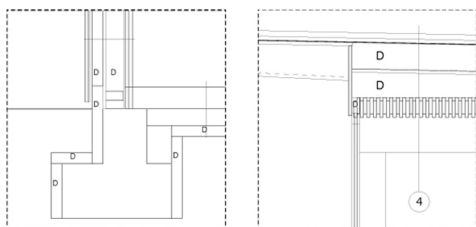


Figura 4.225: Dettagli; Fonte: www.archinfo.it;

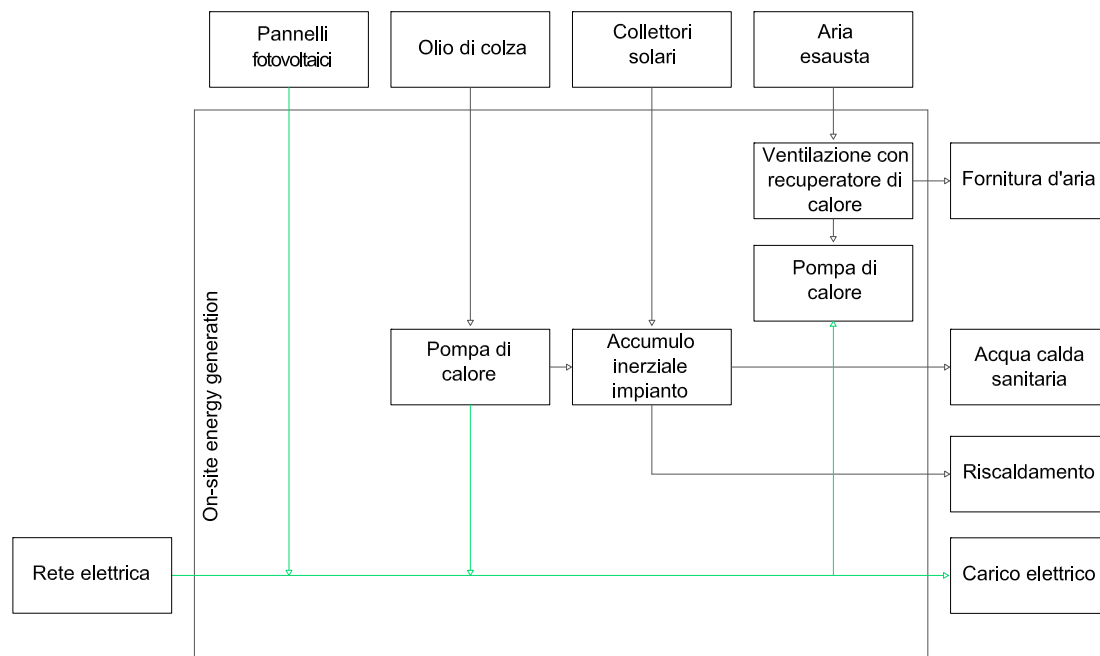


Figura 4.226: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti;

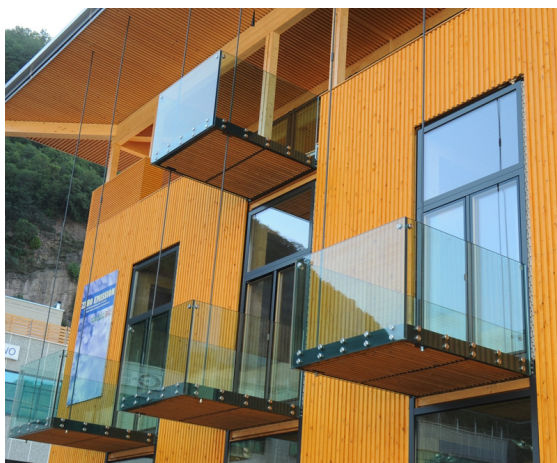


Figura 4.227: Vista prospetto est; Fonte: C. dal Vero, 2008;

14100 kWh_{el}/a. Secondo i dati raccolti il campo fotovoltaici dovrebbe garantire anche una cessione di una certa quantità di elettricità alla rete locale.

Monitoraggio

Durante la fase di utilizzo è stato possibile monitorare l'edificio ed eseguire un'adeguata analisi energetica, grazie alla presenza di contattori installati direttamente nell'edificio e a letture effettuate dal proprietario, per verificare che il bilancio tra energia prodotta ed energia consumata sia effettivamente nullo.

I bilanci sono stati valutati raccogliendo i dati in due periodi distinti dell'anno, modalità operativa invernale, dal 7 Gennaio al 30 Aprile, e

modalità operativa estiva, dal 1 Maggio al 15 Giugno.

Contatore	Flusso energetico	Valore aggregato nel periodo [kWh]		Valore medio giornaliero [kWh/gg]	
		07 Gennaio/30 Aprile 2009	01 Maggio/15 Giugno 2009	07 Gennaio/30 Aprile 2009	01 Maggio/15 Giugno 2009
1)	El _{PIV}	7015	4274	76.25	92.91
2)	El _{acq}	2508	47	27.26	1.02
	El _{em}	2941	2268	31.96	49.30

Figura 4.228: Dati raccolti dai contatori per la stagione di raffrescamento e riscaldamento; Fonte: A. Napolitano, 2010;

In primo luogo è stato effettuato un bilancio tra l'energia elettrica consumata e quella prodotta. Con il termine energia elettrica consumata si fa riferimento al totale dell'energia: energia in ingresso a tutti i sistemi energetici, carichi elettrici interni e ausiliari.

Questa è data da:

$$EnUse = EI_{PV} - EI_{im} + EI_{acq}$$

la quale ammonta a 6582 kWh_{el} nei periodi invernali e 2053 kWh_{el} nei periodi estivi. Confrontando tali valori con la produzione data dai pannelli fotovoltaici nei rispettivi periodi, 7015 kWh_{el} e 4272 kWh_{el}, si verifica che il bilancio è soddisfatto e che l'edificio in esame produce più di quello che consuma: circa 430 kWh_{el} in più nel periodo invernale e 2220 kWh_{el} in più nel periodo estivo. (A.Napolitano, 2009).

Anche effettuando un bilancio sull'energia primaria il concetto NZEB sarebbe verificato. In questo caso dovrebbe essere considerata l'energia primaria totale acquisita in rete, EI_{acq}, bilanciata dall'energia primaria evitata per l'immissione di energia elettrica da fonte rinnovabile, EI_{im}.

La quantità di energia primaria richiesta risulta inferiore di circa 1 MWh in inverno e 5.5 MWh in estate.

E' stato effettuato un bilancio anche riguardo le emissioni di anidride carbonica paragonando l'edificio così progettato con la struttura lignea e un medesimo edificio con struttura in calcestruzzo. La struttura in legna ha un bilancio negativo grazie al suo ciclo di vita rinnovabile e rigenerabile. Lo smaltimento dei due edifici risulta differente: l'edificio in calcestruzzo non può essere riutilizzato dopo la dismissione al contrario dell'edificio in legno. L'emissione dell'anidride carbonica viene contenuta nello scenario con edificio in legno. In un edificio con

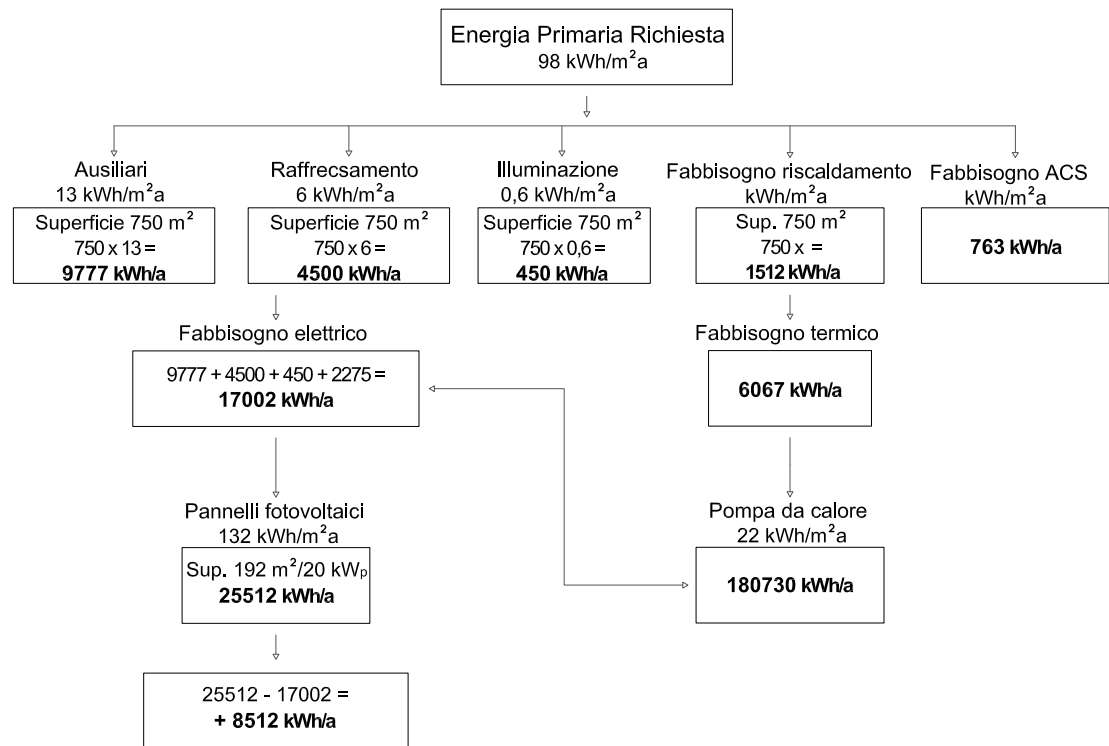


Figura 4.229: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;

struttura in legno di 750 m², vengono risparmiate 30 tCO₂ mentre la struttura in calcestruzzo armato causerebbe un consumo di 187.5 tCO₂. E' stato inoltre calcolato che il risparmio di anidride carbonica dalla produzione di elettricità dal fotovoltaico risulta dell'ordine dei 0.3 - 0.4 kg per ogni kWh prodotto. In un edificio della medesima entità con impianto tradizionale a gas si avrebbero 9800 kgCO₂/a, riducibili del 37%, a 6200 kgCO₂/a, con l'impianto geotermico e del 100%, quindi zero con l'installazione dell'impianto fotovoltaico.

4.24

Caso studio 24: BLAUE HEIMAT Heidelberg, D 2005



Progettista:
Gerstner Architekten
Consulente energetico:
Solare Bauen



Dati di progetto

Superficie Netta di Pavimento, SNP	3375 m ²
Superficie Lorda di Pavimento, SLP	4689 m ²
Volume	14653 m ³
Sito	Heidelberg
Radiazione annuale globale	1050 kWh/m ² a
Temperatura media annuale	9.2 °C
Contesto	Urbano
Caratteristiche involucro	W/m ² k
U, muri esterni	0.15
U, finestre (con telaio)	1.20
U, copertura	0.13
U, solaio inferiore	0.17

Sistemi di produzione energetica

Area pannelli fotovoltaici	86 m ²
Capacità	12 kW _p
Capacità CHP	80 kW _{th} ^p
Capacità boiler a gas	50 kW _{el}
Volume serbatoio termico	814 kW _{th}
Volume serbatoio termico	4700 l
Rete di infrastrutture e fonti d'energia	
Infrastrutture di approvvigionamento	rete elettrica, rete gas gas naturale, elettricità, elettricità verde
Fonti di energia	rete elettrica, te- leriscaldamento elettricità, calore
Re-immessa nell'infrastruttura	
Fonti di energia re-immessa	

Strategie progettuali

Geometria compatta, ventilazione naturale, illuminazione naturale, utilizzo passivo dell'energia solare, ombreggiamento, vegetazione, accumulo passivo di calore negli elementi costruttivi, materiali ecologici, ottimizzazione prestazioni dell'involucro, ventilazione meccanica con recuperatore di calore, impianto a cogenerazione alimentato a gas naturale, pannelli fotovoltaici.

Tipologia architettonica

Le intenzioni progettuali sono rivolte alla rimozione di impedimenti strutturali e spazi per mirare alla realizzazione di edificio ad emissioni di anidride carbonica zero. Il fulcro della riqualificazione energetica è stato l'ispessimento

delle murature, la sostituzione della tecnologia dell'edificio con componenti a risparmio energetico e l'installazione di un sistema di ventilazione con recuperatore di calore. L'intervento di recupero ha interessato una palazzina plurifamiliare di tre piani con pianta ad U, costruita nel 1926/27. La strategia progettuale ha portato alla modifica del layout dell'edificio con l'ampliamento dello spazio abitativo, ad esempio attraverso la previsione di balconi, per aumentare il comfort interno e per creare nuovi insediamenti abitativi in grado di adattarsi a diverse condizioni di vita. Alcuni appartamenti sono stati uniti così da formare spazi più luminosi, compresi di cinque stanze. Il numero dei moduli abitativi si è ridotto, da 56 prima dell'intervento a 40, con una superficie calpestabile

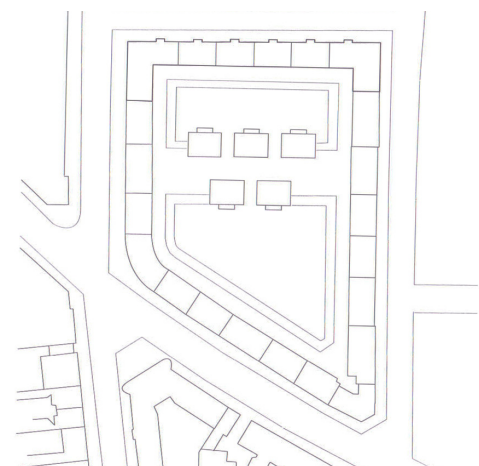


Figura 4.230: Vista prospetto est; Fonte: www.solares-bauen.de;

media di 84 m², circa 30 m² in più rispetto ai vecchi appartamenti.

Principi d'architettura bioclimatica

In modo da garantire alti livelli di guadagno solare l'area occupata dalla superficie finestrata è stata ampliata nella facciata orientata a sud. L'ombreggiatura viene garantita dall'aggetto dei balconi collegati con l'edificio solo per piccole porzioni in modo da evitare la creazione di ponti termici.

La ventilazione negli ambienti può avvenire sia naturalmente che meccanicamente creando all'interno circuiti naturali o forzati.

Per diminuire le perdite di calore dovute alla lunga durata dell'apertura delle finestre la compagnia custode ha deciso di fornire dei corsi agli occupanti, per sensibilizzarli al corretto funzionamento delle tecnologie applicate.

Soluzioni tecnico-costruttive

Per diminuire il fabbisogno termico dell'edificio i muri esterni e la copertura sono stati isolati con cappotti di rivestimento dello spesso di 20 cm nel primo case e 18 cm nel secondo; il fattore di trasmittanza termica nelle parati raggiunge ora un valore di 0.15 W/m²K, mentre nel tetto viene calcolato a 0.13 W/m²K. Anche nel solaio di separazione tra le cantine, non riscaldate, e gli appartamenti è stato applicato uno strato di isolante di 16 cm così da raggiungere un valore di U pari a 0.17 W/m²K.

I serramenti e le strutture vetrate sono le strutture che maggiormente influiscono sul livello di prestazione energetica e acustica per così dire l'anello debole della struttura. Nell'intervento si è prevista quindi la sostituzione dei serramenti a vetro singoli con finestre più efficienti a triplo vetro, così da garantire la permeabilità e una tenuta all'aria, la resistenza al carico del vento e l'isolamento acustico. Con il telaio in legno le

finestre garantiscono una trasmittanza termica 1.20 W/m²K.

Impianti

Nonostante l'altezza degli appartamenti di 2.42 m è stato possibile installare un sistema di ventilazione meccanica con recuperatore di calore ad alta efficienza dell'85%. I sette impianti di ventilazione hanno una collocazione decentrata, nel seminterrato, di fianco alle scale. La soluzione permette sia l'isolamento, al livello del piano seminterrato, del rumore causato dal funzionamento dell'impianto sia l'agevolazione della manutenzione. L'impianto oltre ad essere collegato con gli appartamenti, dotati di tre livelli di regolazione diversa, è collegato alla lavanderia.

Agli inquilini è stato fornito anche un manuale con una lista di tutti gli elettrodomestici energeticamente efficienti in modo da sensibilizzare e incoraggiare l'acquisto di tecnologie più consapevoli. Nell'edificio sono installate, negli spazi comuni e nei bagni, lampade a risparmio energetico.

Sistema di produzione dell'energia

La produzione del fabbisogno elettrico e termico viene coperto da un impianto di cogenerazione alimentato a gas naturale con una capacità termica di 80 kW e una capacità energetica di 50 kW, la quale riesce a coprire il 95% della domanda per il riscaldamento. Il restante 5% è coperto da un boiler a gas con una potenza di 92 kW. Il sistema permette di fornire energia elettrica sia all'edificio restaurato sia ai due edifici confinanti non ancora sottoposti ad intervento di risanamento. Per migliorare il rendimento l'impianto di cogenerazione è collegato a tre serbatoi d'accumulo di 1000 l collocati nel seminterrato e collegati in successione. Oltre a questi il sistema di riscaldamento comprende



Figura 4.231: Pianta piano terra; Fonte: <http://www.urumqi-drylandmegacity.uni-hd.de>;



Figura 4.232: Sezione prospettica; Fonte: <http://www.urumqi-drylandmegacity.uni-hd.de>;

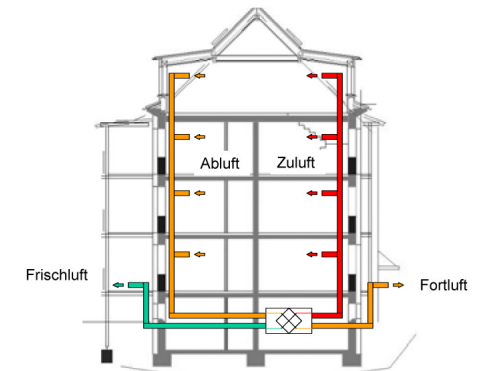


Figura 4.233: Schema circolazione dell'aria rappresentata in sezione; Fonte: www.iea-shc.org;

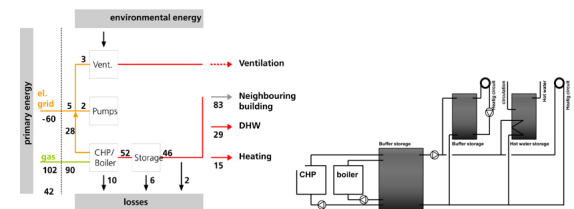


Figura 4.234: Schema funzionamento degli impianti; Fonte: www.iea-shc.org;

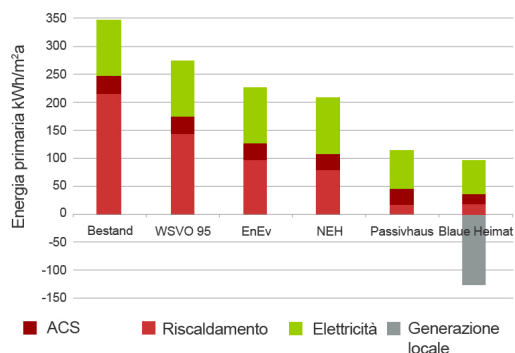


Figura 4.235: Confronto tra l'energia primaria richiesta dalla Blaue Heimat e abitazioni, con medesime metrature, progettate secondo altri standard edilizi; Fonte: www.iea-shc.org;

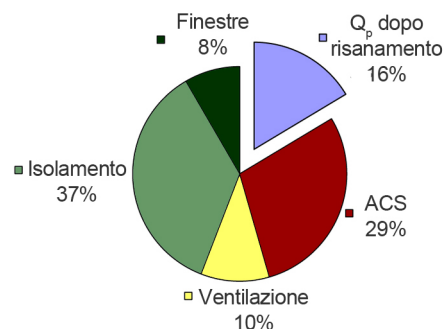


Figura 4.237: Percentuali di risparmio energetico dopo il risanamento; Fonte: <http://www.urumqi-dryland-megacity.uni-hd.de>;

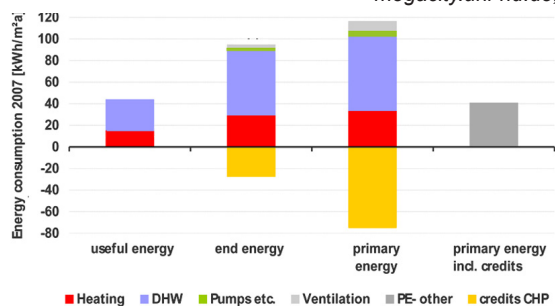


Figura 4.238: Dati di consumo e produzione di energia monitorati nel 2004; Fonte: www.iea-shc.org;

Energia fornita

Energia rinnovabile

Energia richiesta

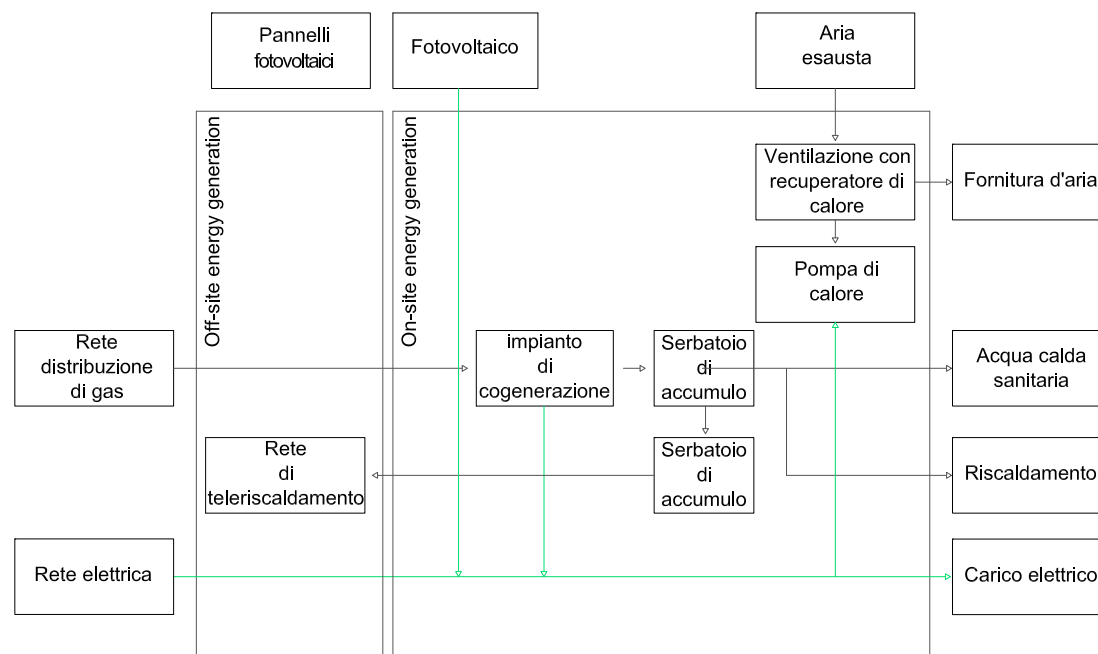


Figura 4.236: Schema tecnico sul funzionamento degli impianti; Fonte: K. Voss, 2011;

due serbatoi di accumulo con portata 800 l per la produzione di acqua calda sanitaria e due serbatoi di 350 l per la produzione di acqua calda per gli edifici confinanti.

Il fabbisogno energetico oltre ad essere approvigionato dal sistema a cogenerazione viene coperto dall'impianto fotovoltaico con potenza 11.6 kW_p, che occupa parte della superficie del tetto. L'impianto è stato finanziato dal servizio municipale di Heidelberg.

Bilancio energetico

Dopo l'intervento di restauro, finito nel Luglio 2009, l'edificio è stato sottoposto a monitoraggio continuo anche grazie al supporto del Ministero Tedesco dell'Economia e Tecnologia e

al gruppo di ricerca Task 37 dello IEA. L'analisi degli andamenti è stata svolta sulla raccolta di dati annuali e mensili. Nonostante la temperatura in inverno si mantenga costante ai 20°C il fabbisogno di riscaldamento ammonta a 19 kWh/m²a, circa il 90% in meno rispetto alla situazione iniziale. Anche la richiesta di acqua calda sanitaria di 11 kWh/m²a corrisponde ai calcoli previsti nella fase di pianificazione.

L'analisi del bilancio sull'energia primaria rivela però delle perdite molto ampie di calore. Questo può essere dovuto sia dal minore rendimento dell'impianto a cogenerazione rispetto a quello calcolato, sia dal sistema centralizzato di rifornimento d'energia che approvvigiona tutto il confine del condominio strutturato con

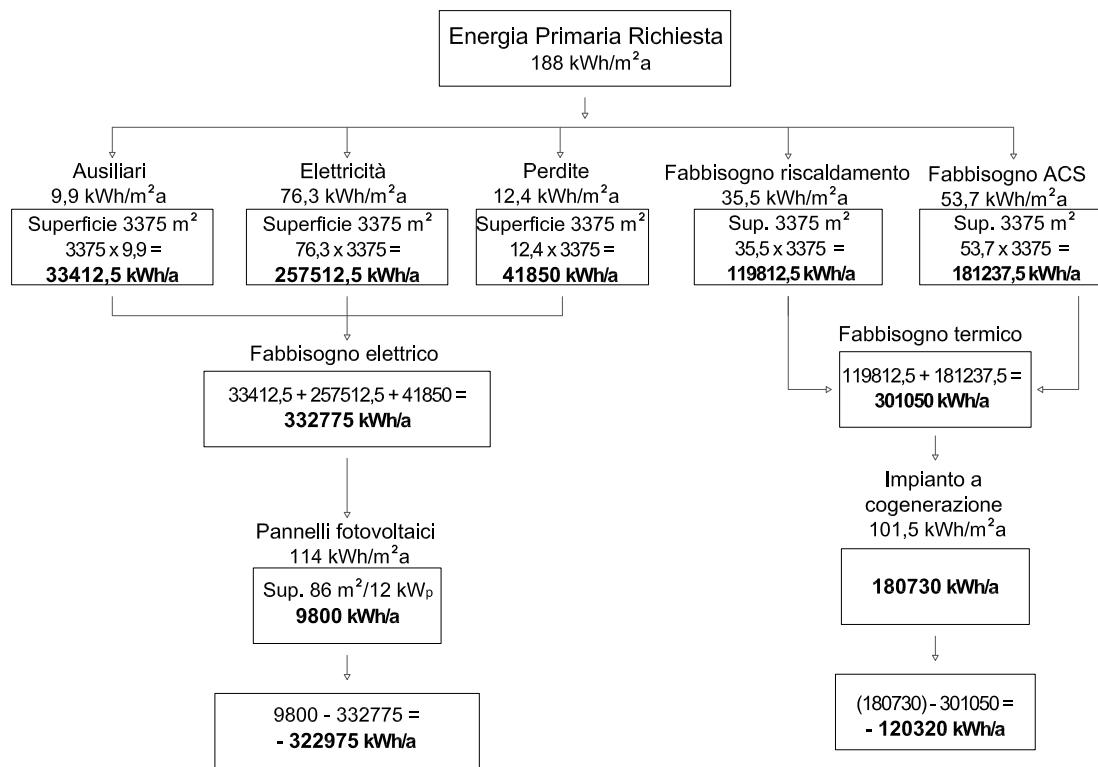


Figura 4.239: Schema tecnico rappresentante la fornitura degli impianti per coprire il fabbisogno termico ed energetico annuale dell'edificio;

tubature e condotti molti lunghi cheraggiungono addirittura i 200 m di lunghezza. Le perdite di distribuzione e di stoccaggio risultano molto elevate.

Nonostante il *surplus* di energia termica prodotta dalla Blaue Heimat immesso nella rete per alimentare gli edifici limitrofi l'edificio non riesce a bilanciare il fabbisogno di energia primaria. Il fabbisogno di energia calcolato per il corretto funzionamento del condominio è di 30 kWh/m²a, corrispondenti all'incirca a 78 kWh/m²a in energia primaria richiesta per l'elettricità.

Dopo la detrazione dei crediti raggiunti per l'immissione di energia termica l'edificio raggiunge un totale di richiesta di energia primaria di 98 kWh/m²a.

L'impianto fotovoltaico riesce a coprire con la produzione di 9800 kWh/a il 10% del *deficit*. L'impianto viene finanziato dal servizio municipale di Heidelberg, il quale utilizza i crediti acquisiti per la produzione di energia dal fotovoltaico per bilanciare le emissioni prodotte dal funzionamento della propria sede amministrativa.

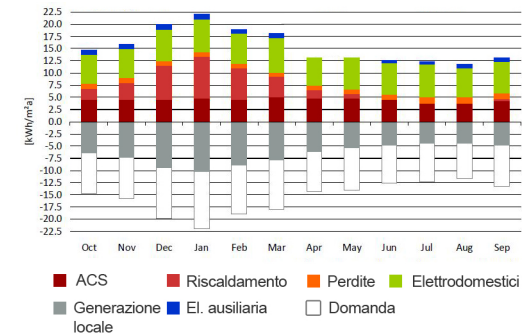


Figura 4.240: Bilancio mensile di energia primaria effettuato considerando il bilancio dell'energia finale tra il 2009 e il 2010; Fonte: www.iea-shc.org;

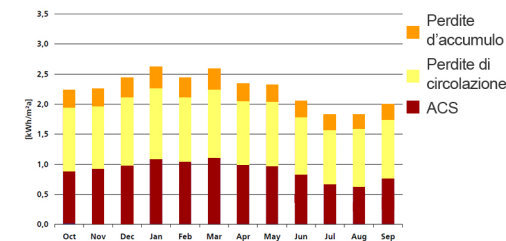


Figura 4.241: Energia richiesta per la produzione di acqua calda sanitaria misurata tra il 2009 e il 2010; Fonte: www.iea-shc.org;

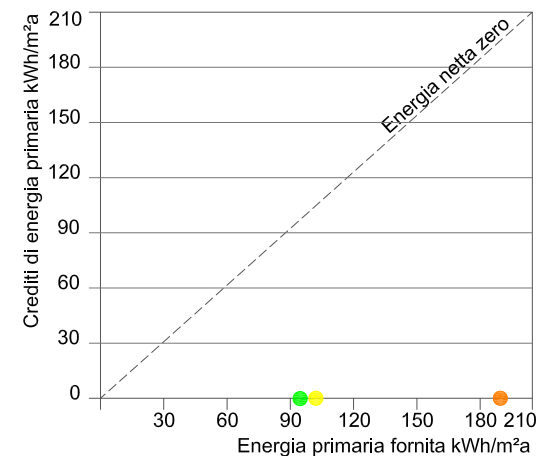


Figura 4.242: Vista esterna dell'edificio ristrutturato Blaue Heimat; Fonte: www.gerstner-architekten.de;

Monitoraggio

Come visto dalla situazione sopra descritta la Blaue Heimat non è in grado di raggiungere un bilancio annuale positivo per la produzione e consumo di energia primaria. Ma resta un esempio importante per dimostrare come edifici arretrati dal punto di vista energetico possano essere risanati per raggiungere livelli di alta efficienza. In futuro l'ottimizzazione di sistemi d'approvvigionamento per l'acqua calda sanitaria e il riscaldamento può portare a una minore dispersione termica e una maggiore produzione. Anche l'introduzione di tariffe variabili nel tempo per l'immissione di energia prodotta in *surplus* nella rete può portare ad un risultato positivo.

E' comunque importante sottolineare come l'intervento abbia portato ad un guadagno in termini di spesa: prima del risanamento si richiedeva agli occupanti 1.00 €/m² per riscaldare, mentre ora la spesa è di 0.15 €/m² per riscaldare un metro quadro e produrre acqua calda.



L'edificio risulta non raggiungere i livelli di NZEB:

- Energia primaria consumata annualmente, inclusa l'energia utilizzata dagli occupanti (188 kWh/m²a)
- Consumo di energia primaria specifica dell'edificio (112 kWh/m²a)
- Consumo mensile e produzione (90 kWh/m²a)

Figura 4.243: Valutazione energetica in kWh/m²a; Fonte: K. Voss, 2011;

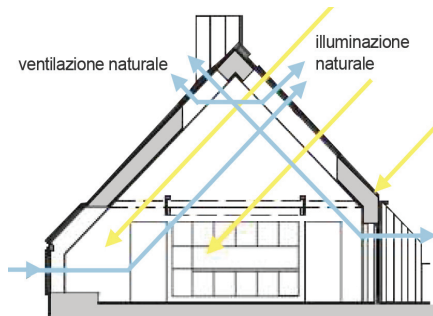


Figura 4.245: Schema in sezione per evidenziare l'illuminazione e la ventilazione naturale degli spazi; Fonte: www.velux.com;

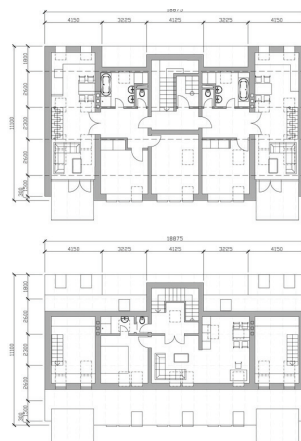


Figura 4.246: Pianta che evidenzia la possibilità di combinazione tra i moduli per creare ambienti flessibili; Fonte: M. Guzowsky, 2010;

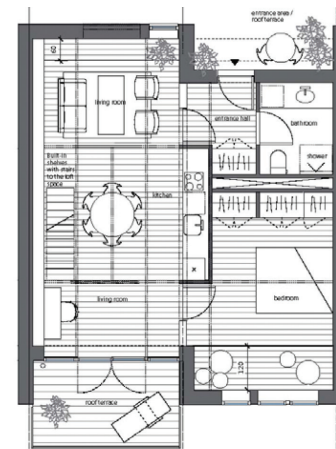


Figura 4.247: Pianta che evidenzia la connessione laterale tra le unità soggiorno e camera da letto; Fonte: M. Guzowsky, 2010;

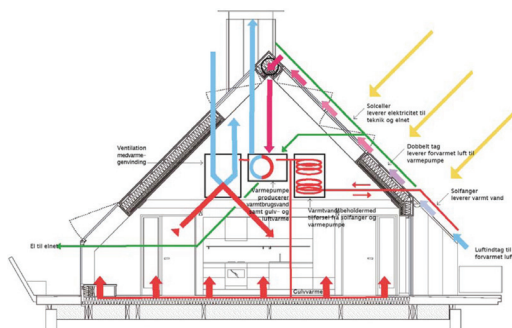


Figura 4.248: Sezione del sistema impiantistico; Fonte: www.soltag.net;

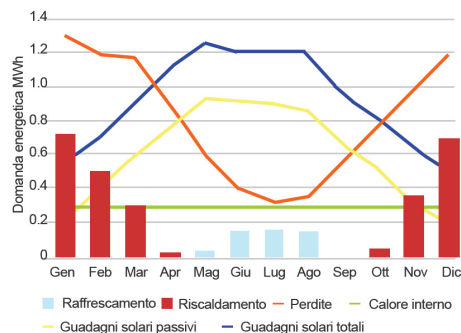


Figura 4.249: Domanda energetica per SOLTAG. Lo schema dimostra come le finestre contribuiscano a ridurre la domanda di riscaldamento; Fonte: www.passivhusnorden.com;

sori in una possibile aggregazione di moduli, mentre le facciate, orientate a nord e a sud, e la copertura sono vetrate, caratterizzate da finestre o lucernari.

Principi d'architettura bioclimatica

Il prototipo della casa SOLTAG è stato progettato per i climi temperati nordici che non necessitano di climatizzazione meccanica solo di ventilazione naturale e dove l'energia solare viene sfruttata per accumuli passivi e illuminazione naturale.

L'illuminazione degli ambienti gioca un ruolo molto importante nel progetto analizzato; le superfici vetrate, sia verticali sia orizzontali, coprono il 28% rispetto alla superficie calpestabile. "La posizione delle finestre in copertura serve a fare entrare quanta più luce naturale possibile. La superficie inclinata ammette il doppio di luce rispetto alla facciata verticale – le coperture inclinate sono infatti ideali come fonti di luce." (M.Guzowski, 2010)

Differenti soluzioni di ombreggiamento forni-

scono diversi livelli di protezione dai guadagni solari: i lucernari sono provvisti di avvolgibili automatici che hanno il ruolo di controllare l'accumulo termico nel periodo estivo, mentre una tettoia a scomparsa protegge il fronte esposto a sud.

E' stata effettuata una valutazione dei fattori di luminosità negli ambienti per la quale sono stati calcolati i valori medi: 12,7% nel soggiorno, 8,7% nella camera da letto e 9,7% nella zona servizi.

Nella casa prototipo è pensata anche la ventilazione naturale; attraverso la configurazione strategica delle aperture, collocate sui fronti opposti, viene favorita la ventilazione trasversale degli ambienti, sfruttando le caratteristiche del clima e del sito.

Soluzioni tecnico-costruttive

Per diminuire il fabbisogno termico dell'edificio l'involucro edilizio è composto da una struttura a tenuta d'aria dove i muri esterni sono protetti da uno strato isolante di 35 cm ed il tetto com-

prende un rivestimento isolante di 40 cm.

Impianti

E' stato installato anche un sistema di ventilazione meccanica con recuperatore di calore ad alta efficienza, dell'90%. L'unità compatta interna di ventilazione con recuperatore e il ventilatore meccanico sostituiscono l'aria calda esausta, con aria fresca presa dall'esterno e riscaldata.

Il microclima interno dell'abitazione è monitorato da un sistema di controllo solare automatizzato, l'io-homecontrol®. Il protocollo a comunicazione wireless controlla le finestre, le luci e le altre componenti per mantenere adeguati livelli di confort, sicurezza e risparmio energetico nell'abitazione.

Sistema di produzione dell'energia

Il sistema integrato prevede l'installazione di un serbatoio di accumulo per l'acqua alimentato da una pompa di calore e i collettori solari, e un doppio tetto con celle fotovoltaiche. Il tetto è una parte importante del progetto in quanto accoglie gli impianti per l'illuminazione,

ventilazione, riscaldamento e acqua calda. La superficie integra in zinco permette l'integrazione di celle fotovoltaiche, con l'impianto termico e i lucernari Velux. L'intercapedine pre-riscalda l'aria necessaria alla pompa di calore per fornire riscaldamento e acqua calda. Il flusso d'aria che filtra al di sotto dei moduli fotovoltaici li raffredda, aumentando l'efficienza del funzionamento. I moduli fotovoltaici in silicio amorfo coprono una superficie di 17,5 m².

Bilancio energetico

L'edificio non è stato monitorato per i criteri necessari ad una corretta valutazione energetica quindi non è stato possibile effettuare un bilancio appropriato per l'edificio analizzato in quanto il progetto è servito come dimostrazione pratica per un'abitazione prefabbricata a zero energia e *carbon neutral*. Le celle solari fotovoltaiche producono riscaldamento e acqua calda sanitaria con un consumo annuo netto a zero energia 0 kWh/m². Senza celle fotovoltaiche il riscaldamento e l'acqua calda richiedono 60 kWh/m².

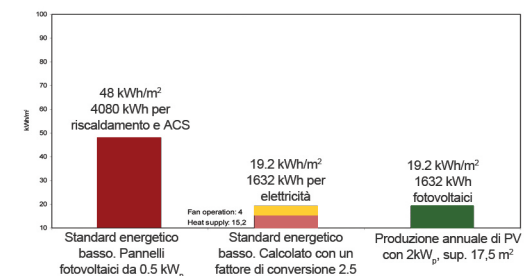


Figura 4.250: Bilancio energetico per il progetto SOLTAG;
Fonte: www.passivhusnorden.com;

5

5 Riflessioni conclusive

Dopo aver approfondito la mia conoscenza sul tema degli ZEB, *Zero Energy Buildings*, e sull'evoluzione storica che ha portato allo sviluppo di Direttive internazionali e normative nazionali, per perseguire livelli di efficienza energetica sempre maggiori, e dopo aver studiato e catalogato esempi di ZEB, che sono sorti o stanno per sorgere in Europa, propongo un'analisi sintetica degli elementi e delle caratteristiche che mi sembra debbano essere tenuti in considerazione nel realizzare un edificio ad energia quasi zero.

In primo luogo, vorrei insistere sulla necessità di sviluppo di un nuovo approccio progettuale. Dall'analisi dei casi studio ho potuto valutare che gli edifici ad energia zero utilizzano diverse strategie per ottenere una riduzione dei consumi: i sistemi "passivi" e "attivi". I sistemi passivi sfruttano le risorse fornite dall'ambiente nel quale si inseriscono (irradiazione solare, venti prevalenti, topografia) attraverso una corretta progettazione della forma, dell'orientamento, dell'involucro (ben isolato e dotato di massa termica) e dal posizionamento e dimensionamento delle aperture (al fine di massimizzare gli apporti solari invernali e diminuire il surriscaldamento estivo). I sistemi attivi si inseriscono dopo aver ridotto in maniera consistente l'energia necessaria per la gestione dell'edificio, quando è possibile fare ricorso alle fonti rinnovabili per la produzione di energia.

La progettazione degli edifici ad energia zero risulta essere focalizzata solo ed esclusivamente sull'obiettivo di raggiungere un'ottimizzazione energetica, senza considerare molti altri aspetti

che entrano in gioco, e devono essere presi in considerazione, in un progetto; tra questi cito: gli aspetti culturali, spaziali e legati alla qualità dell'abitare in generale. Le considerazioni effettuate su un progetto, non possono essere assunte come modello per la realizzazione di un altro progetto, in quanto le variabili in gioco sono diverse. Alcuni tra gli esempi studiati (cfr. caso studio 4, 18, 19, 25) si pongono come prototipi ripetibili e adattabili a diversi contesti, l'unica clausola posta riguarda l'ambiente climatico che deve essere compatibile; ma è importante prendere atto che il clima non è l'unica variabile che entra in gioco nella progettazione; devono essere considerati anche altri aspetti prima di assumere un modello come esempio. Inoltre, rispetto all'obiettivo di raggiungimento della **sostenibilità ambientale**, occorrerebbe compiere una verifica riguardo alle strategie utilizzate per il raggiungimento del contenimento dei consumi energetici. Nei casi studio analizzati si verifica il risparmio energetico e il contenimento di emissioni di tali strategie solo durante la fase d'uso dell'edificio, senza verificare se gli obiettivi proposti sono mantenuti anche considerando cosa accade nell'intero ciclo di vita.

La progettazione di edifici ad energia zero dovrebbe quindi essere ampliata, non fermandosi al raggiungimento dell'obiettivo d'efficienza energetica ma diventando una progettazione orientata alla sostenibilità ambientale, dove la scelta dei materiali, tecniche costruttive e impianti dovrebbe garantire la riduzione degli impatti ambientali lungo l'intero ciclo di vita, in un

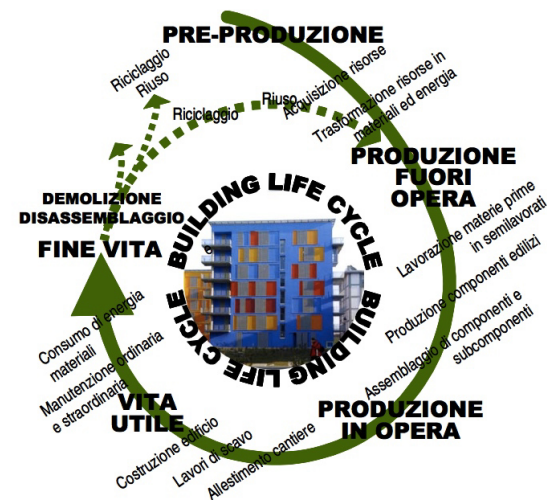


Figura 5.1: Ciclo di vita del sistema edificio; Fonte: C. Allione, C. Lanzavecchia, 2008;

bilancio globale. Vorrei quindi insistere sulla necessità di sviluppo di un approccio progettuale in grado di inglobare e fare interagire tra loro diverse discipline coinvolte.

La **progettazione integrata** che nasce dalla necessità di assicurare congruenza tra tecnologia, benessere, salute, salvaguardia dell'ambiente, uso razionale delle risorse ed economia, e richiede una visione organica del processo edilizio e un metodo di lavoro in grado di organizzare le numerose variabili coinvolte. La progettazione di edifici energeticamente efficienti deve tenere conto di plurimi e differenti fattori che non possono prescindere gli uni dagli altri e devono essere studiati e sviluppati in maniera congiunta. Il processo progettuale non deve essere percepito come una successione di scelte operate da diversi attori che intervengono nel progetto elaborando indipendentemente soluzioni relative al proprio sapere disciplinare, ma deve avvenire in modo integrato "(...) sia perché i criteri ambientali entrano nel progetto a tutte le scale decisionali e in tutte le fasi di elaborazione, sia perché la riduzione degli impatti ambientali spesso è il risultato di sinergie tra diversi aspetti del progetto" (A. Campioli, M. Lavagna, 2009).

Il percorso verso il raggiungimento di edifici ad energia zero richiede, in questo senso, un ripensamento non solo del rapporto tra i diversi attori coinvolti, ma anche nel modo stesso di progettare e costruire. Le analisi preventive devono essere volte tanto al corretto funzionamento energetico dell'edificio quanto all'elicitazione delle necessità dell'utenza e all'impatto che queste possono avere sui consumi energetici.

5.1. Ruolo dell'utenza sui consumi

Il rendimento energetico negli edifici è direttamente correlato all'utilizzo dello spazio e con al comportamento degli occupanti. L'utente ha un'influenza causata dalla propria presenza e dalla propria attività in un edificio e delle proprie azioni di controllo per migliorare il comfort termico e visivo. Il comportamento dell'occupante può quindi influire significativamente sul risparmio energetico in termini di ottimizzazione dei consumi e quindi di uno sfruttamento di una minore quantità di energia durante la fase d'uso dell'edificio.

In molti casi studio analizzati (cfr. caso studio 20, 11, 17, 4) ho notato come vi sia spesso una notevole discrepanza tra il consumo d'energia previsto e quello reale, monitorato; le ragioni di questa discrepanza sono generalmente poco conosciute ma spesso hanno a che fare più con il ruolo del comportamento degli utenti che non con la progettazione degli edifici.

L'attività svolta nell'ambito dei casi studio si è sviluppata dapprima in una ricerca per individuare l'interazione tra l'occupante e i sistemi di controllo degli edifici, al fine di individuare un approccio metodologico di indagine sull'intero processo che porta al consumo energetico e sui meccanismi che influenzano il comportamento degli utenti relativamente al controllo dell'ambiente interno.

Questo ha permesso di modellare, attraverso l'utilizzo di programmi di simulazione energetica, i comportamenti in modo deterministico (completamente prevedibile e ripetibile), fondandosi su equazioni termodinamiche che definiscono le azioni umane (ad esempio il funzionamento delle luci o l'uso dei sistemi oscuranti o delle finestre) tipicamente in base ad orari fis-

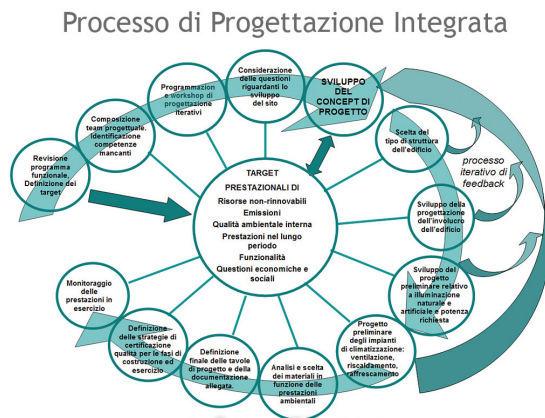


Figura 5.2: Rappresentazione schematica della progettazione integrata; Fonte: I. Meroni, P. Zampiero, R. Lollini, 2007;

si predefiniti e regole predefinite. (Enea, 2011). I casi di studio analizzati hanno evidenziato come il comportamento degli utenti sia il risultato di della combinazione di diversi fattori influenzati da molteplici cause, quali ad esempio la ventilazione naturale, quindi l'apertura e chiusura delle finestre, il riscaldamento e il raffrescamento, e l'illuminazione con riferimento anche all'utilizzo delle schermature mobili. Il comportamento dell'utente, in relazione ai temi sopra citati, è spesso il risultato di cause psicologiche, fisiologiche o sociali, e quindi difficili da riprodurre con l'ausilio di algoritmi statici che predicono la probabilità di un'azione o di un evento.

Indicativa è la casa unifamiliare Home for Life (cfr. caso studio 17) a Lystrup, dove i valori monitorati durante il primo anno d'uso dell'abitazione hanno mostrato un aumento del fabbisogno termico, rispetto ai dati monitorati, causati sia da un funzionamento irregolare del riscaldamento e della ventilazione sia da un aumento della temperatura interna di 2-3°C al fine di ottenere un ambiente interno confortevole. La famiglia Simonsens, che si è sottoposta ai test nella casa, nel mese di dicembre ha avuto una figlia, il che ha comportato sia ad un aumento delle esigenze termiche del nucleo familiare, di giorno e di notte (aumentando la temperatura dell'ambiente da 20 a 22°C), sia ad una maggiore permanenza degli occupanti in casa anche durante il giorno.

Solo un monitoraggio a posteriori ha quindi rivelato le reali "abitudini energetiche" dell'utenza. Un altro caso indicativo è l'edificio universitario Ener Pos a Saint Pierre (cfr. caso studio 4) dove dopo un anno di monitoraggio è stato possibile comparare dati dedotti dal modello termodinamico con quelli reali. Ad esempio gli utenti hanno dimostrato di preferire la ventilazione naturale all'impiego dell'impianto ad aria

condizionata: infatti nel corso di tre stagioni estive tale impianto è stato attivato rare volte (una sola settimana), portando ad un effettivo abbassamento dei consumi elettrici previsti per l'impianto di ventilazione da 2.8 kWh/m²a a 0.2 kWh/m²a.

Il problema principale rimane quello di riuscire a produrre un modello sufficientemente valido per poter simulare, durante la fase di progettazione, un corretto comportamento termico e di consumo, per permettere di installare e dimensionare adeguati sistemi tecnici che rispecchino anche lo scenario comportamentale degli occupanti.

5.1.1 Incentivi per un comportamento positivo dell'utenza

Gli edifici ad energia zero cercano di offrire incentivi per un comportamento positivo da parte dell'utenza: si cerca una comunicazione diretta con l'utente, esponendo il consumo effettivo di energia (cfr. caso studio 18, 17, 1, 8) e promuovendo iniziative volte a premiare il consumatore responsabile (cfr. caso studio 8).

I progettisti si stanno orientando a fornire le interfacce e i software delegati al controllo del fabbisogno energetico dell'abitazione. Nella propria abitazione ogni inquilino dispone di un piccolo *touch screen* sul quale può visualizzare, con scadenza mensile o annuale, l'andamento dei propri consumi di corrente, acqua ed energia per il riscaldamento confrontandolo con il diagramma dei consumi previsti. Nello specifico nell'edificio Kraftwerk B viene proposto agli occupanti il meccanismo del bonus/malus dove un affittuario viene premiato se utilizza meno energia di quella prevista dalla programmazione.

Nel caso dell'edificio Blaue Heimat (cfr. caso studio 24) gli inquilini vengono dotati anche di un manuale con la lista di tutti gli elettrodomestici energeticamente efficienti in modo da sensibilizzare e incoraggiare l'acquisto di tecnologie più consapevoli.

5.2 Risorse rinnovabili: tendenze e analisi benefici

Nella ricerca e nell'analisi dei casi studio riportati nel capitolo quarto, ho riscontrato che comune a tutti è, ovviamente, l'attenzione all'uso di risorse rinnovabili, idea cardine della progettazione di edifici ad energia zero; ogni edificio analizzato impiega energie fornite dall'ambiente, all'interno del sito di progetto o nelle immediate prossimità. Il solare termico viene ampiamente sfruttato per recuperare fino al 60% del fabbisogno energetico annuale medio per la produzione di ACS necessaria all'edificio (solo 4 tra i casi studio analizzati non prevedono l'installazione di collettori solari per sopperire al fabbisogno termico: la sede generale Marchè del 2007 (cfr. caso studio 3), l'edificio Ener Pos del 2008 (cfr. caso studio 4), la scuola elementare Hohen Neuendorf del 2011 (cfr. caso studio 10) e la Struttura ricreativa marina a Steinhude del 2002 (cfr. caso studio 14)). La superficie irraggiata occupata in media dall'impianto solare è di 0,04 m² per m² di superficie calpestabile negli edifici residenziali e di 0,06 m² per m² di superficie calpestabile nelle altre destinazioni d'uso. Nel caso specifico studiato dell'edificio a Bennau, Kraftwerk B, del 2009 (cfr. caso studio 8), i collettori vengono integrati alla facciata dell'edificio.

I moduli termici sono affiancati da pompe di

calore geotermiche, come nel caso studio del quartiere generale del WWF nel 2006 (cfr. caso studio 22), Leaf House del 2008 (cfr. caso studio 18) e l'edificio di Naralia_Bau del 2009 (cfr. caso studio 23), oppure in molti casi da impianti a cogenerazione o caldaie alimentati a biomassa (l'edificio Kraftwerk B, la comunità solare a Friburgo, l'edificio per uffici e appartamenti a Villach).

Per la produzione in risposta alla domanda al fabbisogno elettrico, il sistema fotovoltaico sopperisce ai carichi dell'utenza, cui deve essere aggiunto anche il carico elettrico della pompa di calore (ove prevista).

A fronte del forte coinvolgimento e l'affidabilità riscontrata nelle fonti rinnovabili per la progettazione di edifici ad energia zero mi è sembrato opportuno proporre un'analisi più dettagliata in merito alle prestazioni, a livello economico ed ambientale, caratteristiche dell'interazione fra tali fonti. In letteratura è difficile trovare informazioni adeguate per un'analisi dell'intero ciclo di vita degli impianti, a causa delle consistenti oscillazioni nella produzione di nuove tecnologie e nel rendimento degli impianti stessi. Mi sono quindi focalizzata sull'analisi dei processi di produzione di energia per mezzo di impianti fotovoltaici, considerando l'energia grigia richiesta dal processo di produzione oltre che i costi dell'impianto, e l'impatto ambientale nell'intero ciclo di vita. Successivamente ho fatto alcune considerazioni sullo sfruttamento di risorse a biomassa in termini di bilancio di emissioni di anidride carbonica e altri gas serra.

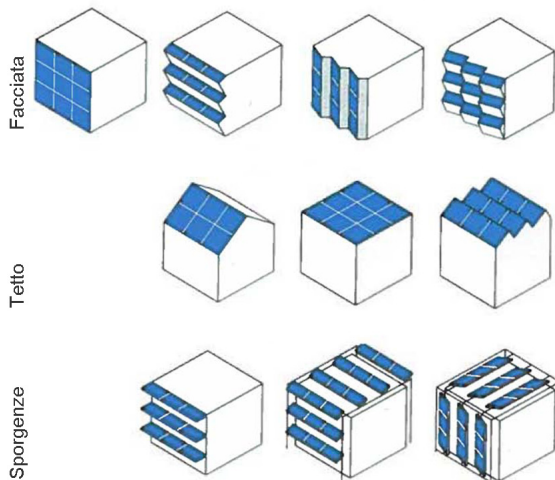


Figura 5.3: Possibile integrazione dei moduli fotovoltaici e dei collettori solari all'edificio; Fonte: Thomas Stark, 2009;

5.2.1 Fotovoltaico

L'integrazione dei sistemi fotovoltaici nella pianificazione di edifici ad energia zero rappresenta un interessante incremento qualitativo nelle realizzazioni avanzate sia a livello tecnologico sia a livello architettonico. Gli elementi più importanti per l'inserimento di questi sistemi sono il collegamento alla rete elettrica e l'integrazione architettonica dei moduli fotovoltaici alle strutture esterne degli edifici quali terrazze, tetti e facciate. L'applicazione del fotovoltaico in edilizia rappresenta notevoli vantaggi dovuti a semplicità d'utilizzo, flessibilità e modularità del sistema; attualmente si identifica tuttavia nell'elevato investimento uno dei maggiori punti di debolezza di questo tipo di soluzione impiantistica, sebbene questo possa in alcune situazioni essere reso meno incisivo dalle tariffe incentivanti previste per l'impiego di energia da fonti rinnovabili.

Nell'analisi dei casi studio proposti ho avuto modo di constatare un consistente sfruttamento dell'energia fotovoltaica, pertanto mi è sembrato opportuno valutare se e in che modo un investimento di tale entità possa essere di beneficio per i committenti, sia in termini economici sia in termini di effettiva riduzione delle emissioni. Vengono qui analizzati in tal senso due esempi: la comunità solare a Friburgo, che si affida totalmente al fotovoltaico per la produzione di energia elettrica per una superficie di 3205 m², e l'edificio residenziale ad Angeli di Rosora che applica l'impianto in una realtà più piccola.

5.2.1.1 Analisi dei costi e benefici dell'impianto fotovoltaico considerando gli incentivi

Si noti che ad oggi il costo sul mercato dei moduli fotovoltaici varia sensibilmente in funzione delle ditte fornitrici, del tipo di pannello e delle quantità trattate. Per lo studio ho preso in considerazione i costi delle componenti dell'impianto (compresi di IVA) forniti dalla società L.E.A. Innovazione, da tre anni nel settore delle energie rinnovabili:

- Moduli 0.70 €/W_p
- Componenti elettronici 0.21 €/W_p
- Progettazione, cantiere 1.80 €/W_p

Nel caso della **comunità solare di Friburgo** (cfr. caso studio 16) sono state prese in considerazione i valori di tassazione applicati in Germania riportati in tabella (FITA, 2011):

Componenti	Prezzo lordo €/W _p
Moduli	0.70
Componenti elettrici	0.21
Progettazione/cantiere	1.80
TOTALE	2.71

Tabella 5.1: Prezzo al lordo in €/W_p delle componenti dell'impianto fotovoltaico;

Si può facilmente stimare il **costo d'acquisto dell'impianto**, considerando la sua potenza di picco (400 kW_p) e una superficie di 3205 m²:

$$400 \text{ kW}_p \times 2.71 \text{ €/W}_p = \underline{1084000 \text{ €}},$$

a cui va sommato il **costo di manutenzione ordinaria**, il quale si stima essere, per l'impianto in questione, di circa 40 €/kW_{p(anno)} e include la pulizia dei moduli fotovoltaici. Il costo della manutenzione straordinaria non si può calco-

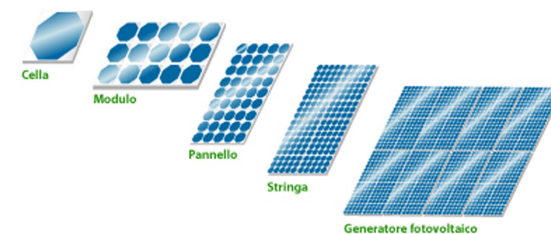


Figura 5.4: Composizione di un impianto fotovoltaico; Fonte: www.leainnovazione.it;

lare; la società L.E.A. Innovazione consiglia la sostituzione degli inverter, causa usura, dopo 10/12 anni. Il costo totale di manutenzione risulta di:

$$400 \text{ kW}_p \times 40 \text{ €/kW}_p = \underline{16000 \text{ €}}$$

Bisogna sommare anche il costo dell'**assicurazione** che copre l'impianto da danni, incendi e quant'altro, ed ha un costo di circa 10 €/kW_{p(anno)}, per un totale di:

$$400 \text{ kW}_p \times 10 \text{ €/kW}_p = \underline{4000 \text{ €}}$$

Il **costo complessivo** dell'impianto risulterà quindi essere:

$$1084000 \text{ €} + 16000 \text{ €} + 4000 \text{ €} = \underline{1104000 \text{ €}}$$

Tale costo, tuttavia, è da considerarsi al lordo dei benefici economici derivati dalle **tariffe incentivanti** applicate in Germania secondo la direttiva sulle risorse energetiche rinnovabili, EEG, che supporta la produzione di elettricità per sopperire ai fabbisogni personali e l'immissione in rete dell'elettricità generata in eccesso. Ai proprietari vengono garantiti 0.23 €/kWh ogni kWh prodotto e utilizzato, e di 0.33 €/kWh ogni 30 kWh immessi in rete, per un periodo di 20 anni (Detail, 2010).

Dal diagramma elaborato per l'analisi del caso studio in esame ho verificato che l'energia utilizzata dal sistema edificio ammonta a 370830 kWh/a, mentre l'elettricità immessa in rete dall'impianto, ammonta a 49170 kWh/a (senza considerare l'elettricità prodotta dal sistema CHP) pertanto la **remunerazione media per la tariffe incentivanti** risulterà essere:

energia prodotta e utilizzata + energia immessa in rete =

$$[370830 \text{ kWh/a} \times 0.23 \text{ €/kWh}] + [(49170 \text{ kWh/a} / 30) \times 0.33 \text{ €/kWh}] = 85290.9 \text{ €/a} + 540.87 \text{ €/a} = \underline{85831.77 \text{ €/a}}$$

Se a questa cifra sommiamo il **costo dell'elettricità non acquistata** per via dell'impiego di un impianto non convenzionale, assumendo un costo medio (IVA inclusa) di 0.26 €/kWh (www.energy.eu, 2011):

$$370830 \text{ kWh/a} \times 0.26 \text{ €/kWh} = \underline{96416 \text{ €/a}},$$

otteniamo un risparmio annuale complessivo di :

$$85831.77 \text{ €/a} + 96416 \text{ €/a} = \underline{182247.77 \text{ €/a}}$$

Questo ultimo dato ci permette di calcolare in maniera semplificata un **tempo di rientro dell'investimento** come:

$$\frac{1104000 \text{ €}_{\text{costo complessivo}}}{182247.77 \text{ €/a}_{\text{risparmio complessivo}}} \approx \underline{\underline{6 \text{ anni}}}$$

Per quanto riguarda invece **Leaf House ad Angeli di Rosora** (cfr. caso studio 18), i valori di IVA considerati sono quelli previsti in Italia:

Componenti	Prezzo lordo €/W _p
Moduli	0.70
Componenti elettrici	0.21
Progettazione/cantiere	1.80
TOTALE	2.71

Tabella 5.2: Prezzo al lordo in €/W_p delle componenti dell'impianto fotovoltaico;

Come nel caso precedente, è possibile, considerata la potenza di picco di 20 kW_p e la superficie di 150 m², calcolare il costo complessivo dell'impianto come:

$$\begin{aligned} & [20 \text{ kW}_p \times 2.71 \text{ €/W}_p]_{\text{costo acquisto impianto}} + \\ & [20 \text{ kW}_p \times 40 \text{ €/kW}_p]_{\text{costo manutenzione}} = \\ & [20 \text{ kW}_p \times 10 \text{ €/kW}_p]_{\text{costo assicurazione}} = \\ & 54200 \text{ €} + 800 \text{ €} + 200 \text{ €} = \underline{55200 \text{ €}} . \end{aligned}$$

E' altresì possibile calcolare gli **incentivi previsti dal Conto Energia** del 2008 (anno di progettazione dell'edificio) per impianti con potenza nominale compresa tra 3 kW_p e 20 kW_p: l'energia prodotta viene remunerata con una tariffa pari a 0.46 €/kWh per 20 anni. Inoltre questi impianti possono scambiare sul posto l'energia, ovvero tutta l'energia prodotta riduce i consumi dell'utenza (F. Cappello, 2010).

Dal diagramma elaborato per l'analisi del caso studio in esame ho verificato che l'energia prodotta dall'impianto ammonta a 25650 kWh/a, pertanto il rimborso ammonta a:

$$25650 \text{ kWh/a} \times 0.46 \text{ €/kWh} = \underline{11799 \text{ €/a}} .$$

Calcoliamo anche in questo caso il risparmio dato dall'**elettricità non acquistata**, assumendo un costo medio (IVA inclusa) di 0.27 €/kWh (www.energy.eu, 2011):

$$13575 \text{ kWh/a} \times 0.27 \text{ €/kWh} = \underline{3665.25 \text{ €/a}},$$

ottenendo quindi un risparmio complessivo pari a:

$$11799 \text{ €/a} + 3665.25 \text{ €/a} = \underline{15464.25 \text{ €/a}} .$$

Il **tempo di rientro dell'investimento** risulta quindi essere:

$$\frac{55200 \text{ €}_{\text{costo complessivo impianto}}}{15464.25 \text{ €/a}_{\text{risparmio complessivo}}} = \sim 4 \text{ anni}$$

L'investimento per il sistema fotovoltaico risulta pertanto recuperabile in un periodo di tempo di 6 anni nel caso dell'intervento a Friburgo e 4 anni nel caso studio italiano, grazie alle possibilità offerte dall'EEG in un caso e dal Conto Energia nell'altro. Si evince che il sistema totale di produzione energetica, compreso delle attività di manutenzione, viene ammortizzato in tempi sensibilmente inferiori rispetto alla vita utile dell'impianto stesso.

5.2.1.2 Analisi dei costi e benefici dell'impianto fotovoltaico non considerando gli incentivi

Con l'intenzione di proporre una valutazione il più completa possibile mi sembra opportuno valutare quanto incidono gli incentivi di produzione erogati sulla positività del risultato ottenuto, e quanto invece è il risparmio effettivo sulla bolletta elettrica.

Mi è sembrato opportuno calcolare i tempi di ritorno dell'investimento, in assenza degli incentivi statali. Riprendendo quindi i dati esposti nel paragrafo precedente ottengo:

nel caso della **comunità solare di Friburgo**, il **tempo di rientro dell'investimento** risulta quindi essere:

$$\frac{1104000 \text{ €}_{\text{costo complessivo}}}{96416 \text{ €/a}_{\text{elettricità non acquistata}}} = \sim 12 \text{ anni};$$

per quanto riguarda invece **Leaf House ad Angeli di Rosora** si ottiene:

$$\frac{55200 \text{ €}_{\text{costo complessivo impianto}}}{3665.25 \text{ €/a}_{\text{elettricità non acquistata}}} = \sim 15 \text{ anni.}$$

Il calcolo mostra l'elevata incidenza degli incentivi per ammortizzare i costi affrontati per l'installazione di un impianto fotovoltaico. I tempi di ritorno sono duplicati nel primo caso e addirittura triplicati nel secondo. Il guadagno dato dall'utilizzo dell'impianto non dovrebbe dipendere così tanto da un meccanismo molto flessibile quale quello degli incentivi. Sarebbe opportuno raggiungere una valutazione positiva dell'investimento anche in uno scenario privo di sovvenzioni.



Figura 5.5: Integrazione tra le fasi caratterizzanti la scala del prodotto edilizio e la scala dell'edificio; Fonte: M. Lavagna, 2008;

5.2.1.3 Analisi dell'energia grigia dell'impianto fotovoltaico

A vantaggio della completezza dei casi studio analizzati si è voluto però effettuare anche bilancio fra l'energia prodotta dall'impianto nel suo ciclo di vita e l'energia grigia impiegata nel ciclo completo di fabbricazione di un modulo fotovoltaico (estrazione delle materie prime, trasporto e lavorazione). L'energia grigia rappresenta un indicatore importante per la valutazione di scelte consapevoli, in quanto la mancanza di un'ottimizzazione dei processi produttivi causa inefficienza sia in termini di consumo energetico che di utilizzazione delle materie prime. In particolare l'analisi è stata effettuata in riferimento ai due casi studio precedentemente analizzati, così da poter valutare un panorama completo delle criticità affrontate, e considerando l'energia grigia per la produzione di cellule in silicio policristallino, monocristallino (che rappresentano le tipologie più diffuse) e in film sottile. I valori analizzati

sono stati dedotti dalla banca dati *Inventory of Carbon and Energy* versione 1.5:

4750 MJ/m² (1319 kWh/m²)
moduli fotovoltaici in silicio monocristallino;

4070 MJ/m² (1130 kWh/m²)
moduli fotovoltaici in silicio policristallino;

1350 MJ/m² (375 kWh/m²)
moduli fotovoltaici a film sottile;

Il caso particolare dell'insediamento solare a **Friburgo** presenta una superficie di 3205 m² di moduli fotovoltaici in silicio monocristallino. Da qui deriva che l'energia grigia impiegata ha un valore di:

$$1319 \text{ kWh/m}^2 \times 3205 \text{ m}^2 = \underline{3621650 \text{ kWh}},$$

che, rapportata all'energia prodotta annualmente dal pannello, fornisce un valore di **tempo di recupero energetico** di:

$$3621650 \text{ kWh} / 420000 \text{ kWh/a} = \underline{9 \text{ anni}}.$$

Il pannelli risultano impiegare 9 anni per produrre una quantità di energia solare uguale alla propria energia grigia.

Nel secondo caso studio analizzato (**Leaf House**), che utilizza pannelli fotovoltaici in silicio policristallino, i moduli occupano una superficie di 150 m² e necessiteranno quindi di una quantità di energia grigia pari a:

$$1130 \text{ kWh/m}^2 \times 150 \text{ m}^2 = \underline{169500 \text{ kWh}},$$

che porta ad un valore di **tempo di recupero energetico** pari a:

$$169500 \text{ kWh} / 25650 \text{ kWh/a} = \underline{7 \text{ anni}}$$

Da questi risultati, pur consapevole della parzialità e della specificità dei casi studio analizzati, si può evincere che il tempo di recupero di 9 anni, nel caso tedesco, e quello di 7 anni nel caso Leaf House risultano essere piuttosto alti se rapportati al ciclo di vita di 25 anni del pannello fotovoltaico. Si evidenzia quindi come in uno scenario impiantistico caratterizzato da crescenti prestazioni in fase d'uso, si debba aumentare anche l'attenzione nei confronti del profilo energetico dei materiali da costruzione e dei procedimenti di realizzazione adottati. In particolare bisogna porre attenzione alla scelta dei materiali e delle tecnologie costruttive in relazione alla durata di vita prevista per il fotovoltaico. I pannelli comportano cicli di sostituzione di 25 anni, dimezzato rispetto alla durata dell'edificio stimata a 50 anni. Anche questo fattore tende ad aumentare nel tempo l'energia inglobata.

5.2.1.4 Produzione cinese. Impatti di trasporto dallo stabilimento al cantiere

L'incidenza dei trasporti del materiale, dallo stabilimento al cantiere, è un'altra valutazione molto importante, non trascurabile, da effettuare per analizzare l'impatto ambientale relativo ai trasporti. Una scelta importante riguarda il mezzo di trasporto, attualmente viene privilegiato il trasporto su gomma (il quale permette con un unico mezzo di raggiungere diverse destinazioni), il quale però risulta essere più impattante rispetto al trasporto su nave o su treno.

Un'altra scelta importante riguarda la localizzazione dello stabilimento rispetto al cantiere, e

quindi la distanza da percorrere. Il Protocollo di Itaca indica in una distanza inferiore ai 100 km la distanza adeguata per il reperimento locale dei prodotti edilizi.

Il mercato fotovoltaico attuale è dominato dalla Cina, la quale si inserisce tra le maggiori esportatrici di impianti grazie all'economicità della manodopera e dei materiali utilizzati. Queste importazioni, oltre a porre un problema di concorrenza sleale sul mercato, non rispettano i criteri ambientali per una progettazione sostenibile: non promuovono la scelta di materiali locali al fine da ridurre gli impatti relativi ai trasporti.

In questo panorama mi è sembrato interessante effettuare un calcolo degli impatti di trasporto dallo stabilimento dell'impianto fotovoltaico (presupposto in Cina, a Shanghai) al cantiere (a Friburgo nel primo caso e ad Angeli di Rosora nel secondo).

Assumo l'ipotesi che i percorsi dallo stabilimento al cantiere si articolino nelle seguenti tratte:

- tratto da Shanghai a Genova (16300 km), con nave (comune ai due casi studio);
- tratto da Genova a Friburgo (543 km), con automezzi (comunità solare di Friburgo);
- tratto da Genova a Angeli di Rosora (522 km), con automezzi (Leaf House).

Per far emergere l'incidenza del peso del materiale nella valutazione si usa come indicatore non la semplice distanza, ma la distanza moltiplicata per il peso: la tkm (tonnellata per chilometro).

Il caso particolare dell'insediamento solare a **Friburgo** prevede il trasporto di 2000 pannelli, per ricoprire la superficie di 3205 m²; assumendo il peso di un pannello di 18 kg (L.E.A. Innovazione), si ottiene un **peso complessivo del carico di 36 t**, che corrisponde ad un indicatore



Figura 5.6: Trasporto navale a scala mondiale; Fonte: Politecnico di Milano, 2009;

tkm così articolato:

$$36 \text{ t} \times 16300 \text{ km} = \mathbf{586800 \text{ tkm}_{\text{con nave}}}$$

$$36 \text{ t} \times 543 \text{ km} = \mathbf{19548 \text{ tkm}_{\text{con automezzo}}}$$

Tramite l'elaborazione con SimaPro 7 dei dati contenuti nella banca dati dell'Ecoinvent v.1.3, il carico ambientale (espresso secondo il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile (PEI), di energia primaria rinnovabile (PEI_{rinn.}) ed emissioni di CO₂) determinato dai mezzi di trasporto ipotizzati è il seguente:

- nave a gasolio da 1000 t (valori ottenuti moltiplicando gli impatti relativi a 1 tkm per 586800 tkm_{con nave})

Voci d'impatto	Totale	Unità di misura
PEI	381420	MJ
PEI _{rinn.}	52812	MJ
CO ₂	29340	Kg CO ₂ eq.

Tabella 5.3: Carico ambientale determinato dal trasporto sulla nave a gasolio da 1000t, da Shanghai al porto di Genova;

- mezzo commerciale pesante diesel da 36 t (valori ottenuti moltiplicando gli impatti relativi a 1tkm per 19548 tkm_{con automezzo})

Voci d'impatto	Totale	Unità di misura
PEI	101454.12	MJ
PEI _{rinn.}	1759.32	MJ
CO ₂	6255.36	Kg CO ₂ eq.

Tabella 5.4: Carico ambientale determinato dal trasporto su gomma dal porto di Genova alla città di Friburgo;

Carico ambientale totale		
PEI	482874.12	MJ
PEI _{rinn.}	54571.32	MJ
CO ₂	35595.36	Kg CO ₂ eq.

Tabella 5.5: Carico ambientale totale determinato dal trasporto da Shanghai a Friburgo;

Da questi calcoli deriva quindi che l'energia primaria non rinnovabile impiegata per il trasporto ha un valore di 134132 kWh che, rapportata all'energia prodotta annualmente dal pannello, fornisce un valore di **tempo di recupero energetico** di:

$$134132 \text{ kWh} / 420000 \text{ kWh/a} = \\ \sim 0.4 \text{ anni} = \sim \mathbf{5 \text{ mesi}};$$

In termini di **emissioni di anidride carbonica** il carico ambientale ha un **tempo di recupero** dato dal rapporto tra le emissioni di CO₂ prodotte dal trasporto diviso le mancate emissioni di CO₂ in un anno (cfr. 5.2.1.5):

$$35595.36 \text{ kgCO}_2 / 74166 \text{ kgCO}_2/\text{a} = \\ \sim 0.5 \text{ anni} = \sim \mathbf{6 \text{ mesi}}$$

Il secondo caso studio analizzato, **Leaf House**, prevede il trasporto di 94 pannelli, per ricoprire la superficie di 105 m²; in questo caso si ottiene un **peso complessivo del carico** di **2 t**, che corrisponde ad un **indicatore tkm** così articolato:

$$2 \text{ t} \times 16300 \text{ km} = \mathbf{32600 \text{ tkm}_{\text{con nave}}}$$

$$2 \text{ t} \times 522 \text{ km} = \mathbf{1044 \text{ tkm}_{\text{con automezzo}}}$$

Tramite l'elaborazione con SimaPro 7 dei dati contenuti nella banca dati dell'Ecoinvent v.1.3, il carico ambientale determinato dai mezzi di

trasporto ipotizzati è il seguente:

- nave a gasolio da 1000 t (valori ottenuti moltiplicando gli impatti relativi a 1tkm per 32600 tkm_{con nave})

Voci d'impatto	Totale	Unità di misura
PEI	21190	MJ
PEI _{rin.}	326	MJ
CO ₂	1630	Kg CO ₂ eq.

Tabella 5.6: Carico ambientale totale determinato dal trasporto sulla nave a gasolio da 1000t, da Shanghai al porto di Genova;

- mezzo commerciale pesante diesel da 16 t (valori ottenuti moltiplicando gli impatti relativi a 1tkm per 1044tkm_{con automezzo})

Voci d'impatto	Totale	Unità di misura
PEI	5418.36	MJ
PEI _{rin.}	93.96	MJ
CO ₂	334.08	Kg CO ₂ eq.

Tabella 5.7: Carico ambientale determinato dal trasporto su gomma dal porto di Genova alla città di Angeli di Rosora;

Carico ambientale totale		
PEI	26608.36	MJ
PEI _{rin.}	419.96	MJ
CO ₂	1964.08	Kg CO ₂ eq.

Tabella 5.8: Carico ambientale totale determinato dal trasporto da Shanghai ad Angeli di Rosora;

In questo caso dai calcoli deriva quindi che l'energia primaria non rinnovabile impiegata per il trasporto ha un valore di 7392 kWh, che porta ad un valore **di tempo di recupero energetico** di:

$$7392 \text{ kWh} / 25650 \text{ kWh/a} = \\ \sim 0.3 \text{ anni} = \sim \mathbf{4 \text{ mesi}};$$

per un tempo di recupero delle emissioni di CO₂ (cfr. 5.2.1.5) pari a:

$$1964.08 \text{ kgCO}_2 / 2715 \text{ kgCO}_2/\text{a} = \\ \sim 0.7 \text{ anni} = \sim \mathbf{8 \text{ mesi}}.$$

Bisogna tenere presente che i calcoli considerano solo i dati relativi al trasporto e tralasciano invece l'aspetto del diverso processo produttivo cinese, il quale essendo certamente meno virtuoso rispetto a quello europeo (sebbene non siano disponibili dati certi in letteratura), va a gravare ulteriormente sul bilancio di energia e di CO₂ incorporate, fornendo probabilmente dei dati sensibilmente peggiorativi rispetto a quelli calcolati nel paragrafo precedente. Si sottolinea quindi, ancora una volta, l'esigenza di una valutazione completa che consideri e attribuisca il giusto peso a questi aspetti.

5.2.1.5 Analisi delle emissioni di anidride carbonica

Un'altra analisi che risulta interessante da effettuare è quella che mette in rapporto la quantità di anidride carbonica non prodotta per via dell'utilizzo del fotovoltaico e la quantità dello stesso gas invece emessa nel processo di realizzazione del pannello stesso. Effettuo l'analisi considerando:

- Un'emissione di 0.2 kgCO₂ per la produzione di 1 kWh di energia elettrica ottenuta da

- mix elettrico (Protocollo di Itaca, 2007);
- Un'emissione di 242 kgCO₂ per la produzione di un modulo fotovoltaico da 1 m² in silicio monocristallino e di 208 kgCO₂ per la produzione di un modulo fotovoltaico da 1 m² in silicio policristallino (dati dedotti dalla banca dati *Inventary of Carbon and Energy* versione 1.5).

Nel primo caso di studio (**Comunità solare di Friburgo**), in presenza di moduli fotovoltaici in silicio monocristallino, si stima un'emissione in fase di produzione dell'impianto di

$$242 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2 \times 3205 \text{ m}^2 = \underline{775610 \text{ kgCO}_2}.$$

Si stima una mancata emissione annuale pari a

$$370830 \text{ kWh/a} \times 0.2 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = \\ = \underline{74166 \text{ kgCO}_2/\text{a}},$$

quindi un risparmio netto complessivo, sempre in termini di chilogrammi di anidride carbonica, di

$$74166 \text{ kgCO}_2/\text{a} \times 25 \text{ anni} = 1854150 \text{ kgCO}_2$$

$$1854150 \text{ kgCO}_2 - 775610 \text{ kgCO}_2 = \\ = \underline{1078540 \text{ kgCO}_2}.$$

Nel caso **Leaf House**, che utilizza pannelli fotovoltaici in silicio policristallino, si calcolano invece un'emissione in fase di produzione dell'impianto di

$$208 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2 \times 150 \text{ m}^2 = \underline{31200 \text{ kgCO}_2},$$

una mancata emissione di

$$13575 \text{ kWh/a} \times 0.2 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = \\ = \underline{2715 \text{ kgCO}_2/\text{a}},$$

per un risparmio netto complessivo di

$$2715 \text{ kgCO}_2/\text{a} \times 25 \text{ anni} = 67875 \text{ kgCO}_2$$

$$67875 \text{ kgCO}_2 - 31200 \text{ kgCO}_2 = \\ = \underline{36675 \text{ kgCO}_2}.$$

Le considerazioni limitatamente alle emissioni di CO₂ risultano negative, in quanto l'impianto, in entrambi i casi analizzati, risulta effettivamente compensare in fase d'uso le emissioni prodotte in fase di realizzazione, ma con tempi di rientro molto lunghi, in particolare:

$$775610 \text{ kgCO}_2 / 74166 \text{ kgCO}_2/\text{a} = \sim \mathbf{10 \text{ anni}}$$

$$31200 \text{ kgCO}_2 / 2715 \text{ kgCO}_2/\text{a} = \sim \mathbf{11 \text{ anni}}$$

La valutazione delle emissioni di CO₂ derivanti dall'adozione di un impianto fotovoltaico non può essere, alla luce di questi risultati, effettuata considerando unicamente la fase d'uso in quanto le emissioni relative ai processi di realizzazione gravano sensibilmente sul bilancio complessivo di anidride carbonica immessa in atmosfera. L'effettiva efficienza energetica delle soluzioni adottate deve necessariamente essere stimata sull'intero ciclo di vita dell'impianto.

5.2.2 Biomasse: impatto e bilancio emissioni

Nell'analisi svolta sulle fonti d'approvvigionamento dell'energia negli edifici ad energia zero, è emersa l'importanza svolta dall'installazione di impianti alimentati a biomassa. Gli edifici che sfruttano questa energia (il complesso per uffici e appartamenti a Villach (cfr. caso studio 11), la residenza Kraftwerk B (cfr. caso studio 8)), la utilizzano per il suo stretto legame con il territorio; la facile reperibilità e disponibilità rendono la biomassa una risorsa locale. La biomassa è considerata una fonte energetica in grado di dare risposta all'abbattimento delle emissioni di CO₂ prodotte durante la fase d'uso degli edifici in quanto l'anidride carbonica prodotta dalla combustione può essere bilanciata da quella assorbita e convertita dagli arbusti (fonte principale di tale risorsa) per mezzo della fotosintesi clorofilliana in fase di accrescimento. Considerata l'importanza attribuita a questa risorsa energetica mi è sembrato opportuno analizzare le effettive emissioni di CO₂ di un impianto alimentato a biomassa per sopperire ai bisogni dell'edificio e metterle in rapporto con il riassorbimento teorico da parte della vegetazione. In particolare ho portato in esame il caso studio dell'edificio residenziale Kraftwerk B a Bennau. L'edificio prevede per ogni abitazione l'installazione di un boiler alimentato a biomassa per una produzione totale di 7000 kWh/a.

Per il calcolo ho utilizzato i valori forniti dal Protocollo di Itaca che definisce un fattore di emissioni da combustione di biomassa pari a 0.34 kgCO₂/kWh. Com'è possibile constatare in tabella, tali emissioni sono molto elevate in quanto quasi il doppio dei fattori di emissione del gas naturale e addirittura maggiori di quelle del carbone. Facendo un rapido conto risulta che:

$$7000 \text{ kWh/a} \times 0.34 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = \\ = \underline{2380 \text{ kgCO}_2} .$$

A questo punto mi è sembrato opportuno valutare la quantità di alberi necessaria per abbattere le emissioni di anidride carbonica prodotte dalla combustione dell'impianto.

Per effettuare questo calcolo ho preso in considerazione i dati forniti dalla Convenzione delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici, UNFCCC, che calcola il valore di 10 kgCO₂ assorbiti in media da un albero in un anno. Risulta quindi che nel caso analizzato:

$$2380 \text{ kgCO}_2 / 10 \text{ kgCO}_2 = \underline{238} .$$

Occorrono 238 alberi per assorbire, attraverso la fotosintesi clorofilliana, le quantità di CO₂ emessa dalla combustione della biomassa. Se presupponiamo poi l'utilizzo di una fonte diversa per produrre l'energia necessaria a sopperire al fabbisogno termico, considerando ad esempio un impianto alimentato a gas naturale (utilizzando sempre i valori forniti dal Protocollo di Itaca per un fattore di emissioni pari a 0.20 kgCO₂/kWh), risulta:

$$7000 \text{ kWh/a} \times 0.20 \text{ kgCO}_2/\text{kWh} = \\ = 1400 \text{ kgCO}_2 / 10 \text{ kgCO}_2 = \underline{140} ,$$

che è più del 40% in meno rispetto al caso precedente. È bene però considerare che l'utilizzo del gas naturale non può comunque rappresentare una soluzione ai problemi di sviluppo e stabilità economica che gli edifici ad energia zero sono chiamati a raggiungere. Le criticità legate al costo nell'approvvigionamento a livelli economici e di emissioni per il trasporto da paesi lontani, la localizzazione geografica in aree politicamente instabili, da cui deriva la fornitura



Figura 5.7: Fasi del processo di generazione di energia da biomasse; Fonte: G. Fiorense, 2007;

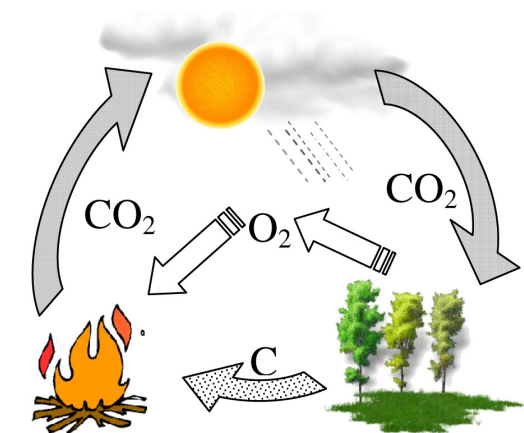


Figura 5.8: Ciclo del biossido di carbonio legato all'utilizzo di biomasse come combustibile; Fonte: G. Fiorense, 2007;

non affidabile non la rendono una risorsa su cui puntare per le generazioni future. Tuttavia l'importante differenza in termini di emissioni fra le due fonti conferma le perplessità riguardo all'utilizzo della prima. Si riscontra una criticità causata dall'elevato livello di emissioni di CO₂ in loco, il quale non può essere effettivamente compensato dalla quantità di gas assorbita e ritrasformata dalla pianta durante la crescita in quanto significherebbe considerare un bilancio energetico delle emissioni nell'intero ciclo di vita della fonte energetica utilizzata; questo comporterebbe un'eccezione non giustificata dal momento che per le altre fonti energetiche non si riporta o considera il bilancio in relazione al ciclo di vita. Oltretutto, nel mio calcolo ho considerato solo le emissioni di anidride carbonica prodotte dalla combustione di biomassa, ma un calcolo più approfondito e veritiero richiederebbe la considerazione di altri gas serra, quali ossidi di azoto o ossidi di zolfo, a seconda del tipo di biomassa. In particolare, la combustione del legno può produrre diossina, furani e PCB (bifenili policlorurati). A seguito di queste considerazioni risulta ancora più errato e approssimativo l'approccio di bilancio esteso al ciclo di vita delle piante, in quanto la fotosintesi clorofilliana non porta all'assorbimento di tali gas. Congiuntamente all'abbattimento delle emissioni di CO₂ per la combustione della biomassa bisogna affrontare un'altra criticità legata allo sfruttamento di tale risorsa: l'uso di questa fonte implica un notevole consumo di suolo. In teoria l'utilizzo della biomassa potrebbe contribuire ad alleviare il problema ambientale, andando a sfruttare gli scarti e i residui delle produzioni agricole e agro-industriali, nonché la frazione organica dei rifiuti, per recuperare il loro contenuto energetico; in pratica però alla diffusione della tecnologia non è stata abbinata la reale possibilità di alimentarsi con vegetazio-



Figura 5.9: Visione di Legambiente della terra tra cento anni, esposta nel dossier "La Terra nel 2108"; Fonte: www.ecologiae.com;

ne di scarto, ma da componenti sottratte all'ambiente naturale.

5.3 ZEB e integrazione con il contesto urbano

Un'altra considerazione da effettuare nel processo di sviluppo di insediamenti di edifici ad energia zero è in riferimento all'integrazione di queste architetture con la realtà del contesto urbano esistente. Da un lato gli edifici ad energia zero cercano di inserirsi nel rispetto del contesto territoriale urbano di riferimento, andando ad individuare, in base all'analisi morfologica, interventi rivolti all'integrazione con il contesto consolidato esistente. Un esempio può essere riscontrato nel caso specifico dell'edificio residenziale progettato a Bennau (cfr. caso studio 8), il quale per la propria realizzazione segue vincoli formali e architettonici strettamente legati all'edificio storico limitrofo.

Contemporaneamente però si può valutare come nella maggior parte dei casi studio le preesistenze non giochino un ruolo fondamentale per le valutazioni progettuali. La maggior parte degli edifici, tra questi la sede della Marchè (cfr. caso studio 3) o la sede del WWF a Zeist (cfr. caso studio 22), si inseriscono nei contesti con l'unico obiettivo di massimizzare i benefici previsti dall'analisi microclimatica e ambientale degli ambiti urbani.

Questo problema porta allo sviluppo di architetture molto attente alle politiche ambientali, ma poco realizzabili dal punto di vista delle reali necessità che il sistema del costruito è chiamato a svolgere ai giorni nostri. Nel caso di interventi all'interno di un tessuto edilizio preesistente, le condizioni dell'assetto e strutturazione dell'edificio circostante costituiscono fattori principa-

li di interferenza ambientale e richiedono una trattazione accurata per definire le soluzioni possibili da intraprendere. La densificazione e compattazione urbana è oggi un tema molto importante poiché la vicinanza consente la condivisione di servizi anche a livello energetico. Le economie d'agglomerazione consistono nella realizzazione di insediamenti ad alta densità che generano un risparmio energetico sia per la forma compatta sia per le economie di gestione dei trasporti e degli impianti. Le strategie di realizzazione degli ZEB per raggiungere l'obiettivo zero emissioni sembrano incentivare la progettazione di edifici unifamiliari, isolati e con illimitate disponibilità di suolo da sfruttare. Basti pensare ai molti casi studi analizzati nella tesi (la casa unifamiliare a Riehe (cfr. caso studio 1), Home for Life a Lystrup (cfr. caso studio 17), l'edificio della Lighthouse (cfr. caso studio 19)): la maggior parte di questi comprende edifici unifamiliari che a mio avviso non possono essere recepiti come modelli di sviluppo in questo momento in cui risulta importante limitare le trasformazioni e i consumi del suolo non urbanizzato. Questi edifici si collocano in porzioni territoriali prive di una caratterizzazione e diversificazione fisico-costitutiva evidente, per lo più territori pianeggianti con assenza di elementi naturali o artificiali di rilievo nelle zone limitrofe, così da poter proporre soluzioni al problema energetico di carattere generale, poco applicabili in altri contesti.

Risultano più interessanti da questo punto di vista gli insediamenti edilizi come la Comunità Solare di Friburgo (cfr. caso studio 16) e la Comunità Energy Plus a Weiz (cfr. caso studio 5), oppure gli edifici della Kleehauser (cfr. caso studio 9), che si propongono come occasioni di riqualificazione di interi quartieri posti in aree ai margini del centro abitato della città. Il posizionamento nelle vicinanze di un nodo

di mezzi pubblici si rivela strategica per questi edifici, favorendo al contempo la condivisione di servizi all'interno di una compattazione urbana e la riduzione dell'inquinamento attribuibile allo sfruttamento delle autovetture personali.

Un aspetto particolarmente importante nel processo di sviluppo di edifici ad energia zero è l'integrazione degli impianti nel contesto urbano. Questo comporta problemi sia di quantità sia di qualità.

In termini di quantità, analizzando ad esempio il caso studio della fabbrica di produzione della Solvis a Braunschweig (cfr. caso studio 21), dove si è resa necessaria l'estensione dell'impianto fotovoltaico anche all'area destinata a parcheggio, risulta evidente come la superficie resa disponibile dall'edificio non sia sempre sufficiente ad ospitare gli impianti fotovoltaici installati. In questi termini si torna ad un problema di consumo del suolo, particolarmente rilevante per un edificio realizzato in un contesto urbano consolidato in cui risulta complesso sfruttare altre superfici oltre a quella resa disponibile dall'edificio stesso.

In termini di qualità esiste il rischio di una progettazione non curante dei vincoli architettonici, in particolare per quanto riguarda l'integrazione di sistemi fotovoltaici. Si corre il rischio di focalizzare l'attenzione unicamente sulla limitazione delle emissioni di gas serra, trascurando però di fatto in maniera sensibile la componente prettamente estetica dell'architettura e producendo di conseguenza elementi di discontinuità urbana.

L'edificio sembra essere trasformato in una macchina dalle qualità unicamente formali e tecnologiche, che pone la componente energetica alla base del linguaggio progettuale. L'edificio per uffici e appartamenti a Villach propone il pannello fotovoltaico come elemento espressivo e caratterizzatore dell'architettura,

allo stesso modo in cui un tempo sono stati proposti l'acciaio, il cemento e il vetro: è una rivoluzione verso una nuova identità di un edificio tecnologico.

Esiste il rischio di tornare ad una produzione edile governata dall'industrializzazione, ad una standardizzazione imposta dall'applicazione di modelli energeticamente efficienti ma privi, di fatto, di un'identità nei confronti della destinazione d'uso.

Bibliografia

Introduzione

Libri:

Federico M. Butera, *Dalla caverna alla casa ecologica. Storia del comfort e dell'energia*, Edizioni Ambiente, Milano, 2008;

Primo capitolo

Libri:

Barbare Bartoli, *La Casa Passiva. Standard energetici per un abitare ecologico*, Gruppo Editoriale Esselibri – Simone, Napoli, 2010;

Gianfranco Bologna, *Manuale della sostenibilità. Idee, concetti, nuove discipline capaci di futuro*, Edizione Ambiente, Milano 2009;

Stefano Capolongo, Laura Daglio, Ilaria oberti, *Tecnologie per l'igiene edilizia e ambientale*, CLUP, Milano 2002;

G. Dall'O, A. Galante, *Efficienza energetica e rinnovabili nel regolamento edilizio comunale. Programmazione, controllo e gestione di uno strumento operativo per la pianificazione sostenibile del territorio*, Edizioni Ambiente, Milano, 2009;

Giuliano Dall'O, Annalisa Galante, *Abitare sostenibile. Una rivoluzione nel nuovo modo di vivere*, Il Mulino, Bologna 2010;

Kristian Fabbri; Michele Conti, *Progettazione Energetica dell'architettura. Il porgetto: involucro-impianti, comfort e ambiente. Soluzioni tecniche per il progetto, Indicazioni tecnico costruttive, Calcolo degli impianti a fonti rinnovabili*, Tipografia del Genio Civile Dei, Rome, 2008;

N. J. Langstrom, *Ecologia*, Zanichelli, Milano 2000;

Monica Lavagna, *Life cycle Assessment in edilizia*, Hoepli, Milano 2008;

Luca Mazzari, *Design per l'energia. Strumenti e linguaggi per una produzione diffusa*, Alinea Editrice, Firenze, 2011;

Carlo Ponzini, *L'edificio energeticamente sostenibile. Materiali contemporanei per il risparmio energetico*, Maggioli Editore, Roma, 2009;

A cura di Barbara Pozzo, *Le politiche energetiche comunitarie. Un'analisi degli incentivi allo sviluppo delle fonti rinnovabili*, Giuffrè editore, Milano, 2009;

M. Wackernagel, W. Rees, *Our Ecological Footprinting. Reducing Human Impact on the Earth*, New Society Publishers, British Columbia, 1996;

Heisenberg Werner, *Natura e fisica moderna*, Garzanti, 1957;

Articoli:

AA.VV., *Rapporto energia e ambiente. Analisi e scenari 2009*, Enea, 2010;

H.Barton, M. Grant, *A health map for the local human habitat*, The Journal of the Royal Society for the Promotion of Health, n. 126, 2006;

M.M.Caminiti, *Protocollo di Kyoto: a che punto siamo? Obiettivi, impegni e prospettive*, ENEA 2010, www.enea.it;

Andrea Campioli, Simone Ferrari, Monica Lavagna, *L'evoluzione del D.Lgs. 192/2005. Verifiche e orientamenti*, *Costruire in Laterazio*; n. 116, Marzo/Aprile 2007;

Andrea Campioli, Simone Ferrari, Monica Lavagna, *Gli involucri edilizi e il rendimento energetico degli edifici*, *Costruire in Laterizio*, n.111 maggio/

giugno 2006);

Andrea Campioli, Simone Ferrari, Monica Lavagna, *Il DPR 59/09 e i nuovi limiti sulle prestazioni energetiche degli edifici*, Costruire in Laterizio, n. 131 settembre/ottobre 2009):

K. E. Thomsen, K. B. Wittchen, *European national strategies to move towards very low energy buildings*, Danisch Building Research Institute, Aalborg, Marzo 2008;

Sitografia:

ACCA software s.p.a.

www.acca.it/Default.aspx?TabId=80&ItemId=1375&view=Details

ANCE Associazione Nazionale Costruttori edili

www.workshop.ance.it/tecn/Workshop21092010/files/2.Torretta_Ance.pdf

Azzero CO₂

www.azzeroco2.com

Department for Communities and Local Government

Code for Sustainable Homes. A step-change in sustainable home building practice, Dicembre 2006, www.communities.gov.uk;

Building a Greener Future. Towards Zero Carbon Development, Dicembre 2006, www.communities.gov.uk;

Edilportale

www.edilportale.com/news/2010/07/risparmio-energetico/prestazione-energetica-in-edilizia-in-vigore-la-nuova-direttiva-ue_19485_27.html

www.edilportale.com/news/2011/02/normativa/%E2%80%98edifici-a-energia-quasi-zero- direttiva-verso-il-recepimento_21431_15.html

ENEA Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie

www.energiaenergetica.acs.enea.it/doc/direttiva_2010-31-ue.pdf

European Environment Agency

The European environment-state and outlook 2010; www.eea.europa.eu/soer/synthesis/synthesis/chapter1.xhtml

Approximated EU GHG inventory: early estimated for 2010; EEA Technical report, Ottobre, 2011; eea.eionet.europa.eu/Public/irc/eionet-circle/habitats-art17report/library?l=/papers_technical/reporting_ver1pdf/_EN_1.0_&a=d

Global Footprint Network

www.footprintnetwork.org/en/index.php/gfn/page/ecological_footprint_atlas_2008/

Intergovernmental panel on climate change

www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml#.T2nd7xE7qcg

Sito ufficiale dell'unione Europea

www.europa.eu/legislation_summaries/other/l27042_it.htm

Sito ufficiale del Parlamento Europeo

www.europarl.europa.eu

Sito ufficiale della commissione europea

Secondo capitolo

Libri:

- F. Bigi, A. Carosi, *Principi e sistemi di architettura bioclimatica*, Università di Roma la Sapienza, 2007;
- Barbara Bartoli, *La Casa Passiva. Standard energetici per un abitare ecologico*, Gruppo Editoriale Esselibri – Simone, Napoli, 2010;
- Federico Butera, *Architettura e Ambiente. Manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici*, Etas Libri, Milano, 1995;
- Cristina Carletti, Fabio Scurpi (a cura di), *Passivhaus. Evoluzione energetica e comfort ambientale negli edifici italiani*, Pitagora Editrice Bologna, Bologna, 2005;
- Giuliano Dall'O, Annalisa Galante, *Abitare sostenibile. Una rivoluzione nel nuovo modo di vivere*, Il Mulino, Bologna 2010;
- S. Ferrari, *Solare termico negli edifici guida al dimensionamento e alla progettazione degli impianti*, Edizione Ambiente, 2008;
- H. Fuchs, S. Zeumer, *Energy Manual*, Detail, Germania, 2008;
- P. Gallo (a cura di), *Recupero bioclimatico edilizio e urbano. Strumenti, tecniche e casi studio*, Esselibri Simone, Napoli, 2010;
- Alessandro Gioli (a cura di), *Lezioni di architettura bioclimatica*, Alinea Editrice, Milano, 2000;
- J. Lausten, *Energy efficiency requirements in building codes. Energy efficiency policies for new buildings*, International Energy Agency, 2008;
- Monica Lavagna, *Sostenibilità e risparmio energetico. Soluzioni tecniche per involucri eco-efficienti*, Libreria CLUP, Milano, 2005;
- Monica Lavagna, *Life Cycle Assessment in edilizia. Progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milano, 2008;
- Le Corbusier, *Vers une architecture*, Collection de l'Esprit Nouveau, Parigi, 1923;
- Gabriele Masera, *Residenze e risparmio energetico. Tecnologie applicative e linee guida progettuali per la costruzione di abitazioni sostenibili*, Il Sole 24 Ore dalla collana Tecnologia e Progetto, Milano, 2004;
- Victor Olgyay, *Progettare con il clima: un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, franco muzzio & c. editore, Pavia, 1981;
- C. Schittich, *Solar Architecture*, Detail, Germania, 2003;
- C. Schittich, *Building skins*, Birkhäuser, 2006;
- Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutralità in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Sitografia:

International Energy Agency

Technology roadmap solar photovoltaic Energy, 2010; www.iea.org/paper/2010/pv_roadmap.pdf;

Terzo capitolo:

Libri:

T. Ebert, N. Essig, G. Hauser, *Green building certification system. Assessing sustainability. International system comparison. Economico f certification*, Detail Green Book, Germania, 2011;

H. Fuchs, S. Zeumer, *Energy Manual*, Detail, Germania, 2008;

Riviste:

AA.VV., *Fondazioni e ponti termici*, EdicomEdizioni, Azero, n°1, ottobre 2011;

AA.VV., *Alta tecnologia = bassi consumi?*, Assimpredil Ance, Dedalo, n°25 Maggio-Giugno 2011;

AA.VV., *bilancio zero?*, Assimpredil Ance, Dedalo, n°26, Luglio-Agosto 2011;

Articoli:

AA.VV., *Europe's buildings under the microscope. A country by country review of the energy performance of buildings*, Buildings Performance Institute Europe, Ottobre, 2011;

AA.VV., *Principle for nearly zero-energy buildings. Paving the way for effective implementation of policy requirements*, Buildings Performance Institute Europe, Novembre, 2011;

AA.VV., *Technology roadmap: Energy efficiency buildings: heating and cooling equipment*, International Energy Agency, 2011;

Andrea Campioli, Valeria Giurdanella, Monica Lavagna, *Energia per costruire, energia per abitare*, Costruire in Laterizio, n. 134, pp. 60-65, Milano, 2010;

ECEEE, European Councilfor an Energy Efficiency Economy, *Net zero energy buildings: definitions, issues and experience*, 2009;

European Commission, *Low energy building in Europe: current state of play definitions and best practice*, Brussels, 2009;

W. Gilijamse, *Zero-energy houses in the Netherlands*, Building Simulation '95, USA, 1995;

P. Hernandez, P. Kenny, *From net energy to zero energy buildings: defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB)*, Energy and Buildings, n. 42, 2010;

M. T. Iqbal, *A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland*, Renewable energy, n. 29, 2004;

L. Jagemar, et. Al., *Towards nzeb-some example of national requirements and roadmap*, REHVA Journal, Maggio 2011;

Kilkis, S 2007, "A new metric for net-zero carbon buildings", *Proceedings of ES2007. Energy Sustainability 2007*, Long Beach, California, pp.219-224;

J. Lausten, *Energy Efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings*, IEA, Parigi, 2008;

Monica Lavagna, *Edifici a Zero Emissioni. Una questione di confini di sistema*, F. Cappellaro,

S. Scalbi, a cura di, *La metodologia LCA: approccio proattivo per le tecnologie ambientali*, *Atti*

del convegno scientifico Rete Italiana LCA, Padova 2010, ENEA, pp. 86-93;

- N. Lazarus, Bioregional Development Group, *Toolkit for Carbon Neutral Developments*, www.bioregional.com;
- A.J.Marszal et al., Net Zero Energy Buildings – Calculation Methodologies versus National Buildings Codes, *In the Proceedings of EuroSun 2010*, Marzo 2010;
- A.J.Marszal, Per Heiselberg, *A literature review of Zero Energy Building (ZEB) definitions*, Aalborg University, Dicembre 2009;
- A.J.Marszal et al., Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies, *Energy and Buildings*, Dicembre 2010,
- A.J.Marszal, *Life cycle cost optimization of a Bolig+ zero energy building*, Aalborg university, 2011;
- G.A.Mertz, et al., *Cost optimisation of net-zero Energy house*, Energy sustainability, USA, 2007;
- A. Napolitano, R. Lollini, S. Avesani, W. Sparber, “Un caso studio del concetto Net Zero Energy Building”, *47° AICARR International Conference*, Tivoli Roma, Ottobre 2009;
- I. Sartori, Hestnes, “Energy use in the life cycle of conventional and low energy buildings: A review article”, *Energy and Buildings*, 2007, n. 39, pp.249-257;
- I. Sartori et al., Criteria for Definition of Net Zero Energy Buildings, *In the Proceedings of EuroSun 2010*, Marzo 2010;
- I. Sartori et al., Comfort and Energy Efficiency Recommendations for Net Zero Energy Buildings, *In the Proceedings of EuroSun 2010*, Marzo 2010;
- I. Sartori, A. Napolitano, K. Voss, *Net zero energy buildings: A consistent definition frame work*, *Energy and Buildings*, 2012;
- S.Schimschar, K. Blok, T. Boermas, A. Hermelink, *Germany’s path towards nearly zero-energy buildings. Enabling the greenhouse gas mitigation potential in the building stock*, *Energy Policy*, n. 39, 2011;
- K. E. Thomsen, K. B. Wittchen, *European national strategies to move towards very low energy buildings*, Danisch Building Research Institute, Aalborg, Marzo 2008;
- Karsten Voss et al., Load Matching and Grid Interaction of Net Zero Energy Buildings, *In the Proceedings of EuroSun 2010*, Marzo 2010;
- Karsten Voss, Eike Musall, Markus Lichtmess, From Low Energy to net energy buildings: status and perspective, *Journal of Green Building*, vol. 6 n.1 pp. 46-57;
- Karsten Voss, “Net zero energy building”, *International Tagung 30 Jahre IEA Energieforschung Solarenergie und Energieeffiziente Gebäude*, Graz, 11 Giugno, 2008;

Sitografia

Aalborg University

Nzeb demonstration building. Net zero Energy buildings (NZEB) and on site renewable Energy, Ene-58-5152 post graduated seminar on HVAC, 2010; www.zeb.aau.dk;

Costruire in Laterizio

Monica Lavagna, Dall’efficienza energetica all’eco-efficienza, *Focus*, pp.12-16, www.laterizio.it/costruire/_pdf/n125/125_84.pdf

Department for Communities and Local Government

Code for Sustainable Homes. A step-change in sustainable home building practice, Dicembre 2006, www.communities.gov.uk;
Building a Greener Future. Towards Zero Carbon Development, , Dicembre 2006, www.communities.gov.uk;
Building a Greener Future. Policy Statement, Communities and Local Government, Giugno 2007, www.communities.gov.uk;
Defiition of zero carbon homes and non-domestic buildings, Dicembre 2008, www.communities.gov.uk;

European Commission, Environment

The Climate action and renewable energy package, http://ec.europa.eu/environement/climat/climate_action.html;

International Energy Agency

IEA shc task 40 – IEA ECBCS annex 52, *Towards Net Zero Energy Solar Buildings (NZEBs)*, 2009, www.iea40.buildinggreen.com;

Ordre Souveraion du Temple Initiatique

P. Torcellini, S. Pless, M. Deru, D. Crawley, *Zero Energy Buildings: A critical Look at the Definition*, National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy (DOE), Dicembre 2006, www.osti.org;

Politecnico di Milano

www.wiki.pato.metid.polimi.it

UK Green Building Council

The definition of Zero Carbon, Zero Carbon Task Group Report, UK Green Building Council, <http://www.ukgbc.org>;

Zero Carbon HUB

Defining a fabric energy efficiency standard for zero carbon homes, Task Group Recommendations, Novembre 2009, Zero Carbon Hub, www.zerocarbonhub.org/;

Quarto capitolo

Caso studio 1 - Residential Home, Riehen

Libri:

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutralità in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Articoli:

AA.VV, *Einfamilienhaus in Riehen, Schweiz. Zukunft Plusenergiehaus*, Zeno, n°3 2009;

Sitografia:

Edifici passivi

www.edificipassivi.com/eparchivio/ep1001_Edifici_Casa%20passiva%20a%20%20Riehen.pdf

Forschung fr Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimateutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

Plusenergie Haus

www.plusenergie-haus.ch

Setz Architektur

www.setz-architektur.ch/uploads/media/Riehen_23_Deutsch.pdf

Caso studio 2 – Scuola elementare, Wolfurt Mähdle

Libri:

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutralità in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Articoli:

DetailGreen n°1, J. Schoop, *Energiesymbiose*, Maggio 2011;

Sitografia:

Architektur Fachmagazin

www.architektur-online.com/

Energieeffiziente Haustechnikplanung

www.e-plus.at/referenzen/kindergarten/volksschule_maehdle_wolfurt

Forschung fr Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

Landesprogramm für energieeffiziente Gemeinden

www.e5-salzburg.at/downloads/wolfurt-exkursionsinfos.pdf

Caso studio 3 – Sede generale Marché

Libri:

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutralità in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Articoli:

AA.VV., *Marché International Kempththal/ch*, Schweizer Solarpreis, 2007;

AA.VV., *Das erste Null-Energie-Bürogebäude der Schweiz*, Bürooffice n°1, 2008;

AA.VV., *Quartier generale del ristorante Marché. Architettura ad energia Zero in Svizzera*, DetailGreen n°1, Maggio 2009;

Sitografia:

Baunetz Wissen

www.baunetzwissen.de/objektartikel/Daemmstoffe_Null-Energie-Buerogebaeude-in-Kempththal_CH_218829.html

Energieagenda

www.energieagenda.ch/files/Fact%20Sheet%20B%C3%BCrogeb%C3%A4ude%20Marche%20Int%20MINERGIE-P-Eco.pdf

Forschung für Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

Greendestinations

www.green-destinations.com/docs%5Ckemptthal.pdf

Kämpfen für Architektur

www.kaempfen.com/index.php?option=com_content&task=view&id=12&Itemid=70

Klimaschutzstiftung

www.klimastiftung-thueringen.de/fileadmin/media/Tagung/FT_2010-06-17/2010_Musall.pdf

Lika Media Consulting

www.lika_media.ch/pdf/ZH_2007_pdf;

Minergie

www.minergie.ch/tl_files/download/Artikel_Erstes_Nullenergie_Buerogebaeude_der_Schwe_iz_energiefachbuch.pdf

Caso studio 4 – Edificio EnerPos

Libri:

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutralità in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Articoli:

A.Lenoir, et al., Net Zero energy building in France: from design studies to energy monitoring. A state of the art review, *In the Proceedings of EuroSun 2010*, Marzo 2010;

Sitografia:

Building Green

www.buildinggreen.com/hpb/overview.cfm?projectID=1592

Forschung für Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

IEA International Energy Agency

M. Franco et al., Environmental design and performance of the ENERPOS building, Reunion Island, France, 2012; www.iea-shc.org/publication/downloads/DC-TP12_Garden-2011-06.pdf

IEA International Energy Agency

F. Garde et al., Towards Net Zero Energy Buildings in Hot Climates: Part1, New tool and Methods, 2012; www.iea-shc.org/publication/downloads/DC-TP12_Garden-2011-11.pdf

Imageen

Suivi d'exploration annuel du système de gestion technique du bâtiment Ener Pos, 2011; www.imageen.eu;

Laboratoire de Physique du Batiment et des Systemes

A.Lenoir, et.al., *Presentation of the experimental feedback of a French Net Zero Energy Building under tropical climate*; www.lpbs.univ-reunion.fr

Caso studio 5 – Comunità Energy plus, Weiz

Libri:

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutralità in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Sitografia:

Arch°Buero Kaltenegger

www.erwin-kaltenegger.at/

Forschung fr Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

Institut für Nachhaltige Technologien

www.aee-intec.at/index.php?seitenId=29

Tanno

www.tanno.at/

Caso studio 6 – Centro ricreativo, Monheim

Libri:

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutralità in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Sitografia:

Bayer MaterialScience

www.materialscience.bayer.com/Media/Special/Features/EcoCommercial-Building-program.aspx

Build Up. Energy solution for better buildings

www.buildup.eu/cases/15876

CasaClima

www.casaclima.com/index.php?option=com_content&view=article&id=8064:asilo-nido- efficiente-a-monheim&catid=34:hot-spot&Itemid=41

Forschung fr Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

Quotidiano d'informazione sulle fonti rinnovabili

www.rinnovabili.it/monografia/il-centro-ricreativo-carbon-neutral301/

Smart Buildings

www.takeyourenergyback.eu/smart-e-knowledge/good-practice/article/daycare-center-die-sproesslinge.html?PHPSESSID=ae5db730f627eb165f5c90fb1f43d5c

Tr. Architekten

www.tr-architekten.de/index.php?aktion=projekt&projekt=kindertagesstaette

www.enob.info/de/bmwi-wettbewerb-energieoptimiertes-bauen-2009/betriebskindergarten-monheim

Caso studio 7 – Scuola elementare, Laion

Articoli:

E. Musall, et.al., Net Zero Solar Buildings: An Overview and Analysis on Worldwide Projects, *In the Proceedings of EuroSun 2010*, Marzo 2010;

Sitografia:

Accademia Europea di Bolzano

A. Troi, et. al., Solar active school in Laion (Italy), Giugno 2009 www.eurac.edu/en/research/institutes/renewableenergy/Publications/Documents/AktiveSolarhaus2009_SolarActiveSchoolLaien.pdf

Architetti.com

www.architetti.cc/blog_stampa.php/1611/

Detail, das Architekturportal

www.detail.de/artikel_trojer-vonmetz-laion-novale_22190_It.htm

Premio internazionale. Architettura Sostenibile. Fassa Bortolo

www.premioarchitettura.it/IT/Home/commons/pdf%202009/Realizzati/archtv_.pdf

Caso studio 8 – Kraftwerk B. Bennau

Libri:

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutralità in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Articoli:

DetailGreen n°1, M. Piccolotto, *Synthese aus Energietechnik und Architektur. Balancing energy and architecture*, 2010;

Sitografia:

Detail, das Architekturportal

www.detail.de/artikel_kraftwerk-b-bennau-grab-architekten_24281_De.htm

Edifici Passivi

www.edificipassivi.com/epesempi/epesempi_EP%20Bennau%20_SZ_.pdf

Forschung fr Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

Franz und Bigi Alt

www.sonnenseite.com/index.php?pageID=5&article:oid=a14767

Grab Architekten

www.720grad-architekten.ch/de/

Minergie

www.minergie.ch/buildings/de/details.php?gid=SZ-001-P-ECO

Solar Agentur Schweiz

www.solaragentur.ch/dokumente/G-09-08-20%20Bennau.pdf

Caso studio 9 – Kleehäuser, Friburgo

Libri:

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutralità in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Sitografia:

Baunutzen Wissen

www.baunetzwissen.de/objektartikel/Solar_"Kleehaeuser"-in-Freiburg_72754.html

Common Architecture

Erasing Emission with solar Architecture, 2006; www.commonarchitets.com

Forschung fr Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

Gies Architekten

www.giesarchitekten.de/de/projekte/kleehaeuser

Kleehäuser

www.kleehaeuser.de/

Klimaschutzstiftung

www.klimastiftung-thueringen.de/fileadmin/media/Tagung/FT_2010-06-17/2010_Musall.pdf

Miniwatt

www.miniwatt.it/mwprojects/Abitare%20&%20Lavorare.pdf

Solares Bauen

www.solares-bauen.de/fr/projets/single-view/?tx_ttnews%5Btt_news%5D=375&cHash=a6147ecef

Stadtteilverein Vauban e. V.

www.quartiersarbeit-vauban.de/userdocs/Vauban_nachhaltig_Kleehaeuser.pdf

Caso studio 10 – Scuola elementare, Hohen Neuendorf

Libri:

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutralità in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Sitografia:

Aktionskeis Energie

www.ake-ev.de/download/Schule_Hohen_Neuendorf_Artikel.pdf

Baunutzen Wissen

www.baunetzwissen.de/objektartikel/Heizung-Plusenergie-Grundschule-in-Hohen-Neuendorf_2293331.html

Bund Architektur & Umwelt e. V.

www.bau-architekten.de

Detail, das Architekturportal

www.detail.de/artikel_plusenergieschule-hohen-neudorf-ibus_28269_De.htm

Edifici Passivi

www.edificipassivi.com/epesempi/epesempi_Scuola%20Hohen-Neuendorf.pdf

Energieeffiziente Schulen

www.eneff-schule.de/index.php/Demonstrationsobjekte/Plusenergieschulen/low-tech-und-low-cost-plusenergie-grundschule-hohen-neuendorf.html

Forschung für Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

IBUS Architekten und Ingenieure

I Lütkemeyer, et. al., *Energy_plus Primary School, Hohen Neuendorf, Germany, 2011*; www.ibus-berline.de/Aktuelles.html

Caso studio 11 - Ufficio + appartamenti, Villach

Libri:

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutralità in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Articoli:

E. Musall, et.al., *Net Zero Solar Buildings: An Overview and Analysis on Worldwide Projects*, *In the Proceedings of EuroSun 2010*, Marzo 2010;

Sitografia:

BAU IQ Intelligent Wohnen und Leben

A Themessl, *Projektdokumentation Passiv-Bürohaus und Energiekonzept für das Mikronetz der AEE Villach, 2004*; www.frischlufftechnik-iq.de/mediaserver/09/passivburohaus_927009.pdf

Città alpine dell'anno

www.cittaalpina.org/it/progetti/buone-pratiche/371

Forschung fr Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

Oekonews.at

www.oekonews.at

Caso studio 12 – Edificio per uffici Solar XXI, Lisbona

Articoli:

L. Aelenei et al., The road Toward “Zero Energy” in Buildings: Lessons Learned from the Solar XXI Building in Portugal, *Eurosun 2010 Paper*, Marzo 2010;

H. Goncalves, P. Cabrito, Edificio Solar XXI. Un edificio energeticamente eficiente em Protugal, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação I.P., Dicembre, 2005;

M.J.N. Oliveira Pano e H.J.P. Goncalves, *Solar XXI building: proof of concept or a concept to be proved?*, National Laboratory of Energy and Geology, Lisbona, Aprile 2011;

Sitografia:

Building Advent

www.buildingadvent.com/

Energy Solution for better buildings

www.buildup.eu/cases/6018

European Economic and Social Committee

www.eesc.europa.eu/resources/docs/edificio-solar-lisbon-portugal-en.pdf

Forschung fr Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

Laboratorio Nacional de Energia e Geologia

repositorio.ineg.pt/bitstream/10400.9/1341/1/SolarXXI_Pano_Gon%C3%A7alves.pdf

Caso studio 13 – Sede generale Solon, Berlino

Libri:

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutrality in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Articoli:

AA.VV., *Building the future. The magazine of the Zukunft Bau research Initiative*, Zukunft Bau Research Initiative, 2010;

G. Masera, *Sede generale Solon a Berlino*, Arketipo n. 38, Milano, Novembre 2008;

Sitografia:

Detail Research

www.detailresearch.de/aktuelle-entwicklungen/energie-haustechnik/artikel/solon-headquarter-in-berlin-adlershof/

Forschung für Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebäude-im-stromnetz-20/nullenergiegebäude-karte-internationaler-projekte/

Presseportale

www.presseportal.de

Schulte – Frohlinde Architekten

www.schulte-frohlinde.com/neubau.html

Solon

www.solon.com/it/azienda/solon-in-breve/solon-headquarters/index.html

The Independent resource for architecture and design

www.architonic.com/aisht/corporate-headquarter-der-solon-se-schulte-frohlinde-architekten/5100419

Caso studio 14 – Struttura ricreativa marina, Steinhude

Libri:

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutrality in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Mary Guzowsky, *Architettura a zero emissioni. Verso un futuro ad energia solare*, Logos, Modena, 2010;

Articoli:

D. Hay, *Randall Stout makes architectural alchemy from the simples things*, Architectural Record, 2011;

Sitografia:

Energy Efficiency and Renewable Energy

eere.buildinggreen.com/overview.cfm?ProjectID=195

Forschung für Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebäude-im-stromnetz-20/nullenergiegebäude-karte-internationaler-projekte/

IEA International Energy Agency

www.iea40.buildinggreen.com/overview.cfm?projectid=195

Caso studio 15 – Concorso edificio residenziale BOLIG+, Aalborg

Articoli:

K. Wittchen, et.all., *BOLING+ an energy neutral multifamily building*, *In the Proceedings of EuroSun 2010*, Marzo 2010;

A.J.Marszal, *Life cycle cost optimization of a Bolig+ zero energy building*, Aalborg university, 2011;

Sitografia:

Aalborg Universitet
vbn.aau.dk/files/60695799/Life_Cycle_Cost_Optimization_of_a_BOLIG_Zero_Energy_Building.pdf

Arkitema architetti
arkitema.dk/Presse/News/2009/Bolig_plus.aspx

Bolig+
www.boligplus.net

Forschung fr Energieoptimiertes Bauen
www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

World Architecture News.com
www.worldarchitecturenews.com/index.php?fuseaction=wanappln.projectview&upload_id=1 2892

Caso studio 16 – Comunità solare, Friburgo

Libri:

Mary Guzowsky, *Architettura a zero emissioni. Verso un futuro ad energia solare*, Logos, Modena, 2010;

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutrality in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Articoli:

F. Frontini, *Plusenergiehäuser a Friburgo – Rolf Disch Soalr Architektur*, Arketipo n. 36, Milano, Settembre, 2009;

M. Heinze, K. Voss, *Goal: Zero Energy Building. Exemplary Experience Based on the solar estate Solarsiedlung Freiburg am Schlieberg*, Germany, 2009;

Ing.M. Heinze, K. Voss, *Ziel Null Energie. Erfahrungen am Beispiel der Solarsiedlung Freiburg am Schlierberg*, DBZ Deutsche BauZeitschrift, 2009;

E. Musall, et.al., *Net Zero Solar Buildings: An Overview and Analysis on Worldwide Projects*, *In the Proceedings of EuroSun 2010*, Marzo 2010;

Sitografia:

Das Plusenergiehaus
www.plusenergiehaus.de/index.php?p=home&pid=10&L=0&host=1#a250

Forschung fr Energieoptimiertes Bauen
www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

IEA International Energy Agency
www.ieashc.org/publications/task.aspx?Task=40

SolarArchitektur
www.rolfdisch.de/

Sonnenschiff.de
www.sonnenschiff.de

Sonnenschiff-fonds.de
www.freiburgersolarfonds.de/

Solarsiedlung gmbh
www.solarsiedlung.de/

Caso studio 17 – Home for life. Lystrup

Libri:

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutrality in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Articoli:

Aart Architects, *Energy text about Home for Life*, 2009;

Sitografia:

Aart Architects
www.aart.dk/projects/?cat=1&id=101

Active House
www.activehouse.info/cases/home-life

Build Up. Energy solution for better buildings
www.buildup.eu/cases/7397

Detail, das Architekturportal
www.detail.de/artikel_bolig-for-livet_23967_De.htm

Forschung fr Energieoptimiertes Bauen
www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

Velfac
www.velfac.dk/Erhverv/Home_for_life

Velux
www.velux.com

Caso studio 18 – Leaf House. Ancona

Articoli:

AA.VV., *Impianti per bassi consumi*, EdicomEdizioni, Azero, n°2 febbraio 2011;

M.Celura, et. all., A net Zero energy building in Italy: design studies to reach the net zero energy target, *Proceedings of building Simulation 2011: 12th Conference of International Building, Performance Simulation Association*, Sydney, Novembre, 2011;

M.Celura, et. all., *Partecipazione alle attività della Task 40 “Net Zero Energy Buildings” joint project SHC Task 40/ECBCS Annex 52*, Enea, Settembre 2011;

Sitografia:

Dentro la notizia

www.dentrolanotizia.info/salute/leaf-house-rural-technology.html

Edilportale

www.edilportale.com/news/2008/07/risparmio-energetico/leaf-house-la-prima-casa-a-emissioni-zero_12193_27.html

EIR – Edilizia in Rete

www.ediliziainrete.it/scheda_real.asp?rec=957

Il sole 24ore

www.b2b24.ilsole24ore.com/articoli/0,1254,24_ART_90442,00.html

Loccioni energy technologies

www.energy.loccioni.com/wp-content/uploads/2009/10/Brochure_Leaf_House1.pdf

Caso studio 19 – The Lighthouse, Watford

Libri:

Mary Guzowsky, *Architettura a zero emissioni. Verso un futuro ad energia solare*, Logos, Modena, 2010;

Mary Guzowsky, The essential role of integrated daylighting and solar design in the quest for zero-energy carbon-neutral housing, *Eurosun 2010 Paper*, Marzo 2010;

E. Musall, et.al., Net Zero Solar Buildings: An Overview and Analysis on Worldwide Projects, *In the Proceedings of EuroSun 2010*, Marzo 2010;

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutrality in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Sitografia:

Building Research Establishment

www.bre.co.uk

Forschung fr Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

Kingspan Lighthouse

www.kingspanlighthouse.com/

Potton

www.potton.co.uk/designs-to-inspire/contemporary/lighthouse-by-potton

Sheppard Robson

www.sheppardrobson.com/projects/page.cfm?projectID=100158

Smart Buildings

www.takeyourenergyback.eu/fileadmin/user_upload/Smart-e_Knowledge/Good_practices/C2_Kingspan_Lighthouse_UK_Template.pdf

Caso studio 20 – Green Lighthouse, Copenhagen

Articoli:

AA.VV., *Green Lighthouse. Copenhagen, Denmark*, The Plan n°41, 2010;

Sitografia:

Active House

www.activehouse.info/cases/green-lighthouse

Arch Daily

www.archdaily.com/43571/green-lighthouse-carbon-neutral-faculty-building-christensen-co-arkitekter/

Christensen & CO arkitekter

www.cco.as/

Energy Solution for better buildings

www.buildup.eu/cases/6373

Forschung fr Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

Inhabitat design will save the world

inhabitat.com/green-lighthouse-denmarks-first-carbon-neutral-building-completed/

Sustainable Cities

[sustainablecities.dk/en/city-projects/cases/copenhagen-lighting-the-way-in-low-energy- construction](http://sustainablecities.dk/en/city-projects/cases/copenhagen-lighting-the-way-in-low-energy-construction)

University of Copenhagen

greenlighthouse.ku.dk/english

Lisnet

www.lisnet.com

Velfac

www.velfac.dk/Erhverv/Green_Light_House

Velux

www.velux.com/sustainable_living/model_home_2020/green_lighthouse

Caso studio 21 – Stabilimento Solvis, Braunschweig

Libri:

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutrality in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Articoli:

Banz + Riecks, *Stabilimento Solvis a Braunschweig*, Edicom Edizioni, L'Architettura Naturale n°23, 2004;

E. Musall, et.al., Net Zero Solar Buildings: An Overview and Analysis on Worldwide Projects, *In the Proceedings of EuroSun 2010*, Marzo 2010;

Sitografia:

Bine Informationsdienst

www.bine.info/hauptnavigation/publikationen/projektinfos/publikation/mit-der-sonne-arbeiten/?subpageof=&artikel=679

Das Internetportal zur Sonnenenergie

www.solarserver.de/solarmagazin/anlageseptember2002.html

Forschung für Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/neubau/projekt/details/nullemissionsfabrik-solvis/

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme

www.ise.fraunhofer.de

Klimaschutzstiftung

www.klimastiftung-thueringen.de/fileadmin/media/Tagung/FT_2010-06-17/2010_Musall.pdf

Miniwatt

www.miniwatt.it/mwprojects/Solvis.pdf

SolarBau

www.archiv.solarbau.de/monitor/doku/proj14/dokuproj/solvis-otti-2002.pdf

www.solares-bauen.de/projekte/

Caso studio 22 – Quartier generale WWF, Zeist

Libri:

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutrality in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Articoli:

E. Formenti, *Impatto zero*, Edifici ed energia, 2008;

E. Musall, et.al., Net Zero Solar Buildings: An Overview and Analysis on Worldwide Projects, *In the Proceedings of EuroSun 2010*, Marzo 2010;

Sitografia:

Costruire in laterizio

C. Piferi, *Il quartiere generale del WWF a Zeist Olanda*, 2010; www.laterizio.it/costruire/_pdf/n125/125_10_15.pdf

Inhabitat

www.inhabitat.com/world-wildlife-fund-builds-carbon-neutral-headquarters/#more-32369

Mi modern Architecture

www.mimoo.eu/projects/Netherlands/Zeist/World+Wildlife+Fund

RAU Architekt

www.rau.nl/

Caso studio 23 – Naturalia-Bau, Merano

Articoli:

C. Dal Vero, Zero emissioni, il primo edificio commerciale ad emissioni zero, Tesi del Master Casa Clima, Libera Università di Bolzano, 2008;
Napolitano, R. Lollini, S. Avesani, W. Sparber, “Un caso studio del concetto Net Zero Energy Building”, *47° AICARR International Conference*, Tivoli Roma, Ottobre 2009;

Sitografia:

Archi.info

www.archinfo.it/autarchia-energetica/0,1254,53_ART_3432,00.html

CasaClima

www.agenziacasaclima.it/it/agenzia-casaclima/chi-siamo/casaclima-awards-naturalia-bau/354-6752.html

Edilportale

www.edilportale.com/aziende/naturalia-bau_7659.html

Tis Innovation park

www.tis.bz.it/doc-bereiche/sim_doc/pdf/eurac-lollini

Caso studio 24 – Blaue Heimat, Heidelberg

Libri:

Karsten Voss, Eike Musall, *Net zero Energy building. International projects of carbon neutrality in buildings*, EnOB, Ottobre 2011;

Articoli:

E. Musall, et.al., Net Zero Solar Buildings: An Overview and Analysis on Worldwide Projects, *In the Proceedings of EuroSun 2010*, Marzo 2010;

Siti internet:

BINE Energieforschung für die Praxis

www.energie-projekte.de/start.php?/projekt.php?action=show&id=354

Gerstner Architekten

www.gerstner-architekten.de/

International Energy Agency

www.iea-shc.org/publications/downloads/task37-Heidelberg.pdf

Solares Bauen

www.solares-bauen.de/projekte/

Stadt Heidelberg

www.heidelberg.de/servlet/PB/menu/1176268/index.html

Recast Urumqui

www.urunqui_drylandmegacity.uni-hd.de

Werkstatt Stadt

www.werkstatt-stadt.de/de/projekte/185/

Zero Haus

www.zero-haus.de/blaue-heimat.html

Caso studio 25 – Edificio residenziale prototipo SOLTAG, Hørsholm

Libri:

Mary Guzowsky, *Architettura a zero emissioni. Verso un futuro ad energia solare*, Logos, Modena, 2010;

Articoli:

Mary Guzowsky, The essential role of integrated daylighting and solar design in the quest for zero-energy carbon-neutral housing, *Eurosun 2010 Paper*, Marzo 2010;

Sitografia:

Architettura per costruire

architetturaxcostruire.lacasagiusta.it/soltag-energy-housing-tetto-solare/

Eco Building Club

www.ecobuilding-club.net/downloads/D/Soltag,%20Demonstration%20Project%20Brochure.pdf

Energy Solution for better buildings

www.buildup.eu/cases/6634

Forschung fr Energieoptimiertes Bauen

www.enob.info/de/nullenergie-plusenergie-klimaneutrale-gebaeude-im-stromnetz-20/nullenergiegebaeude-karte-internationaler-projekte/

Intelligent Energy Europe

www.sure-fit.eu

Passivhus Norden

www.passivhusnorden.com

Soltag

www.soltag.net

Velux

www.velux.com/Sustainable_living/Other_cases/Soltag

www.velux.com/Sustainable_living/Energy_efficiency/energy_balance/

Quinto capitolo

- C. Allione, C. Lanzavecchia, *Dall'ecolodesign all'architettura*, Time and Mind Press, Torino, 2008;
- A. Campioli, M. Lavagna, *Raccomandazioni per la progettazione di edifici energeticamente efficienti*, Faenza, 2009;
- M. Capolla, *La Casa energetica. Indicazioni e idee per progettare la casa a consumo zero*, Maggiolo Editore, Repubblica di San Marino, 2009;
- F. Cappello, S. Maiolatesi, L. Montesi, *Impianti fotovoltaici e conto energia*, EPC LIBRI, Italia, 2010;
- G. Dall'O, A. Galante, *Efficienza energetica e rinnovabili nel regolamento edilizio comunale. Programmazione, controllo e gestione di uno strumento operativo per la pianificazione sostenibile del territorio*, Edizioni Ambiente, Milano, 2009;
- G. Fiorense, *Biomasse per l'energia: aspetti ecologici, energetic ed economici*, Tesi di dottorato in ecologia, Università degli Studi di Parma, 2007;
- Monica Lavagna, *Life Cycle Assessment in edilizia. Progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milano, 2008;
- V. Manfrida, *Fotovoltaico ed Energy Pay Back Time. Valutazione del tempo di ritorno energetico ed economic di un impianto fotovoltaico applicato ad un caso studio*, tesi di laurea triennale al Politecnico di Milano, 2008;
- M. Spagnolo, *Efficienza energetica nella progettazione. Energie rinnovabili. Bioclimatica. Nuove tecnologie. Normativa*, Dei Tipografia del genio civile, Roma, 2007;
- Thomas Stark, *Energie in: Energizing Architecture, Design and Photovoltaic*, Claudia Lüling (Hrsg), jovis Velag, 2009;
- B. Weller, et al., *Photovoltaics. Technology, architecture, installation*, Edition Detail, Germania, 2010;

Articoli:

- AA.VV., *Il trasporto navale, la logistica delle merci*, Corso di sistemi ed economia dei trasporti, Politecnico di Milano, 2009;
- E.A. Alsema, M.J. De Wild-Scholten, *Environmental impacts of PV electricity generation – A critical comparison of energy supply options*, 21th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Dresden, Germania, Settembre 2006;
- I. Meroni, P. Zampiero, R. Lollini, *Sostenibilità ambientale degli edifici. Metodi e strumenti di valutazione*, 2007;

Sitografia:

Ecoinvent

www.ecoinvent.ch

Europe's Energy Portal

www.energy.eu/

FITA - Federation of International Trade Association

www.fita.org/countries/index.html

ITACA Istituto per l'Innovazione e Trasparenza degli appalti e la Compatibilità Ambientale

www.itaca.org

L.E.A. Innovazione

www.leainnovazione.it