



POLITECNICO DI MILANO
Scuola di Architettura e Società

Laurea Magistrale
Corso di Architettura

**Individuazione degli scenari di intervento ottimali
in funzione dei costi per la riqualificazione energetica
degli edifici esistenti**

Candidata
Ilaria Bistrattin

Relatore
Prof. Ing. Claudio Del Pero

Aprile 2015

INDICE

ABSTRACT	31
ABSTRACT (english text)	33
1 - INTRODUZIONE	35
2 - EXCURSUS DEI QUADRI NORMATIVI	37
2.1 - Il quadro normativo europeo	37
2.2 - Il quadro normativo italiano	44
2.2.1 - <i>Normativa in materia di detrazioni fiscali per la riqualificazione degli edifici</i>	47
2.3 - Il quadro normativo regionale: la Lombardia	49
3 - IL PATRIMONIO EDILIZIO ITALIANO: LA CRISI DEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI E LA CRESCITA DELLA RIQUALIFICAZIONE DELL'ESISTENTE	53
3.1 - I requisiti minimi da rispettare in Lombardia	56
3.1.1 - <i>Requisiti di involucro</i>	57
3.1.1.1 - <i>Verifica termo-igrometrica</i>	57
3.1.1.2 - <i>Verifica della trasmittanza limite</i>	58
3.1.1.3 - <i>I sistemi schermanti</i>	59
3.1.2 - <i>Requisiti di impianto</i>	60
3.1.2.1 - <i>Verifica dell'efficienza globale media</i>	

stagionale degli impianti termici	60	ENERGETICA	93
3.1.2.2 - <i>Obbligo di installazione di dispositivi di regolazione automatica della temperatura</i>	61	5.1 - <i>Gli interventi sull'involucro</i>	94
3.1.2.3 - <i>Obbligo di installazione di fonti energetiche rinnovabili</i>	62	5.1.1 - <i>Gli interventi sugli elementi opachi</i>	94
3.1.2.4 - <i>Obbligo di installazione di dispositivi di contabilizzazione del calore</i>	63	5.1.2 - <i>Gli interventi sugli elementi trasparenti</i>	98
3.1.2.5 - <i>Predisposizione per il collegamento alle reti di teleriscaldamento</i>	63	5.1.3 - <i>L'installazione di elementi schermanti</i>	98
3.1.3 - <i>Requisiti del sistema edificio-impianto</i>	64	5.1.3.1 - <i>Le schermature esterne fisse</i>	99
3.1.3.1 - <i>Verifica dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale o il riscaldamento</i>	64	5.1.3.1.1 - <i>Le schermature fisse orizzontali</i>	100
4 - LA COST-OPTIMALITY	67	5.1.3.1.2 - <i>Le schermature fisse verticali</i>	101
4.1 - <i>I livelli di prestazione energetica ottimale in funzione dei costi</i>	69	5.1.3.1.3 - <i>Le schermature fisse combinate orizzontali e verticali</i>	101
4.2 - <i>Calcolo del costo globale</i>	71	5.1.3.2 - <i>Le schermature esterne mobili</i>	102
4.2.1 - <i>Il periodo di calcolo</i>	73	5.1.3.2.1 - <i>Le schermature mobili orizzontali</i>	102
4.2.2 - <i>Il tasso di attualizzazione</i>	75	5.1.3.2.2 - <i>Le schermature mobili verticali</i>	103
4.2.3 - <i>Le voci di costo</i>	76	5.1.3.3 - <i>Le schermature esterne verdi</i>	104
4.2.4 - <i>La prospettiva finanziaria e la prospettiva macroeconomica</i>	77	5.2 - <i>Gli interventi sugli impianti</i>	104
4.3 - <i>Gli edifici di riferimento</i>	78	5.2.1 - <i>Gli interventi sull'impianto di riscaldamento</i>	105
4.3.1 - <i>Il progetto ASIEPI</i>	83	5.2.2 - <i>Gli interventi sull'impianto per la produzione di acqua calda sanitaria</i>	107
4.3.2 - <i>Il progetto TABULA</i>	83	5.2.3 - <i>Gli interventi sull'impianto di raffrescamento</i>	108
4.3.3 - <i>Il progetto EPISCOPE</i>	84	5.2.4 - <i>Gli interventi sull'impianto di ventilazione</i>	108
4.4 - <i>Gli edifici di riferimento italiani</i>	86	5.2.5 - <i>Gli interventi sull'impianto di illuminazione</i>	109
5 - GLI INTERVENTI PER LA RIQUALIFICAZIONE		5.2.6 - <i>Installazione di sistemi per il controllo e l'automazione</i>	109
		5.2.7 - <i>L'utilizzo di fonti rinnovabili</i>	112
		6 - PROGETTO: RIQUALIFICAZIONE DI UN CONDOMINIO SITO A MILANO	115
		6.1 - <i>Inquadramento generale</i>	115

6.1.1 - <i>Gli elementi opachi</i>	120
6.1.2 - <i>Gli elementi trasparenti</i>	124
6.1.3 - <i>L'impiantistica</i>	152
6.2 - La modellazione dell'edificio: il fabbisogno di energia ed i consumi allo stato di fatto elaborati con BESTEnergy	154
6.3 - La diagnosi energetica	158
6.4 - Gli interventi per l'efficienza energetica	158
6.4.1 - <i>Scenario interventi tipologia 1</i>	160
6.4.2 - <i>Scenario interventi tipologia 2</i>	165
6.4.3 - <i>Scenario interventi tipologia 3</i>	170
6.4.4 - <i>Scenario interventi tipologia 4</i>	175
6.4.5 - <i>Scenario interventi tipologia 5</i>	180
6.4.6 - <i>Scenario interventi tipologia 6</i>	185
6.4.7 - <i>Il periodo di calcolo</i>	190
6.4.8 - <i>Il calcolo del Valore Attuale Netto (VAN)</i>	190
6.4.9 - <i>Precisazioni sulla redazione delle caratteristiche tecnico-economiche</i>	194
6.5 - Il reference building	196
6.6 - I risultati del caso studio secondo la metodologia del Regolamento n. 244/2012	200
6.7 - I risultati del caso studio secondo la metodologia del Regolamento n. 244/2012 considerando le detrazioni fiscali del 50% e del 65%	203
6.8 - Conclusioni	211

Riferimenti legislativi europei	213
Riferimenti legislativi italiani	214
Riferimenti legislativi regione Lombardia	216
Pubblicazioni	217

SITOGRAFIA

218

BIBLIOGRAFIA

213

INDICE DELLE FIGURE

Fig. 1: <i>classificazione delle zone climatiche nazionali rispetto ai gradi giorno</i>	87
Fig. 2: <i>esempi di copertura piana praticabile - tipologia A e tipologia B</i>	97
Fig. 3: <i>esempi di copertura a falde inclinate con sottotetto non abitabile - tipologia C e tipologia D</i>	97
Fig. 4: <i>ortofoto del condominio tra via Don Rodrigo e via Fra Cristoforo</i>	115
Fig. 5: <i>panoramica del condominio tra via Don Rodrigo e via Fra Cristoforo</i>	115
Fig. 6: <i>planimetria del 1° piano fuori terra del condominio tra via Don Rodrigo e via Fra Cristoforo</i>	116
Fig. 7: <i>planimetria dal 2° al 16° piano fuori terra del condominio tra via Don Rodrigo e via Fra Cristoforo</i>	117
Fig. 8: <i>planimetria del 17° al 18° piano fuori terra del condominio tra via Don Rodrigo e via Fra Cristoforo</i>	117
Fig. 9: <i>foto del fronte nord</i>	118
Fig. 10: <i>foto del fronte nord/est</i>	118
Fig. 11: <i>foto del fronte ovest</i>	118
Fig. 12: <i>foto del fronte sud/ovest</i>	118

Fig. 13: <i>sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco verticale di tamponamento</i>	120	Fig. 26: <i>serramento: tipologia G - finestra scorrevole</i>	132
Fig. 14: <i>sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che caratterizza la copertura al 18° p.f.t.</i>	121	Fig. 27: <i>serramento: tipologia H - finestra scorrevole</i>	133
Fig. 15: <i>sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo</i>	122	Fig. 28: <i>serramento: tipologia I - finestra scorrevole</i>	134
Fig. 16: <i>foto della tipologia di serramento in alluminio che caratterizza il condominio</i>	124	Fig. 29: <i>serramento: tipologia L - finestra scorrevole</i>	135
Fig. 17: <i>foto della tipologia di serramento in alluminio che caratterizza il condominio</i>	124	Fig. 30: <i>serramento: tipologia M - finestra a vasistas</i>	136
Fig. 18: <i>foto della tipologia di serramento in alluminio che caratterizza il condominio</i>	124	Fig. 31: <i>serramento: tipologia N - finestra scorrevole con parte fissa</i>	137
Fig. 19: <i>foto della tipologia di serramento in alluminio che caratterizza il condominio</i>	124	Fig. 32: <i>serramento: tipologia O - finestra scorrevole</i>	138
Fig. 20: <i>serramento: tipologia A - porta finestra a battente</i>	126	Fig. 33: <i>serramento: tipologia P - finestra scorrevole e finestra fissa</i>	139
Fig. 21: <i>serramento: tipologia B - porta finestra a battente e finestra fissa</i>	127	Fig. 34: <i>serramento: tipologia Q - finestra fissa</i>	140
Fig. 22: <i>serramento: tipologia C - porta finestra a battente</i>	128	Fig. 35: <i>serramento: tipologia R - finestra scorrevole con parte fissa</i>	141
Fig. 23: <i>serramento: tipologia D - porta finestra a battente con parte fissa</i>	129	Fig. 36: <i>serramento: tipologia S - porta finestra a battente con parte fissa</i>	142
Fig. 24: <i>serramento: tipologia E - porta finestra a battente</i>	130	Fig. 37: <i>serramento: tipologia T - porta finestra fissa</i>	143
Fig. 25: <i>serramento: tipologia F - porta finestra a battente</i>	131	Fig. 38: <i>serramento: tipologia U - finestra scorrevole</i>	144
		Fig. 39: <i>serramento: tipologia V - finestra a battente con parti fisse</i>	145
		Fig. 40: <i>serramento vetrina: tipologia I - vetrina fissa con spazio insegna</i>	146

Fig. 41: serramento vetrina: tipologia 2 - vetrina a battente con parte superiore fissa e spazio insegna	147	scenario interventi tipologia 1	161
Fig. 42: serramento vetrina: tipologia 3 - vetrina fissa con spazio insegna	148	Fig. 54: sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 1	161
Fig. 43: serramento vetrina: tipologia 4 - vetrina a battente con parte superiore fissa e spazio insegna	149	Fig. 55: sezione dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 1	162
Fig. 44: serramento vetrina: tipologia 5 - vetrina fissa con spazio insegna	150	Fig. 56: sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 2	165
Fig. 45: serramento vetrina: tipologia 6 - vetrina con parti fisse, porta a battente e spazio insegna	151	Fig. 57: sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 2	166
Fig. 46: foto dei cassonetti esistenti	152	Fig. 58: sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 2	166
Fig. 47: foto dei cassonetti esistenti	152	Fig. 59: sezione dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 2	167
Fig. 48: modello creato con il software BESTenergy	154	Fig. 60: sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 3	170
Fig. 49: planimetria delle zone termiche che caratterizzano l'edificio al 1° p.f.t.	155	Fig. 61: sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 3	171
Fig. 50: planimetria delle zone termiche che caratterizzano l'edificio dal 2° p.f.t. al 16° p.f.t.	155	Fig. 62: sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1°	
Fig. 51: planimetria delle zone termiche che caratterizzano l'edificio dal 17° p.f.t. al 18° p.f.t.	156		
Fig. 52: sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 1	160		
Fig. 53: sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto			

<i>p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 3</i>	171	<i>scenario interventi tipologia 5</i>	182
Fig. 63: <i>sezione dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 3</i>	172	Fig. 72: <i>sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 6</i>	185
Fig. 64: <i>sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 4</i>	175	Fig. 73: <i>sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 6</i>	186
Fig. 65: <i>sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 4</i>	176	Fig. 74: <i>sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 6</i>	186
Fig. 66: <i>sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 4</i>	176	Fig. 75: <i>sezione dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 6</i>	187
Fig. 67: <i>sezione dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 4</i>	177	Fig. 76: <i>foto del degrado dell'intonaco esterno</i>	195
Fig. 68: <i>sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 5</i>	180	Fig. 77: <i>foto del degrado dell'intonaco esterno</i>	195
Fig. 69: <i>sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 5</i>	181		
Fig. 70: <i>sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 5</i>	181		
Fig. 71: <i>sezione dell'elemento trasparente - stato di progetto</i>			

INDICE DELLE TABELLE

Tab. 1: <i>sviluppo della potenza disponibile nell'Unione Europea - anno 2000 ed anno 2012</i>	42
Tab. 2: <i>controlli richiesti dal DGR VIII/8745</i>	50
Tab. 3: <i>valori limite di trasmittanza termica espressi in W/m^2K</i>	59
Tab. 4: <i>valori dell'efficienza globale</i>	61
Tab. 5: <i>valori limite di E_{ph} per gli edifici con destinazione d'uso residenziale, espressi in kWh/m^2 annuo</i>	65
Tab. 6: <i>valori limite di E_{ph} per gli edifici con destinazione d'uso diversa da quella residenziale, espressi in kWh/m^2 annuo</i>	65
Tab. 7: <i>valori limite delle classi energetiche per gli edifici con destinazione d'uso residenziale espressi in kWh/m^2 annuo</i>	65
Tab. 8: <i>matrice della tipologia edilizia di riferimento sviluppata per la zona climatica media (zona climatica E)</i>	89
Tab. 9: <i>vantaggi e svantaggi delle tre principali tecniche di isolamento</i>	96
Tab. 10: <i>parametri prestazionali dei nuovi generatori di calore per il riscaldamento</i>	106
Tab. 11: <i>parametri prestazionali dei nuovi generatori di calore per impianto di ACS</i>	107
Tab. 12: <i> differenze di consumo tra lampade ad incandescenza</i>	

<i>tradizionali e lampade fluorescenti compatte</i>	109	Tab. 27: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. D</i>	129
Tab. 13: <i>caratteristiche geometriche dell'edificio oggetto di studio</i>	119	Tab. 28: <i>dati geometrici del serramento tipologia E</i>	130
Tab. 14: <i>caratteristiche della stratigrafia dell'elemento opaco verticale di tamponamento</i>	120	Tab. 29: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. E</i>	130
Tab. 15: <i>caratteristiche della stratigrafia dell'elemento opaco orizzontale che caratterizza la copertura al 18° p.f.t.</i>	121	Tab. 30: <i>dati geometrici del serramento tipologia F</i>	131
Tab. 16: <i>caratteristiche della stratigrafia dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo</i>	122	Tab. 31: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. F</i>	131
Tab. 17: <i>valori dei coefficienti liminari rispetto alla tipologia di involucro</i>	123	Tab. 32: <i>dati geometrici del serramento tipologia G</i>	132
Tab. 18: <i>valori di trasmittanza termica U_g per alcuni tipi di vetro - tabella 10.5 presente nella UNI TS/11300-1</i>	125	Tab. 33: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. G</i>	132
Tab. 19: <i>valori di trasmittanza termica U_t per alcuni tipi di telaio - tabella 10.6 presente nella UNI TS/11300-1</i>	125	Tab. 34: <i>dati geometrici del serramento tipologia H</i>	133
Tab. 20: <i>dati geometrici del serramento tipologia A</i>	126	Tab. 35: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. H</i>	133
Tab. 21: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. A</i>	126	Tab. 36: <i>dati geometrici del serramento tipologia I</i>	134
Tab. 22: <i>dati geometrici del serramento tipologia B</i>	127	Tab. 37: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. I</i>	134
Tab. 23: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. B</i>	127	Tab. 38: <i>dati geometrici del serramento tipologia L</i>	135
Tab. 24: <i>dati geometrici del serramento tipologia C</i>	128	Tab. 39: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. L</i>	135
Tab. 25: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. C</i>	128	Tab. 40: <i>dati geometrici del serramento tipologia M</i>	136
Tab. 26: <i>dati geometrici del serramento tipologia D</i>	129	Tab. 41: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. M</i>	136
		Tab. 42: <i>dati geometrici del serramento tipologia N</i>	137
		Tab. 43: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. N</i>	137
		Tab. 44: <i>dati geometrici del serramento tipologia O</i>	138

Tab. 45: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. O</i>	138	Tab. 63: <i>valori delle trasmittanze termiche del vetrina tip. 2</i>	147
Tab. 46: <i>dati geometrici del serramento tipologia P</i>	139	Tab. 64: <i>dati geometrici del serramento vetrina tipologia 3</i>	148
Tab. 47: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. P</i>	139	Tab. 65: <i>valori delle trasmittanze termiche del vetrina tip. 3</i>	148
Tab. 48: <i>dati geometrici del serramento tipologia Q</i>	140	Tab. 66: <i>dati geometrici del serramento vetrina tipologia 4</i>	149
Tab. 49: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. Q</i>	140	Tab. 67: <i>valori delle trasmittanze termiche del vetrina tip. 4</i>	149
Tab. 50: <i>dati geometrici del serramento tipologia R</i>	141	Tab. 68: <i>dati geometrici del serramento vetrina tipologia 5</i>	150
Tab. 51: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. R</i>	141	Tab. 69: <i>valori delle trasmittanze termiche del vetrina tip. 5</i>	150
Tab. 52: <i>dati geometrici del serramento tipologia S</i>	142	Tab. 70: <i>dati geometrici del serramento vetrina tipologia 6</i>	151
Tab. 53: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. S</i>	142	Tab. 71: <i>valori delle trasmittanze termiche del vetrina tip. 6</i>	151
Tab. 54: <i>dati geometrici del serramento tipologia T</i>	143	Tab. 72: <i>caratteristiche tecnico-economiche del condominio di via Don Rodrigo allo stato di fatto</i>	157
Tab. 55: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. T</i>	143	Tab. 73: <i>ipotesi di intervento per l'efficienza energetica del condominio di via Don Rodrigo</i>	159
Tab. 56: <i>dati geometrici del serramento tipologia U</i>	144	Tab. 74: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento opaco verticale - stato di progetto scenario tipologia 1</i>	160
Tab. 57: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. U</i>	144	Tab. 75: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 1</i>	161
Tab. 58: <i>dati geometrici del serramento tipologia V</i>	145	Tab. 76: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotter-</i>	
Tab. 59: <i>valori delle trasmittanze termiche del serramento tip. V</i>	145		
Tab. 60: <i>dati geometrici del serramento vetrina tipologia 1</i>	146		
Tab. 61: <i>valori delle trasmittanze termiche del vetrina tip. 1</i>	146		
Tab. 62: <i>dati geometrici del serramento vetrina tipologia 2</i>	147		

<i>raneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 1</i>	162	<i>orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 3</i>	171
Tab. 77: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 1</i>	163	Tab. 86: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 3</i>	172
Tab. 78: <i>caratteristiche tecnico-economiche - scenario interventi tipologia 1</i>	164	Tab. 87: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 3</i>	173
Tab. 79: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento opaco verticale - stato di progetto scenario tipologia 2</i>	165	Tab. 88: <i>caratteristiche tecnico-economiche - scenario interventi tipologia 3</i>	174
Tab. 80: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 2</i>	166	Tab. 89: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento opaco verticale - stato di progetto scenario tipologia 4</i>	175
Tab. 81: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 2</i>	167	Tab. 90: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 4</i>	176
Tab. 82: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 2</i>	168	Tab. 91: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 4</i>	177
Tab. 83: <i>caratteristiche tecnico-economiche - scenario interventi tipologia 2</i>	169	Tab. 92: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 4</i>	178
Tab. 84: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento opaco verticale - stato di progetto scenario tipologia 3</i>	170	Tab. 93: <i>caratteristiche tecnico-economiche - scenario interventi tipologia 4</i>	179
Tab. 85: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco</i>			

Tab. 94: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento opaco verticale - stato di progetto scenario tipologia 5</i>	180	<i>dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 6</i>	188
Tab. 95: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 5</i>	181	Tab. 103: <i>caratteristiche tecnico-economiche - scenario interventi tipologia 6</i>	189
Tab. 96: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 5</i>	182	Tab. 104: <i>calcolo del costo totale (VAN) e dei flussi di cassa attualizzati - tasso di attualizzazione 3%</i>	191
Tab. 97: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 5</i>	183	Tab. 105: <i>calcolo del costo totale (VAN) e dei flussi di cassa attualizzati - tasso di attualizzazione 4%</i>	192
Tab. 98: <i>caratteristiche tecnico-economiche - scenario interventi tipologia 5</i>	184	Tab. 105: <i>calcolo del costo totale (VAN) e dei flussi di cassa attualizzati - tasso di attualizzazione 5%</i>	193
Tab. 99: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento opaco verticale - stato di progetto scenario tipologia 6</i>	185	Tab. 107: <i>riassunto dei risultati tecnico-economici</i>	200
Tab. 100: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 6</i>	186	Tab. 108: <i>trasmittanze limite per le detrazioni fiscali del 65%</i>	203
Tab. 101: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 6</i>	187	Tab. 109: <i>riassunto dei costi globali caratterizzati dalle detrazioni del 50% e del 65%</i>	204
Tab. 102: <i>caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica</i>		Tab. 110: <i>calcolo del costo totale (VAN) e dei flussi di cassa attualizzati - tasso di attualizzazione 3%</i>	205
		Tab. 111: <i>calcolo del costo totale (VAN) e dei flussi di cassa attualizzati - tasso di attualizzazione 4%</i>	206
		Tab. 112: <i>calcolo del costo totale (VAN) e dei flussi di cassa attualizzati - tasso di attualizzazione 5%</i>	207
		Tab. 113: <i>riassunto dei risultati tecnico-economici</i>	208

INDICE DEI GRAFICI

Graf. 1: <i>tassi di dipendenza energetica dei paesi dell'Unione Europea</i>	38
Graf. 2: <i>potenziale di risparmio energetico nel settore edilizio diviso in tipologie di utilizzo</i>	40
Graf. 3: <i>investimenti sulle abitazioni dal 2002 al 2012 - manutenzione straordinaria, interventi totali e nuova costruzione</i>	53
Graf. 4: <i>consumi finali di energia divisi per utilizzo nel settore civile e nel settore industriale</i>	54
Graf. 5: <i>perdita di valore di un immobile rispetto all'assenza di manutenzione, alla manutenzione semplice ed alla riqualificazione energetica</i>	56
Graf. 6: <i>fasi di attuazione della metodologia del cost-optimality</i>	68
Graf. 7: <i>categorie dei costi che caratterizzano il totale del costo globale</i>	70
Graf. 8: <i>determinazione dell'intervallo di prestazione energetica ottimale in funzione dei costi - esempio 6 tipologie di intervento</i>	71
Graf. 9: <i>valutazione del valore finale di una misura rispetto al periodo di calcolo ed alla vita utile della misura presa in considerazione</i>	73
Graf. 10: <i>valutazione del costo di sostituzione di una misura</i>	

<i>rispetto al periodo di calcolo ed alla vita utile della misura presa in considerazione</i>	74	Graf. 20: <i>determinazione degli scenari di interventi di prestazione energetica ottimale in funzione dei costi del consominio in via Don Rodrigo a Milano considerando le detrazioni fiscali del 50% e del 65%</i>	208
Graf. 11: <i>valutazione del valore finale nel caso di sostituzione di una misura rispetto al periodo di calcolo ed alla vita utile della misura presa in considerazione</i>	74	Graf. 21: <i>calcolo del tempo di ritorno con le detrazioni fiscali del 50% e del 65%</i>	210
Graf. 12: <i>attualizzazione nel costo di smaltimento rispetto al periodo di calcolo ed alla vita utile della misura presa in considerazione</i>	75		
Graf. 13: <i>sottosistemi di informazioni di un edificio di riferimento: funzione, forma, sistema impiantistico e involucro edilizio</i>	82		
Graf. 14: <i>sistema a circolo continuo delle azioni pilota per il monitoraggio ed il miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici</i>	85		
Graf. 15: <i>percentuali di consumo energetico nel settore edilizio divise per le principali tipologie di utilizzo quotidiano</i>	93		
Graf. 16: <i>percentuali di perdite attraverso gli elementi di involucro edilizio presenti nella maggiore percentuale del patrimonio edilizio</i>	93		
Graf. 17: <i>impiantistica dell'edificio oggetto di studio - i sistemi per il riscaldamento degli ambienti e la produzione di acqua calda sanitaria</i>	153		
Graf. 18: <i>determinazione degli scenari di interventi di prestazione energetica ottimale in funzione dei costi del consominio in via Don Rodrigo a Milano</i>	200		
Graf. 19: <i>calcolo del tempo di ritorno</i>	192		

INDICE DEGLI ALLEGATI

Tav. 1: *planimetria contestualizzata del 1° p.f.t.*

Tab. 2: *planimetria dal 2° al 16° p.f.t.*

Tab. 3: *planimetria dal 17° al 18° p.f.t.*

Tab. 4: *planimetria dell'individualizzazione dei serramenti*

Tab. 5: *planimetria dell'individuazione dei pacchetti tecnologici e stratigrafie*

ABSTRACT

Si è notevolmente intensificata la consapevolezza della forte dipendenza energetica del nostro Paese e dell'instabilità in termini di sicurezza economica che ne deriva.

Le continue importazioni per il soddisfacimento dei bisogni energetici rappresentano una delle principali criticità dell'Unione Europea.

Altra criticità è indubbiamente quella del crescente inquinamento dato dalle continue emissioni di CO₂.

Un edificio è un sistema il cui uso induce impatti a livello energetico, economico e ambientale sia a scala locale che a scala globale. La limitazione di questi impatti si inserisce in uno degli argomenti più attuali in ambito dell'architettura: la riqualificazione energetica.

La riqualificazione energetica permette di migliorare le prestazioni degli edifici esistenti realizzando risultati positivi a livello ambientale tramite la diminuzione delle emissioni di CO₂, a livello economico tramite la diminuzione delle dispersioni ed a livello di sicurezza del Paese che riesce a divenire meno dipendente in termini energetici e quindi più sicuro.

Nel presente elaborato viene presentato il caso studio di un condominio sito in via Don Rodrigo a Milano, caratterizzato dalla riqualificazione energetica.

I molteplici interventi sono studiati in modo tale da rispettare i limiti dettati dalla normativa.

Le combinazioni tra i diversi interventi hanno creato molteplici scenari che permettono di verificare la tipologia di scenario di interventi più efficace in termini di costi e benefici.

La verifica è sviluppata seguendo il quadro metodologico comparativo per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi così come definito dal *Regolamento Delegato (UE) n. 244/2012 della Commissione del 16 gennaio 2012* che integra la *direttiva 2010/31/UE (EPBD recast)* del Parlamento Europeo. La normativa chiede di valutare, non solo i risparmi ottenibili nei consumi energetici dell'edificio, ma anche la fattibilità economica degli investimenti durante un ciclo di vita stimato.

1 - INTRODUZIONE

Negli anni i quadri normativi riguardanti la riduzione del consumo energetico, di utilizzo di fonti rinnovabili nel settore dell'edilizia e di riduzione delle emissioni di gas effetto serra, sono divenuti sempre più rigidi e caratterizzati da obiettivi sempre più precisi.

Nelle *EPBD e EPBD recast* si promuovono obiettivi importanti inerenti il rendimento energetico degli edifici e si introduce il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica (metodologia definita dal *Regolamento 244/12*).

Il parco edilizio nazionale è costituito da edifici energeticamente inefficienti per l'89% costruiti secondo le leggi 373/76 e 10/91.

Riqualificare anche una minima parte dei 10 milioni di edifici costruiti prima del 1991 porterebbe vantaggi per l'ambiente, per la qualità della vita, e per la sicurezza sia del singolo utente che del paese che potrebbe svincolarsi più facilmente dai Paesi fornitori di energia.

In parallelo, la riqualificazione energetica porterebbe, inoltre, importanti vantaggi economici nel settore dell'edilizia, che come ormai risaputo, è stato fortemente colpito dalla crisi economica che ha danneggiato il settore delle costruzioni.

La riqualificazione degli immobili esistenti diventa quindi settore trainante per il risparmio energetico e per l'economia.

Il caso studio descritto, si concentra sugli interventi per il miglioramento delle prestazioni energetiche del condominio situato in via Don Rodrigo a Milano. Lo studio viene eseguito seguendo la metodologia definita dal *Regolamento 244/12*.

Col fine di prendere in considerazione l'interazione tra i differenti interventi in modo tale da creare sinergie volte ad ottenere i risultati migliori in termini di costi e prestazioni energetiche, sono state definite molteplici varianti di intervento combinate tra di loro. Le combinazioni sono state create seguendo molteplici scenari creati rispettando i limiti prestazionali dettati dalla normativa vigente.

La comparazione effettuata attraverso l'analisi costi-benefici delle differenti misure di efficienza che caratterizzano i vari scenari, evidenzia lo scenario che più rappresenta gli interventi migliori.

2 – EXCURSUS DEI QUADRI NORMATIVI

2.1 – Il quadro normativo europeo

Gli obiettivi di risparmio energetico previsti dal *Protocollo di Kyoto* del 1997 hanno portato alla redazione di normative sempre più rigide caratterizzate da obiettivi sempre più precisi riguardanti la riduzione del consumo energetico, di utilizzo di fonti rinnovabili nel settore dell'edilizia e di riduzione delle emissioni di gas effetto serra.

I livelli di consumo e produzione globali dell'energia primaria presentano notevoli differenze nella distribuzione tra paesi.

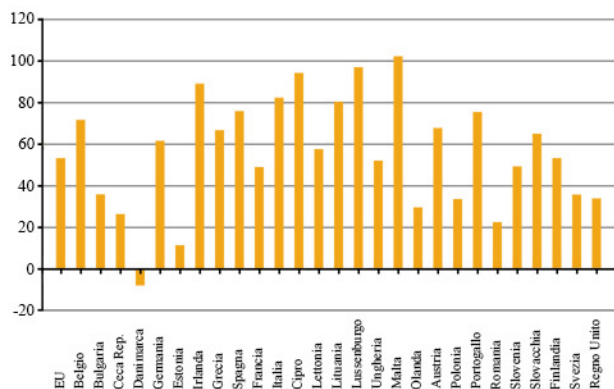
La Cina, la Russia e gli Stati Uniti superano ciascuno la produzione primaria dell'insieme dei Paesi dell'EU, pari a 835,30 milioni di tep nel 2010. Tra il 2000 e il 2010 la produzione di energia primaria totale al mondo è aumentata di circa il 26%. Nello stesso periodo la Cina ha più che raddoppiato la propria produzione, il Brasile e l'Indonesia l'hanno incrementata del 70% circa, e l'Australia, l'India e la Corea del Sud hanno registrato incrementi superiori alla media, mentre Giappone ed Unione Europea hanno registrato livelli di produzione di energia primaria nel 2010 inferiori a quelli del 2000.

Negli ultimi anni si è notevolmente intensificato il dibattito europeo sugli obiettivi e gli strumenti delle politiche energetiche. È cresciuta infatti la preoccupazione per la dipendenza e la sicurezza energetica.

La dipendenza energetica indica la necessità di ricorrere all'approvvigionamento energetico fuori dai propri confini. La sicurezza energeti-

ca, invece, è un concetto strettamente legato alla dipendenza energetica che indica la necessità di continuità nei rifornimenti energetici a prezzi sostenibili.

Le continue importazioni per il soddisfacimento dei bisogni energetici rappresentano una delle principali criticità dell'Unione Europea, legata fondamentalmente all'importazione di gas naturale e petrolio, alla quale si aggancia una seconda criticità legata al fatto che le importazioni delle risorse fossili provengono da un limitato numero di Paesi, che inoltre sono caratterizzati da un elevato profilo di rischio geopolitico.



Fonte: Eurostat 2011

Graf. 1 - tassi di dipendenza energetica dei paesi dell'Unione Europea

La dipendenza dall'estero per gli approvvigionamenti di fonti primarie impatta la qualità di un sistema energetico non solo in termini di sicurezza, ma anche sul piano della competitività del Paese in quanto la forte dipendenza da importazioni extra-UE espone i Paesi europei al rischio di possibili shock di prezzo dei combustibili, che si ripercuotono sui prezzi dell'elettricità. Inoltre, la dipendenza si ripercuote sulla sostenibilità ambientale, in quanto l'utilizzo delle fonti fossili

incide sulle emissioni dei gas serra.

Le problematiche sono prese in considerazione nella politica energetica dell'Unione Europea dove le priorità furono indicate nel *Libro verde sull'energia* pubblicato dalla Commissione europea nel 2006. Le priorità fondamentali sono:

- garantire la sicurezza degli approvvigionamenti energetici (*security of supply*);
- limitare la dipendenza dalle importazioni di idrocarburi (*competitiveness*);
- coniugare le politiche energetiche con il contrasto al cambiamento climatico (*sustainability*).

Alla luce di queste priorità il 10 gennaio 2007 la Commissione ha definito un pacchetto integrato di misure, il cosiddetto "pacchetto energia" delineato nella comunicazione dal titolo "*Una politica energetica per l'Europa*", un'analisi strategica che affronta le problematiche energetiche condivise da tutti gli Stati Membri. L'UE intende essere l'artefice di una nuova rivoluzione industriale e creare un'economia ad elevata efficienza energetica ed a basse emissioni di CO2.

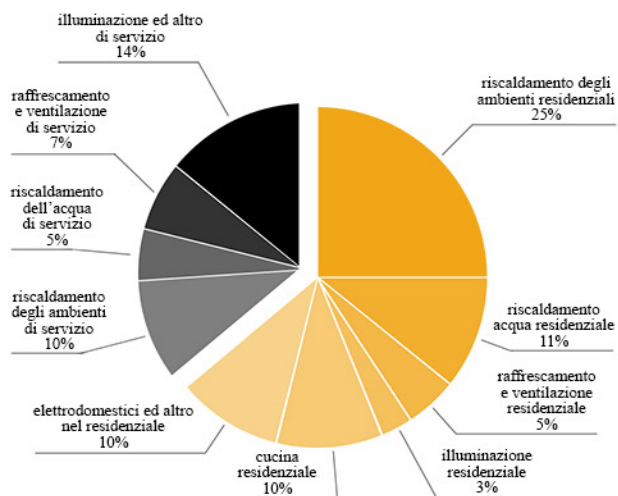
La produzione di energia attraverso risorse rinnovabili è di fondamentale importanza.

La *direttiva 2001/77/CE* è il più forte strumento legislativo a favore dello sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili nel contesto globale.

Le molteplici proposte della Commissione hanno lanciato la cosiddetta "strategia del 20-20-20 entro il 2020" già definita nella *direttiva comunitaria 2002/91/CE* relativa al "*Rendimento Energetico in Edilizia*" che vuole raggiungere i seguenti risultati:

- riduzione delle emissioni di CO2 del 20% rispetto ai livelli del 1990;
- aumento dell'efficienza energetica pari al 20%

del consumo totale di energia primaria;
 - incremento della percentuale complessiva delle energie rinnovabili, portandola a circa il 20% del consumo totale dell'UE.



Graf. 2 - potenziale di risparmio energetico del settore edilizio diviso in settori di utilizzo

Fonte: *Technology Roadmap - Energy Efficient Buildings: heating and cooling equipment*, IEA, 2011

Le disposizioni della prima direttiva europea concernente il rendimento energetico in edilizia, direttiva 2002/91/CE (EPBD – *Energy Performance of Building Directive*), riguardano l'adozione di una metodologia di calcolo del rendimento energetico a livello nazionale o regionale, l'applicazione di norme minime sul rendimento energetico agli edifici di nuova costruzione ed agli edifici in ristrutturazione, l'introduzione di un sistema di certificazione energetica degli edifici di nuova costruzione ed esistenti (Attestato di Certificazione Energetica - ACE), le misure volte a promuovere l'ispezione dei generatori di calore e dei sistemi di climatizzazione, le misure volte a promuovere l'utilizzo di fonti alternative

di energia, i criteri di accreditamento per garantire la qualifica degli esperti indipendenti chiamati ad effettuare la certificazione energetica degli edifici e l'ispezione degli impianti.

Negli anni la normativa viene continuamente aggiornata per rafforzare gli obiettivi prestabiliti.

Le fonti energetiche rinnovabili diventano grande risorsa e vivono un forte sviluppo a livello mondiale, assumendo un peso sempre maggiore nella produzione energetica, incentivato dall'appoggio di normative sempre più specifiche.

La direttiva 2001/77/CE viene sostituita dalla direttiva 2009/28/CE, un nuovo testo per la produzione di energia attraverso le risorse rinnovabili ancora più significativo e vincolante. Nell'articolo 1 si afferma che "la direttiva stabilisce un quadro comune per la promozione dell'energia da fonti rinnovabili. Fissa obiettivi nazionali obbligatori per la quota complessiva di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia e per la quota di energia da fonti rinnovabili nei trasporti. Detta norme relative ai trasferimenti statistici tra gli Stati membri, ai progetti comuni tra gli Stati membri e con i paesi terzi, alle garanzie di origine, alle procedure amministrative, all'informazione e alla formazione nonché all'accesso alla rete elettrica per l'energia da fonti rinnovabili. Fissa criteri di sostenibilità per i biocarburanti e i bioliquidi".

Grazie al continuo aggiornamento delle normative, negli ultimi anni la quota mondiale percentuale di energia prodotta tramite fonti rinnovabili è notevolmente aumentata, e si prevede che le fonti rinnovabili di energia nei prossimi 10 anni avranno una crescita senza paragoni, in modo particolare per l'eolico ed il solare.

FONTE DI ENERGIA	2000		2012	
	GW	%	GW	%
carbone	159,48	28	227,88	25
nucleare	128,47	22	120,26	13
gas	89,80	16	214,99	23
olio combustibile	66,52	12	50,55	6
idroelettrico	110,07	19	126,35	14
fotovoltaico	0,13	n.c.	68,99	7
eolico	12,89	2	106,04	11
biomasse	2,79	1	7,32	1
solare a concentrazione	0,00	0	1,89	0
rifiuti urbani rinnovabili	0,00	0	3,85	0
moto ondoso e maree	0,00	0	0,26	0
totale EU	570,14	100	928,38	100
di cui energie rinnovabili	125,87	22,07	312,81	33,69

Tab. 1 - sviluppo della potenza disponibile nell'Unione Europea - anno 2000 e anno 2012

Le disposizioni della direttiva 2002/91/CE vengono rafforzate dalla direttiva 2010/31/UE (EPBD recast) del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010 che definisce nuovi importanti obiettivi.

La direttiva promuove in primis la prestazione energetica degli edifici, delle loro parti e delle unità immobiliari utilizzando gli stessi obiettivi della direttiva precedente, ma con integrazioni fondamentali come l'adozione di una metodologia di calcolo a livello nazionale o regionale, che tiene conto delle caratteristiche termiche degli edifici, dell'impianto di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria, degli impianti di condizionamento dell'aria, dell'impianto di illuminazione, delle condizioni climatiche. Inoltre, gli Stati Membri, fissano, in conformità alla metodologia di calcolo, i requisiti minimi di prestazione energetica, distinguendo tra gli edifici esistenti, di nuova costruzione e diverse tipologie edilizie. Fondamentale è il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica e la progettazione di edifici di nuova costruzione *Nearly Energy Zero Building* entro il 31 dicembre 2020. Gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi dovranno rispettare gli stessi criteri a partire dal 31 dicembre 2018. Inoltre la direttiva definisce politiche che incentivano la riqualificazione energetica degli immobili esistenti ed istituisce un sistema di certificazione energetica degli edifici che comprende informazioni sul consumo energetico e raccomandazioni per il miglioramento della prestazione energetica in funzione dei costi.

In riferimento agli obiettivi definiti dalla strate-

gia “20-20-20 entro il 2020” la *direttiva 2012/27/UE* stabilisce un quadro comune di misure per la promozione dell’efficienza energetica dell’Unione al fine di garantire il conseguimento degli obiettivi principali entro il 2020 e gettare le basi per ulteriori miglioramenti per l’efficienza energetica al di là di tale data. La direttiva chiede a ciascuno stato di fissare un proprio obiettivo nazionale che viene poi monitorato dalla Commissione europea: un compromesso definito dopo l’opposizione degli Stati Membri sulla definizione del target vincolante.

2.2 - Il quadro normativo italiano

Gli elevati consumi di energia primaria nel settore edilizio già dichiarati negli anni '70 vengono affrontati con l’emanazione della *legge 373/76* che può essere di fatto considerata la prima legge italiana sul risparmio energetico.

Di seguito la legge nazionale n° 10 del 9 gennaio 1991 “*Norme per l’attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell’energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili dell’energia*” favorisce ed incentiva l’uso razionale dell’energia attraverso lo sviluppo delle fonti rinnovabili oltre alla riduzione dei consumi mediante una corretta progettazione, messa in opera e manutenzione sia degli edifici che degli impianti.

Le due leggi insieme aprono la strada alla consapevolezza in materia di salvaguardia dell’ambiente, tema sempre più presente nell’ambito dell’edilizia.

Dal 2005 l’Italia ha recepito le nuove disposi-

zioni comunitarie con tre importanti decreti legislativi:

- *Decreto Legislativo n° 192 del 19/08/2005 “attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell’edilizia”* che stabilisce criteri e modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici e favorire lo sviluppo e l’integrazione delle fonti rinnovabili per limitare le emissioni di gas ad effetto serra, e promuovere la competitività attraverso lo sviluppo tecnologico;
- *Decreto Legislativo n° 311 del 29/12/2006 “disposizioni correttive ed integrative al Dlgs 192 del 19 agosto 2005”* che amplia l’ambito di intervento inglobando non solo gli edifici di nuova costruzione, ma anche gli impianti ad essi installati, i nuovi impianti agli edifici esistenti, le opere di ristrutturazione degli edifici e degli impianti esistenti semplificando le procedure per la sostituzione dei vecchi impianti. Il decreto inoltre impone la redazione dell’Attestato di Certificazione Energetica, definisce più severamente i limiti per l’isolamento termico degli edifici, obbliga all’utilizzo del solare termico per la produzione del 50% del fabbisogno di ACS per le nuove costruzioni ed all’utilizzo del fotovoltaico per le nuove costruzioni, definisce i parametri specifici per le pompe di calore ed i parametri riguardanti i consumi estivi (schermature solari, prescrizioni per l’inerzia termica, ventilazione naturale);
- *Decreto Legislativo n° 115 del 30/05/2008 “attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all’efficienza degli usi finali dell’energia e i servizi energetici e abrogazione della*

direttiva 93/76/CEE” che prevede lo scomputo dei volumi e delle superfici per i nuovi edifici che garantiscono almeno il 10% della prestazione energetica codificata dal *Decreto Legislativo n. 192/2005*, impone le distanze minime tra gli edifici in caso di maggiori spessori per le ristrutturazioni energetiche delle costruzioni esistenti (sempre con almeno il 10% della prestazione energetica prevista), prolunga le scadenze per il contributo alle nuove costruzioni con alte prestazioni energetiche e definisce nuove regole per la certificazione energetica degli edifici e dei soggetti abilitati a farla.

I tre decreti costituiscono la normativa di riferimento per i progettisti relativamente al progetto termico degli edifici, per i quali una corretta valutazione del sistema edificio-impianto comporta un notevole risparmio sul fabbisogno di energia che si rispecchia quindi, sulla diminuzione dell'inquinamento e sul risparmio in termini di denaro. Tali decreti presentano diverse novità rispetto alle precedenti normative del settore: non solo prevedono il rispetto di nuovi e più restrittivi parametri volti ad una riduzione significativa dei consumi energetici in edilizia, ma impongono anche precisi obblighi e prescrizioni progettuali sull'involucro edilizio degli edifici e sugli impianti in essi installati.

Si adotta così il regolamento definito dal *DPR 59/09* che definisce i criteri generali, le metodologie di calcolo (*UNI/TS 11300-1*, *UNI/TS 11300-2*) ed i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda per usi igienici sanitari.

2.2.1 – Normativa in materia di detrazioni fiscali per la riqualificazione degli edifici

Nei Paesi europei l'adesione alle disposizioni comunitarie si è accompagnata alla creazione di un sistema di incentivi che potesse indirizzare il mercato verso la produzione di energia da fonti rinnovabili.

In Italia oltre agli incentivi europei, le detrazioni fiscali inerenti la riqualificazione degli edifici si pongono obiettivi che viaggiano su due binari paralleli: incentivare i cittadini a riqualificare energeticamente gli edifici esistenti abbattendo così i consumi e l'inquinamento, e riattivare la macchina economica colpita fortemente dalla crisi.

Con la prima legge che definisce gli incentivi, la *legge finanziaria n° 296 del 27 dicembre 2006 (Finanziaria 2007)* i contribuenti hanno la possibilità di detrarre dall'imposta sul reddito delle persone fisiche (*Irpef*) le spese sostenute per la ristrutturazione di case di abitazione e delle parti comuni di edifici residenziali situati nel territorio dello stato.

Gli incentivi prevedono la detrazione del 36% delle spese sostenute nei limiti di 48.000 euro per ogni unità immobiliare. Le detrazioni per gli interventi possono essere ripartite in un numero di quote annuali di pari importo non inferiore a tre e non superiore a dieci.

La seconda legge sulle detrazioni, la *legge finanziaria n° 244 del 24 dicembre 2007 (Finanziaria 2008)*, proroga per gli anni 2008, 2009, 2010 le agevolazioni tributarie per la quota del 36% ed innova la normativa inerente la riqualificazione energetica introducendo le detrazioni del 55%

per gli interventi focalizzati sull'efficientamento energetico.

La strategia finanziaria ha portato risposte positive date da tutta la nazione. I cittadini italiani di fronte alla novità degli incentivi, sono spinti dalla legge ad effettuare interventi sugli immobili per usufruire delle detrazioni. Gli interventi sarebbero stati rimandati o non sarebbero stati effettuati completamente senza gli incentivi. Il mercato dell'efficienza energetica, dei materiali, degli impianti, delle apparecchiature, della manodopera, delle prestazioni professionali è decollato impetuosamente facendo registrare un numero di interventi sul patrimonio edilizio inimmaginabile.

Le continue proroghe hanno fatto sì che la normativa che regola la materia sia stata più volte modificata da anno in anno. I limiti di spesa e le percentuali di detrazione risultano aumentate tra il 2007 ed il 2015.

La legge n° 220 del 13 dicembre 2010 (*Legge di Stabilità per il 2011*) proroga le detrazioni fino al 2011 e porta da cinque a dieci anni il periodo di detrazione delle spese.

La legge n° 201 del 6 dicembre 2011 rende permanente le agevolazioni del 36%.

La legge n° 214 del 22 dicembre 2011 (*Manovra Salva Italia*) proroga le detrazioni fino al 2012.

La legge n° 83 del 22 giugno 2012 eleva la misura delle detrazioni dal 36% al 50% e l'importo massimo di spesa da 48.000 euro a 96.000 euro.

La legge n° 134 del 7 agosto 2012 proroga le detrazioni fiscali del 55% fino al 2013.

Le novità più recenti sono state introdotte dalla legge n° 147/2013 del 27 dicembre 2013 (*legge di stabilità 2014*) che ha prorogato la possibili-

tà di usufruire della maggiore detrazione Irpef, 50% per la ristrutturazione e 65% per la riqualificazione energetica, fino al 31 dicembre 2014, con un tetto massimo di spesa di 96.000 euro per unità immobiliare. I benefici sono stati prorogati per tutto l'anno 2015, mentre per l'anno 2016 le detrazioni scenderanno alla misura ordinaria del 36% con un tetto massimo di spesa di 48.000 euro.

2.3 – Il quadro normativo regionale: la Lombardia

Per garantire l'omogeneità di applicazione della normativa, le Regioni possono definire metodologie di calcolo in riferimento a quelle nazionali, fissare dei requisiti minimi di efficienza energetica più rigorosi di quelli nazionali, oppure, per le Regioni che non hanno legiferato si applicano le disposizioni nazionali.

La regione Lombardia, il 12 dicembre 2003 con la legge n° 26 definisce le linee d'azione in materia di disciplina del settore energetico, definendo inoltre, la disciplina delle risorse idriche.

Con la legge regionale 11 dicembre 2006 n° 24 la Regione detta una normativa generale finalizzata a politiche di riduzione delle emissioni, occupandosi sia di definire azioni per il miglioramento della qualità dell'aria, sia dettando norme su impianti geotermici a bassa entalpia, stabilendo inoltre disposizioni per la valorizzazione delle biomasse, e demandando alla Giunta regionale di fissare regole sugli impianti termici civili e sulla certificazione energetica degli edifici.

In materia di certificazione energetica degli edi-

fici, la Lombardia ha regolato la materia con la *Dgr 26 giugno 2007 n° 8/5018* modificata ed integrata dalla *Dgr del 31 ottobre 2007 n° 8/5773* e dalla *Dgr 22 dicembre 2008 n° 8/8745* e successive modifiche. Le disposizioni sono finalizzate ad attuare il risparmio energetico, all'uso razionale dell'energia ed alla produzione energetica da fonti energetiche rinnovabili in conformità ai principi fondamentali fissati dalla *direttiva 2002/91/CE*.

Le disposizioni vengono applicate a tutte le categorie di edifici ai fini del contenimento dei consumi energetici e della riduzione delle emissioni inquinanti nel caso di progettazione e realizzazione di edifici di nuova costruzione e degli impianti in essi installati, nel caso di ristrutturazione degli edifici e degli impianti esistenti, ampliamenti volumetrici e installazione di nuovi impianti in edifici esistenti, e nel caso di certificazione energetica degli edifici.

	verifica Eph	verifica U	condensazione superficiale	condensazione interstiziale	efficacia schermature solari	proprietà inerziali chiuse	RE per produzione 50% ACS
nuova costruzione, demolizione + ristrutturazione, etc	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓
ristrutturazioni importanti involucro senza nuovo impianto	(✓) in altern.	(✓) in altern.	✗	✓	✓	✓	✓
ristrutturazioni minori, piccoli ampliamenti, manutenzione straordinaria	✗	✓ + 30%	(✓) in caso di ristruttur. impianto	✓	✓	✓	(✓) in caso di ristruttur. impianto

Tab. 2 - controlli richiesti dal DGR VIII/8745

Le disposizioni, nei molteplici casi di progetto, impongono la determinazione dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale Eph ed la verifica che questo sia inferiore ai

valori limite imposti, il rispetto dei limiti di trasmittanza termica dell'involucro, il calcolo dei rendimenti stagionali dell'impianto termico, la verifica di assenza di condensazione superficiale e presenza di limitata condensa interstiziale, la presenza di sistemi schermanti, la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali o nelle singole zone, le percentuali di fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS coperte da fonti energetiche rinnovabili. La legge regionale del 18 aprile 2012 n° 7 "*Misure per la crescita, lo sviluppo e l'occupazione*" anticipa al 31 dicembre 2015 l'applicazione della direttiva EPBD sugli edifici "a energia quasi zero", incentiva lo sviluppo delle future "*smart grids*" e promuove lo sfruttamento delle risorse geotermiche a bassa entalpia.

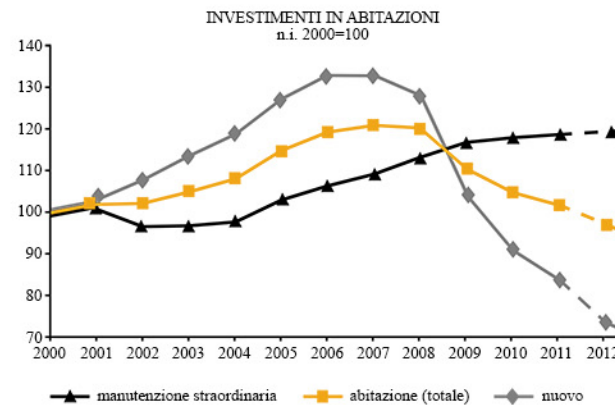
3 – IL PATRIMONIO EDILIZIO ITALIANO: LA CRISI DEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI E LA CRESCITA DELLA RIQUALIFICAZIONE DELL'ESISTENTE

Emerge con molta evidenza negli ultimi 8 anni ed in modo particolarmente accentuato nel biennio 2008-2009 la crisi del settore edilizio.

La crisi dal 2008 al 2015 è totalmente riconducibile alla crisi economica generale che ha avuto ripercussioni rilevanti sul settore delle costruzioni, soprattutto in termini occupazionali.

L'attuale crisi del settore delle costruzioni descrive i livelli produttivi di 40 anni fa. Il numero delle imprese è tornato ai valori del 1997, quello dei lavoratori a quelli del 1994 e le ore lavorate a quelli del 1992.

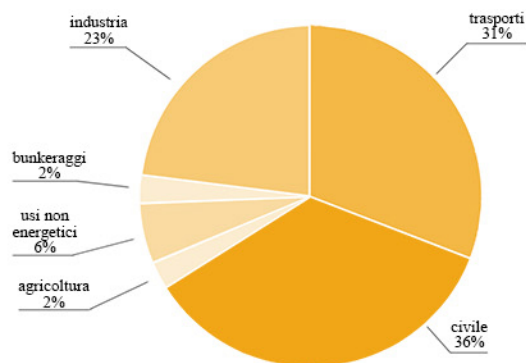
Nel 2012 gli investimenti nelle costruzioni registrano una flessione del 7,6% ed a fine 2013 il settore delle costruzioni ha perso in sei anni circa il 30% degli investimenti. Solo il comparto della riqualificazione degli immobili residenziali mostra una tenuta dei livelli produttivi del +12,6%.



Graf. 3 - investimenti sulle abitazioni dal 2002 al 2012 - manutenzione straordinaria, interventi totali e nuova costruzione

Fonte: ANCE
(Associazione Nazionale Costruttori Edili)

Se i consumi finali di energia sono impiegati principalmente nel settore civile ed industriale, come rappresentato nel diagramma seguente, ed il settore delle costruzioni è in forte discesa, è ormai ampiamente condivisa l'opinione che gli interventi maggiormente influenti per il risparmio energetico e per contrastare la forte crisi in atto, riguarderanno il mercato del settore edilizio delle riqualificazioni.



Fonte: Bilancio Energetico Nazionale
Ministero dello Sviluppo Economico

Graf. 4 - consumi finali di energia divisi per utilizzo nel settore civile e nel settore industriale

Il CRESME (Centro Ricerche Economiche Sociali di Mercato per l'Edilizia ed il territorio) afferma che il mercato della riqualificazione dell'esistente oggi vale più di 115 miliardi di euro, rappresentando il principale driver del nuovo ciclo di ripresa economica e sociale.

Il parco edilizio nazionale è costituito da edifici energeticamente inefficienti per il 78% costruiti precedentemente al 1976, anno dell'entrata in vigore della prima legge sull'efficienza energetica in edilizia, legge 373/76 che, in seguito alla crisi mondiale del petrolio dei primi anni '70, cercava di porre dei limiti alla dispersione termica dell'involucro. La legge ha avuto un'ap-

plicazione pressochè nulla a causa della scarsità dei controlli da una parte, e della ricerca della massimizzazione del profitto dall'altra.

La percentuale degli edifici energeticamente inefficienti aumenta fino al 89% considerando gli edifici costruiti secondo la legge 10/91 che fu in parte disattesa per la mancata pubblicazione dei decreti applicativi, tanto che molti degli edifici realizzati dopo la sua emanazione risultano tutt'altro che energeticamente efficienti.

Riqualificare anche una minima parte dei 10 milioni di edifici costruiti prima del 1991 porterebbe vantaggi per l'ambiente, per la qualità della vita, per la sicurezza e per l'economia sia del singolo utente che del paese che potrebbe svincolarsi più facilmente dai Paesi fornitori di energia.

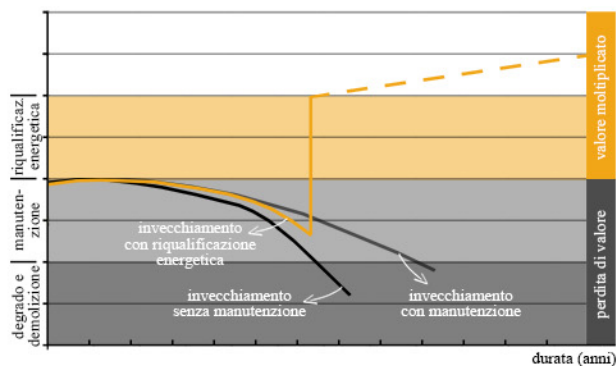
La riqualificazione degli immobili esistenti diventa quindi, settore trainante per l'economia e per il risparmio energetico.

Le operazioni di riqualificazione energetica hanno l'obiettivo di effettuare interventi che consentono di migliorare il comfort degli ambienti interni e di ottenere ottimi risultati in termini di prestazioni a fronte di un basso consumo energetico che, di conseguenza, si rispecchia in un forte guadagno in ambiti economici per l'utente che ha effettuato l'investimento. L'utente, infatti, oltre a godere del comfort abitativo, beneficia del risparmio sulle bollette e sulle spese di gestione, e fa aumentare il valore del proprio patrimonio immobiliare.

La semplice manutenzione dell'esistente comporta negli anni una perdita di valore dell'immobile in quanto, sebbene la manutenzione sia necessaria a far vivere più a lungo l'edificio, essa non tiene conto del risparmio di energia, sempre

più costosa, che se ne ricava da una riqualificazione energetica.

I costi per un risanamento energetico caratterizzato da un sistema di isolamento termico variano tra 60 e 80 € per metro quadrato. Un prezzo solo di poco superiore a quello di una manutenzione semplice, che inoltre, non tiene conto dei risparmi di energia e dei contributi statali, oggi molto elevati, per questa tipologia di interventi.



Graf. 5 - perdita di valore di un immobile rispetto all'assenza di manutenzione, alla manutenzione semplice ed alla riqualificazione energetica

L'intervento di riqualificazione deve rispettare precisi requisiti definiti dalla legge e deve inoltre essere un intervento efficace ed ottimale tenendo sotto controllo il costo di realizzazione, il livello di benefici ed il ciclo di vita economico dell'edificio (*Regolamento n 244/2012*).

3.1 – I requisiti minimi da rispettare in Lombardia

Gli interventi di nuova costruzione, demolizione e ricostruzione in ristrutturazione, ristrutturazione edilizia, ampliamento volumetrico, recupero a fini abitativi di sottotetti esistenti e manutenzione straordinaria devono rispettare precisi requi-

siti minimi.

In sede progettuale si effettuano controlli che riguardano verifiche sui requisiti di involucro e verifiche sui requisiti di impianto.

Ogni regione definisce i propri limiti da rispettare e redige la propria normativa al quale il progettista fa riferimento.

3.1.1 – Requisiti di involucro

3.1.1.1 – Verifica termo-igrometrica

Il fenomeno della condensazione del vapore acqueo può essere classificato in due tipologie principali: la condensa interstiziale che si manifesta all'interno della parete a causa prevalente della presenza di ponti termici, e la condensa superficiale che si verifica sulla superficie dell'apparato murario a contatto con l'ambiente interno a causa della temperatura della superficie che scende al di sotto della temperatura di rugiada in concomitanza con la presenza di elevati valori di umidità relativa dell'aria interna.

Il controllo della condensazione, sia che avvenga sulle superfici delle strutture, sia che avvenga all'interno delle stesse, rappresenta un rischio sotto un duplice aspetto: quello legato alla conservazione delle strutture che subiscono il degrado precoce, e quello legato ai principi igienico-sanitari fondamentali in edilizia, dove la salubrità degli ambienti interni viene a mancare a causa della presenza di muffe che crea significativi problemi d'igiene e di scarso comfort e benessere ambientale.

Al fine di verificare l'ipotetica presenza di con-

densa occorre controllare che la temperatura superficiale e/o interna alla parete, sia maggiore della relativa temperatura di condensazione (ovvero che la pressione parziale del vapore sia maggiore della pressione di saturazione).

Per tutte le categorie di edifici, ad eccezione degli edifici E.8, il progettista deve provvedere alla verifica dell'assenza di condensazioni sulle superfici opache interne dell'involucro edilizio ed alla verifica che le condensazioni interstiziali nelle strutture di separazione tra gli ambienti a temperatura controllata o climatizzati e l'esterno, compresi gli ambienti non riscaldati, siano limitate alla quantità rievaporabile.

3.1.1.2 – Verifica della trasmittanza limite

La diminuzione del valore di trasmittanza termica degli elementi opachi e trasparenti che caratterizzano l'involucro, ovvero, la diminuzione del flusso di calore che attraversa una struttura che delimita due ambienti a temperatura diversa (per esempio un ambiente interno riscaldato e l'ambiente esterno), permette di minimizzare le dispersioni di calore ed aumentare il risparmio energetico.

La trasmittanza termica è fortemente legata alle caratteristiche dei materiali che costituiscono la struttura ed alle condizioni di scambio termico limite. Per questo motivo lo studio della stratigrafia e della composizione degli elementi opachi e degli elementi trasparenti è di fondamentale importanza, sia per la determinazione della trasmittanza termica, che, di conseguenza, per il calcolo dei fabbisogni termici dell'edificio, indi-

catori fondamentali che segnalano al progettista quanto un edificio sia energivoro o meno.

Per tutte le categorie di edifici, per le strutture opache e per le strutture trasparenti comprensive di infissi oggetto di intervento, siano esse verticali, orizzontali o inclinate, delimitanti il volume a temperatura controllata o climatizzato verso l'esterno, ovvero verso ambienti a temperatura non controllata, il valore della trasmittanza termica media U, deve essere inferiore al valore riportato nella tabella seguente (*allegato A* presente nella *Dgr VIII/8745*), in funzione della fascia climatica di riferimento.

zona climatica	strutture opache verticali	strutture opache orizzontali o inclinate di copertura	strutture opache orizzontali di pavimento	chiusure trasparenti compresi infissi	centrale termica dei vetri
D	0,36	0,32	0,36	2,40	1,90
E	0,34	0,30	0,33	2,20	1,70
F	0,33	0,29	0,32	2,00	1,30

Tab. 3 - valori limite di trasmittanza termica espressa in W/m^2K

3.1.1.3 – I sistemi schermanti

Uno dei problemi che si riscontra negli edifici situati in luoghi con climi miti e caldi, è quello del controllo dei flussi termici gratuiti in entrata prodotti tramite l'irradiazione solare presente sia durante la stagione estiva, sia durante la stagione invernale.

Il controllo dei dispositivi in grado di ombreggiare la facciata rappresenta una strategia efficace in grado di diminuire la domanda di energia utilizzata per il raffrescamento e per quella dedicata al riscaldamento.

Sia che gli elementi schermanti siano fissi o mobili, e controllati manualmente o automaticamente, di preponderante importanza è il controllo del *daylighting* in grado di influire sul risparmio energetico e sul comfort dell'ambiente abitato, due fattori non sottovalutabili, in quanto essenziali per il raggiungimento della soddisfazione dell'utente finale che vive e modifica di continuo lo spazio costruito.

Ad eccezione degli edifici E.6 e E.8, il progettista provvede a verificare l'efficacia dei sistemi schermanti, con applicazione limitata alle superfici oggetto dell'intervento, controllando che la radiazione solare estiva sia ridotta del 70% e che in inverno essa sia completamente utilizzabile.

3.1.2 – Requisiti di impianto

3.1.2.1 – Verifica dell'efficienza globale media stagionale degli impianti termici

L'efficienza globale media stagionale è fortemente influenzata dal fatto che non tutta l'energia fornita dall'impianto termico viene sfruttata a causa delle perdite che avvengono durante il trasferimento dell'energia stessa.

L'efficienza globale media stagionale può quindi essere migliorata intervenendo sulle perdite di calore nonché sulle scelte progettuali, dal tipo di regolazione e dal modello di conduzione.

Per gli interventi di nuova installazione di impianto termico, ristrutturazione di impianto termico e sostituzione del generatore di calore il progettista provvede al calcolo dell'efficienza globale media stagionale ed alla verifica che lo

stesso risulti superiore al valore limite riportato nella seguente tabella.

fluido termovettore circolante nella distribuzione	$e_{g,yr}$
solamente liquido	$73 + 3 \log_{10}(Pn) \%$
solamente aria	$65 + 3 \log_{10}(Pn) \%$

Tab. 4 - valori dell'efficienza globale

Dove:

- $\log(Pn)$ è il logaritmo in base 10 della potenza utile nominale del generatore di calore;

- $e_{g,yr}$ è il rapporto tra il fabbisogno energetico annuale per il riscaldamento dell'ambiente considerato ($Q_{NH,yr}$) e il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione dell'ambiente considerato ($Q_{EPH,yr}$).

3.1.2.2 – Obbligo di installazione di dispositivi di regolazione automatica della temperatura

Per incentivare l'uso razionale dell'energia e la corretta gestione degli impianti, per gli interventi di nuova installazione di impianto termico e ristrutturazione di impianto termico è prescritta l'installazione di dispositivi per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali o nelle singole zone caratterizzate da uso ed esposizioni uniformi.

Il rilevamento della temperatura interna/esterna e la regolazione automatica permette di evitare il sovra-riscaldamento fortemente dipendente dagli effetti degli apporti gratuiti derivanti dall'irraggiamento solare e dagli apporti gratuiti interni dipendenti dalle attività svolte all'interno della zona climatica dell'edificio presa in considera-

zione, derivanti dal calore emesso dalle persone e dalle attrezzature presenti.

3.1.2.3 – Obbligo di installazione di fonti energetiche rinnovabili

Le fonti di energia rinnovabile presentano vantaggi importanti per quanto riguarda gli aspetti ambientali, economici e sanitari.

L'energia prodotta da risorse naturali, che hanno la capacità di rigenerarsi alla stessa velocità con cui vengono consumate, fa sì che queste tipologie di fonti di energia siano inesauribili costituendo perciò privilegi di elevata importanza.

Per questi motivi focali, per gli interventi di nuova costruzione, nuova installazione di impianto termico e ristrutturazione di impianto termico, nel caso di edifici pubblici e privati, è obbligatorio progettare e realizzare l'impianto di produzione di energia termica in modo tale da coprire almeno il 50% del fabbisogno annuo di energia primaria richiesta per la produzione di acqua calda sanitaria attraverso il contributo di impianti alimentati da fonti di energia rinnovabile.

La copertura del 50% del fabbisogno annuo di energia primaria richiesta per la produzione di acqua calda sanitaria si intende rispettata qualora l'acqua calda sanitaria derivi da una rete di teleriscaldamento, che sia alimentata anche da combustibile di R.S.U. e/o biogas, o da reflui energetici di un processo produttivo non altrimenti utilizzabili.

Inoltre il disposto è rispettato qualora il fabbisogno di energia primaria sia soddisfatto tramite il contributo di impianti alimentati da fonti di ener-

gia rinnovabile, utilizzati ai fini della climatizzazione invernale o del riscaldamento.

3.1.2.4 – Obbligo di installazione di dispositivi di contabilizzazione del calore

Da sempre il riscaldamento rappresenta una delle voci più scomode del bilancio economico all'interno di una famiglia.

Il risparmio può essere effettuato tramite l'adozione di sistemi per la contabilizzazione del calore con i quali l'utente può gestire in modo autonomo il riscaldamento della propria abitazione, anche in condomini dove la gestione del calore è sempre risultata difficoltosa.

Per gli interventi di nuova installazione di impianto termico, di ristrutturazione di impianto termico e sostituzione del generatore di calore, in tutti gli edifici appartenenti alle categorie E.1 ed E.2 devono essere realizzati gli interventi necessari per permettere, ove tecnicamente possibile, la contabilizzazione e la termoregolazione del calore per singola unità immobiliare.

3.1.2.5 – Predisposizione per il collegamento alle reti di teleriscaldamento

La tecnologia del teleriscaldamento permette di usufruire del calore proveniente da centrali di produzione e distribuirlo alle utenze attraverso una rete di tubazioni isolate. Il calore utilizzato è una fonte di energia a costo zero che influisce fortemente sul risparmio energetico.

Per gli interventi di nuova installazione di im-

pianto termico e ristrutturazione di impianto termico è obbligatoria la predisposizione delle opere e degli impianti, necessari a favorire il collegamento a reti di teleriscaldamento, nel caso di presenza di tratte di rete ad una distanza inferiore a metri 1.000 ovvero in presenza di progetti approvati nell'ambito di opportuni strumenti pianificatori.

3.1.3 – Requisiti del sistema edificio-impianto

3.1.3.1 – Verifica dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale o il riscaldamento

L'indice di prestazione energetica indica l'energia totale consumata dall'edificio climatizzato per metro quadro di superficie ogni anno per gli edifici a destinazione d'uso residenziale o per metro cubo di superficie ogni anno per gli edifici di destinazione d'uso diversa da residenziale, affinché l'immobile raggiunga le condizioni di comfort per il riscaldamento invernale, la produzione di acqua calda sanitaria, il raffrescamento estivo e l'illuminazione artificiale (secondo la normativa nazionale il raffrescamento estivo e l'illuminazione artificiale sono parametri non ancora previsti nel calcolo dell'indice).

Per gli interventi di nuova costruzione, demolizione e ricostruzione, ampliamento volumetrico >20%, recupero a fini abitativi di sottotetto >20%, ristrutturazione edilizia >25% della superficie disperdente, per tutti gli edifici il progettista procede, in sede progettuale, alla determinazione dell'indice di prestazione energetica

per la climatizzazione invernale o il riscaldamento, E_{ph} , ed alla verifica che lo stesso risulti inferiore ai valori limite prefissati, a seconda della destinazione d'uso dell'edificio, in funzione del rapporto di forma e dei gradi giorno del Comune dove l'edificio è ubicato.

Confrontando il valore del fabbisogno energetico E_{ph} con i parametri numerici associati ad ogni classe, si determina la classe energetica.

rapporto di forma dell'edificio	zona climatica				
	E		D		F
S/V [m ⁻¹]	da 1401 GG	a 2100 GG	da 2100 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
≤ 0,2	21,3	34	34	46,8	46,8
≥ 0,9	68	88	88	116	116

Tab. 5 - valori limite di E_{ph} per gli edifici con destinazione d'uso residenziale, espressi in kWh/m² annuo

rapporto di forma dell'edificio	zona climatica				
	E		D		F
S/V [m ⁻¹]	da 1401 GG	a 2100 GG	da 2100 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
≤ 0,2	6	9,6	9,6	12,7	12,7
≥ 0,9	17,3	22,5	22,5	31	31

Tab. 6 - valori limite di E_{ph} per gli edifici di destinazione d'uso diversa da quella residenziale, espressi in kWh/m³ annuo

classe	zona E	zona F1	zona F2
A+	$E_{ph} < 14$	$E_{ph} < 20$	$E_{ph} < 25$
A	$14 < E_{ph} < 29$	$20 < E_{ph} < 39$	$25 < E_{ph} < 49$
B	$29 < E_{ph} < 58$	$39 < E_{ph} < 78$	$49 < E_{ph} < 98$
C	$58 < E_{ph} < 87$	$78 < E_{ph} < 118$	$98 < E_{ph} < 148$
D	$87 < E_{ph} < 116$	$118 < E_{ph} < 157$	$148 < E_{ph} < 198$
E	$116 < E_{ph} < 145$	$157 < E_{ph} < 197$	$198 < E_{ph} < 248$
F	$145 < E_{ph} < 175$	$197 < E_{ph} < 236$	$248 < E_{ph} < 298$
G	$E_{ph} > 175$	$E_{ph} > 236$	$E_{ph} > 298$

Tab. 7 - valori limite delle classi energetiche per gli edifici con destinazione d'uso residenziale espressi in kWh/m² annuo

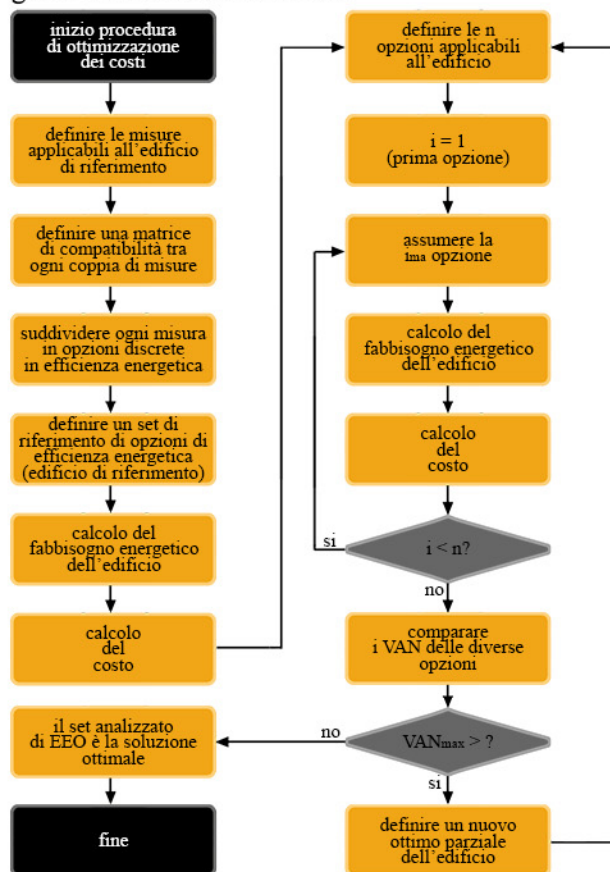
4 – LA COST-OPTIMALITY

La *direttiva 2010/31/UE* definisce i principi relativi al miglioramento della prestazione energetica degli edifici. La Direttiva introduce un'innovazione nella valutazione della prestazione energetica rispetto al passato: il calcolo dei livelli ottimali di prestazione energetica in funzione dei costi, chiede di valutare non solo i risparmi ottenibili nei consumi energetici dell'edificio, ma anche la fattibilità economica degli investimenti durante un ciclo di vita stimato.

A tali fini, il 21 marzo 2012 la Commissione ha pubblicato il *Regolamento delegato n° 244/2012 del 16 gennaio 2012*, e a seguire, il 19 aprile 2012, le *linee guida (Orientamenti della Commissione)* che accompagnano il suddetto Regolamento. Con questi provvedimenti è stato definito il quadro metodologico di analisi comparativa che consente a ciascuno Stato Membro la definizione, a livello nazionale o regionale, di requisiti minimi di prestazione energetica e la predisposizione di misure per il miglioramento della prestazione energetica degli edifici esistenti e di nuova costruzione, che siano efficaci anche sotto il profilo dei costi.

Il livello ottimale in funzione dei costi è definito come “il livello di prestazione energetica che conduce al costo più basso durante il ciclo di vita economico stimato dell'edificio”, dove il costo più basso è determinato tenendo conto dei costi di investimento legati all'energia, dei costi di manutenzione e di funzionamento, e degli eventuali costi di smaltimento. Agli Stati Membri è demandata la determinazione della durata del ciclo di vita economico dell'intero edificio o degli

elementi considerati nelle valutazioni. Data l'impossibilità di calcolare il livello ottimale per tutti gli edifici del patrimonio edilizio, a ciascuno Stato Membro è demandata la creazione di una serie di edifici di riferimento, denominati *reference buildings*, ovvero edifici rappresentativi di determinate categorie edilizie a livello nazionale o regionale, ai quali verranno applicate le misure di efficientamento e per i quali sarà calcolato il livello ottimale della prestazione energetica in funzione dei costi.



Graf. 6 - fasi di attuazione della metodologia del cost-optimality

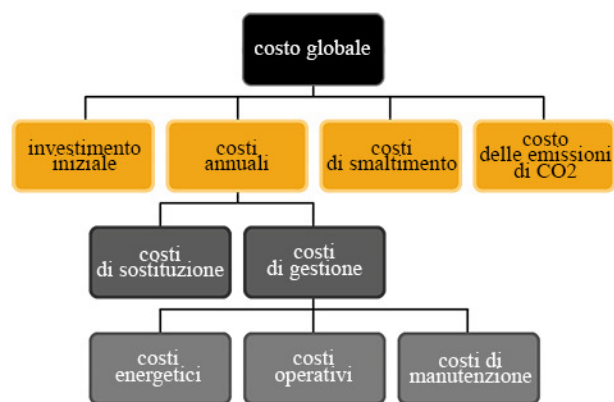
4.1 – I livelli di prestazione energetica ottimali in funzione dei costi

Il *cost optimal level of energy performance*, ovvero il livello ottimale di prestazione energetica in funzione dei costi, corrisponde alla quantità di energia necessaria per il soddisfacimento del fabbisogno energetico dell'edificio che richiede il costo più basso durante il ciclo di vita economico stimato dell'edificio stesso.

In conformità con il quadro comparativo generale della Direttiva, la definizione dei livelli ottimali è il risultato di una serie di operazioni preliminari. In primo luogo si deve sviluppare una serie di misure finalizzate al miglioramento della prestazione energetica dell'edificio e definire almeno dieci combinazioni delle stesse misure. Tali combinazioni, caratterizzate da differenti interventi di efficientamento della prestazione energetica dell'edificio, potranno riguardare sia l'involucro edilizio che il sistema impiantistico, e dovranno essere definite in maniera tale da raggiungere risultati soddisfacenti in termini di consumi energetici (costi dell'energia) e di investimento per l'edificio.

Una volta applicate le misure agli edifici di riferimento, si procede al calcolo della prestazione energetica secondo un metodo di calcolo prestabilito (quasi-stazionario o dinamico) ed ai calcoli economici. La Direttiva indica come procedura di riferimento per la valutazione economica degli interventi il metodo del costo globale della normativa *UNI EN 15459*. Tale procedura rispetto alle classiche stime economiche di costi-benefici, valuta contemporaneamente diversi fattori di spesa: i costi annuali di esercizio, di

investimento, di manutenzione straordinaria e se previsti di smaltimento. Tali costi se valutati in funzione della prestazione energetica permettono di selezionare tra gli interventi considerati i più convenienti e se possibile individuare un livello/intervallo ottimale tra di essi.

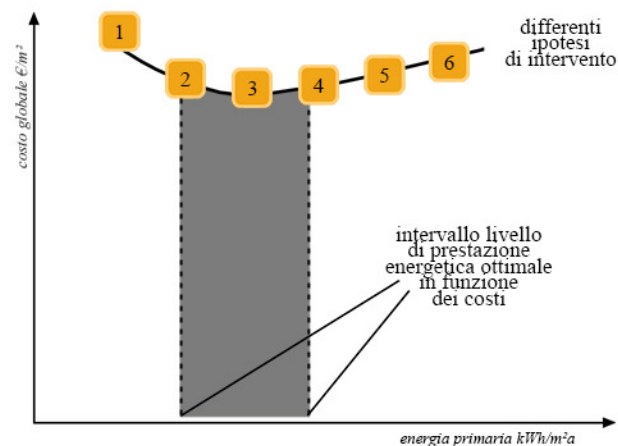


Graf. 7 - categorie dei costi che caratterizzano il totale del costo globale

I dati relativi ai costi devono essere basati sul mercato e raccolti da valutazione di progetti di costruzioni recenti, da analisi delle offerte standard delle imprese di costruzioni, da banche dati sui costi esistenti. Devono inoltre essere presi in considerazione il tasso di sconto, i costi dell'energia ed il periodo di calcolo.

I costi dell'energia sono inclusi nei costi annuali di esercizio, di investimento ed insieme agli altri costi sono attualizzati all'anno zero (anno in cui si considera sia effettuato l'investimento). La scelta della durata del ciclo di vita dell'edificio è a discrezione degli Stati Membri, anche se la Direttiva consiglia di considerare durate non superiori ai 30 anni per gli edifici residenziali e non superiori ai 20 per edifici non residenziali. La determinazione dell'intervallo di valori mini-

mi tra gli interventi applicati all'edificio, non è un'operazione di semplice risoluzione in quanto non sempre è possibile individuare un minimo tra gli interventi: alcuni interventi possono infatti rivelarsi ottimali per il miglioramento della prestazione energetica, ma richiedere dei costi di investimento molto elevati e quindi non rappresentare un valore ottimale (come ad esempio l'intervento 1 nel grafico 8). Alcuni interventi possono richiedere un elevato costo globale che avere consumi elevati in termini di energia primaria (interventi 5 e 6). L'intervallo di livello ottimale di prestazione energetica corrisponde pertanto alla combinazione di misure di efficientamento energetico (intervento 2, 3 e 4) con il minor costo globale.



Graf. 8 - determinazione dell'intervallo di prestazione energetica ottimale in funzione dei costi - esempio 6 tipologie di intervento

4.2 – Calcolo del costo globale

Il Regolamento prescrive che i calcoli economici siano effettuati in accordo con la norma *UNI EN 15459*. Tale norma distingue tra due metodologie

di calcolo: costo globale (*global cost*) e rendita finanziaria (*annuity cost*); il Regolamento prescrive di seguire la metodologia del costo globale.

Il costo globale dell'edificio è valutato in termini di valore attuale netto (abbreviato in VAN). Il VAN è una metodologia molto diffusa per la valutazione finanziaria di progetti a medio/lungo termine tramite cui si definisce il valore attuale di una serie attesa di flussi di cassa, non solo sommandoli contabilmente, ma attualizzandoli sulla base del tasso di rendimento (o tasso di attualizzazione).

Confrontando il VAN di due o più investimenti alternativi si riesce a valutare l'opzione più vantaggiosa attraverso il meccanismo dell'attualizzazione dei costi e dei ricavi, che prevede il ricondurre ad un medesimo orizzonte temporale i flussi di cassa che si manifesterebbero in momenti diversi e che quindi non sarebbero direttamente confrontabili.

$$C_g(\tau, r) = I_0 + \sum_{i=1}^{\tau} \frac{FC(i)}{(1+r)^i} = I_0 + \sum_{i=1}^{\tau} FC(i) \cdot R_d(i) \quad [1]$$

$$R_d(i) = (1 + r)^{-i} \quad [2]$$

Dove:

C_g è il costo globale;

τ è l'orizzonte temporale all'interno del quale vengono considerati i flussi di cassa;

r è il tasso di attualizzazione;

I_0 è il costo iniziale per le misure di efficienza energetica (investimento iniziale);

$FC(i)$ sono i flussi di cassa dell'anno i -esimo;

$R_d(i)$ è il fattore di attualizzazione.

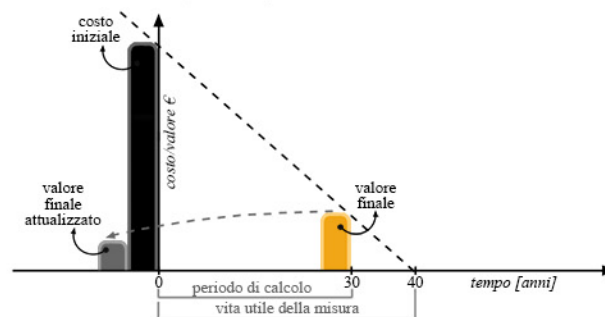
Questo meccanismo permette, quindi, un confronto con un investimento nel mercato finanziario con pari rischio: infatti, attualizzando i flussi

di cassa si tiene conto delle mancate entrate derivanti dall'uso alternativo delle risorse. Per l'applicazione della metodologia di calcolo del costo globale agli edifici di riferimento, si utilizza un idoneo foglio di calcolo Excel, che considera: il periodo di calcolo, il tasso di attualizzazione, le voci di costo, la prospettiva finanziaria e la prospettiva macroeconomica.

4.2.1 – Il periodo di calcolo

Il periodo di calcolo è definito in base alla destinazione d'uso dell'edificio. La Direttiva consiglia di considerare durate non superiori ai 30 anni per gli edifici residenziali e non superiori ai 20 per edifici non residenziali. Tale suggerimento è giustificato dalla difficoltà di previsione dei prezzi dell'energia per un periodo superiore a 30 anni.

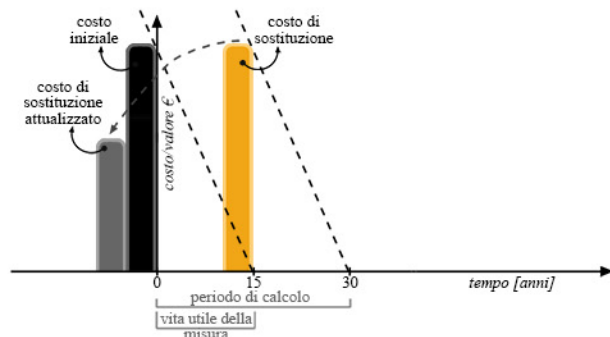
In ossequio alle Linee guida, l'anno di partenza per il calcolo è stato fissato nell'anno in corso; pertanto, per esempio, si assume che nel 2015 venga completata la realizzazione o la ristrutturazione dell'edificio e a partire dal 2016 comincino a incidere i costi annui (costi energetici, manutenzione, ecc...).



Graf. 9 - valutazione del valore finale di una misura rispetto al periodo di calcolo ed alla vita utile della misura presa in considerazione

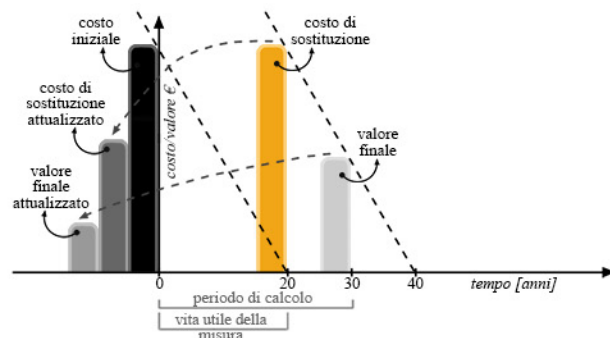
Nel caso in cui elementi dell'edificio abbiano una vita utile superiore al periodo di calcolo è necessario valutare il loro valore residuo ipotizzando un deprezzamento lineare nel tempo. Il valore residuo entrerà nel calcolo come un flusso di cassa positivo.

Se, invece, la vita utile di una misura dovesse risultare inferiore al periodo di calcolo, allora si deve tenere conto del costo di sostituzione della misura. Approccio ben diverso è tenuto per i costi energetici, per i quali, invece, è necessario tenere conto dell'evoluzione del prezzo dei combustibili e dei vettori.



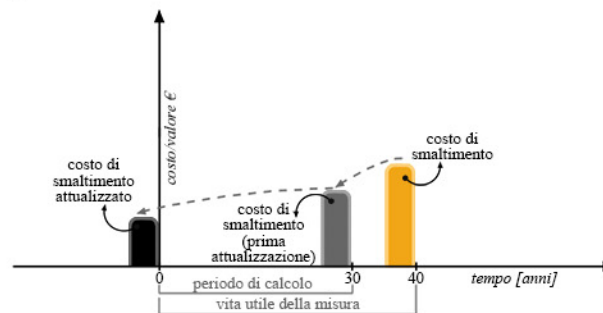
Graf. 10 - valutazione del costo di sostituzione di una misura rispetto al periodo di calcolo ed alla vita utile della misura presa in considerazione

Nel caso in cui l'elemento sostituito ha una vita che eccede il periodo di calcolo, si calcola il valore residuo della misura sostituita e si attualizza il costo del valore residuo e la misura sostituita.



Graf. 11 - valutazione del valore finale nel caso di sostituzione di una misura rispetto al periodo di calcolo ed alla vita utile della misura presa in considerazione

Valutazioni analoghe sono da farsi anche per eventuali costi di smaltimento, che vanno attualizzati come tutti gli altri flussi di cassa. Più delicata da trattare è la situazione in cui il costo di smaltimento interviene per una misura la cui vita utile eccede il periodo di calcolo. Diventa, allora, necessario attualizzare una prima volta il costo di smaltimento dal termine della vita utile alla fine del periodo di calcolo e successivamente attualizzare tale valore all'anno di partenza del periodo di calcolo.



Graf. 12 - attualizzazione nel costo di smaltimento rispetto al periodo di calcolo ed alla vita utile della misura presa in considerazione

4.2.2 – Il tasso di attualizzazione

L'attualizzazione dei flussi di cassa consiste in un processo di calcolo finanziario che consente di calcolarne il valore equivalente alla loro generazione in data odierna.

Nelle equazioni [1] e [2] il tasso di attualizzazione utilizzato è espresso in termini reali, ovvero al netto dell'inflazione. Tale valore è legato al tasso di inflazione (f) e al tasso nominale (r') attraverso la seguente relazione [3]:

$$(1 + r') = (1 + r) \cdot (1 + f) \quad [3]$$

Da cui si ricava l'espressione:

$$r = \frac{(1+r')}{(1+f)} - 1 \quad [4]$$

4.2.3 – Le voci di costo

Lo scopo del calcolo non è determinare il costo dell'edificio in sé, ma confrontare il costo globale risultante dall'applicazione di misure di efficienza energetica o alimentate da fonti rinnovabili. Per questa ragione non sono presi in conto i flussi di cassa dovuti a elementi dell'edificio che non hanno influenza sulla prestazione energetica dell'edificio e che non sono legati direttamente o indirettamente all'adozione di misure.

Non vengono tenuti in considerazione, ai fini della *cost-optimal methodology*, i costi del terreno sui cui è costruito l'edificio, delle fondazioni, della pavimentazione e dell'arredamento. Devono, invece, essere considerati i seguenti flussi di cassa:

- investimento iniziale per la progettazione, l'acquisto, l'installazione e/o la posa in opera delle misure di efficienza energetica o alimentate da fonti rinnovabili;
- costi annui di manutenzione per ciascuna misura;
- costo di sostituzione all'esaurirsi della vita utile della misura se la vita utile è inferiore al periodo di calcolo;
- valore residuo della misura se la vita utile eccede il periodo di calcolo;
- eventuali costi di smaltimento;
- costi energetici;
- costo delle emissioni di CO₂;

- ricavi derivanti dalla vendita di energia elettrica prodotta con moduli fotovoltaici o cogeneratori. L'approccio adottato è di tipo *full cost*, ovvero si valuta il costo complessivo dell'edificio. Questo approccio è in opposizione a quelli di tipo *additional cost* in cui viene valorizzata solo la differenza tra i flussi di cassa effettivi e quelli di un edificio di riferimento. Nonostante ciò, il Regolamento ammette alcune semplificazioni: in particolare, nel caso in cui alcune voci di costo siano identiche per tutte le misure prese in considerazione su un edificio, è possibile trascurare tali voci.

Per gli edifici esistenti si ipotizza che la ristrutturazione energetica avvenga durante una cosiddetta finestra di opportunità, ovvero contestualmente ad opere di manutenzione straordinaria necessarie per la funzionalità, la sicurezza e il decoro dell'edificio. Questa ipotesi porta con sé importanti semplificazioni giacché alcune voci di costo possono essere così trascurate. Ad esempio, immaginando il già totale rifacimento della facciata, non è necessario tenere conto del costo dovuto dell'impalcatura nel caso di misure di coibentazione delle pareti esterne. Allo stesso modo saranno trascurati i costi legati alle opere di messa a norma e in sicurezza degli impianti termici che non impattano direttamente sulla prestazione energetica.

4.2.4 – La prospettiva finanziaria e la prospettiva macroeconomica

Il Regolamento prescrive che vengano effettuate due distinte valutazioni, l'una basata sulla pro-

spettiva dell'investitore privato che decide di costruire o ristrutturare un edificio (prospettiva finanziaria), l'altra che tenga in conto il punto di vista dello Stato membro (prospettiva macroeconomica).

Nella prospettiva finanziaria rientrano i costi così come sono visti dal cittadino, comprensivi di IVA, accise e tasse in generale, si utilizza un tasso di attualizzazione corrispondente al tasso di interesse del mercato e non sono valorizzati i costi delle emissioni di CO₂.

La prospettiva macroeconomica si distingue dalla precedente perché tiene in conto i costi delle emissioni di CO₂, utilizza un tasso di attualizzazione inferiore rispetto al tasso di interesse del mercato, e trascura tasse ed incentivi.

L'adozione delle due prospettive, ovviamente, comporterà diversi valori di costo globale per lo stesso edificio e pertanto potrebbe dare risultati diversi anche in termini di livello di prestazione ottimale in funzione dei costi. Il *Regolamento* richiede di effettuare il calcolo in entrambi i casi e solo alla fine di scegliere con quale prospettiva completare le verifiche.

Infine per entrambe le prospettive il *Regolamento* richiede che venga fatta un'analisi di sensitività in cui debbono essere testati almeno due tassi di attualizzazione.

4.3 – Gli edifici di riferimento

Nella definizione degli edifici di riferimento, sono importanti due progetti nell'ambito del programma *Intelligent Energy Europe (IEE)* – citati nelle linee guida della *EPBD recast* come impor-

tanti riferimenti per la definizione dei *reference buildings*: il progetto *TABULA (Typology Approach for Building stock Energy Assessment)*, ed il progetto *ASIEPI (ASsessment and Improvement of the EPBD Impact)*.

Inoltre a livello internazionale una delle più interessanti raccolte di edifici di riferimento disponibili è costituita dalla serie di 16 modelli di edifici, *benchmark building models*, definita dal Dipartimento di Energia (DOE) degli Stati Uniti (U.S.).

L'archivio statunitense è composto da 15 edifici a destinazione commerciale ed 1 a destinazione residenziale, classificati in funzione di tre periodi di costruzione (pre-1980, post-1980, edifici di nuova costruzione) e di 16 località, rappresentative delle principali zone climatiche che caratterizzano gli Stati Uniti.

I *benchmark building models* sono edifici fittizi, vale a dire modelli virtuali di edifici creati a partire da un'analisi statistica del patrimonio edilizio statunitense. I modelli non rappresentano pertanto degli edifici realmente esistenti, ma sono piuttosto modelli edilizi caratterizzati da valori medi di una serie di parametri selezionati (dimensione, tecnologie costruttive, etc), estratti da analisi di tipo statistico sul patrimonio edilizio esistente.

I *reference buildings* oltre che rappresentare un requisito essenziale al quale ogni Stato Membro deve ottemperare come da Direttiva, possono inoltre essere utilizzati singolarmente per valutare il risparmio raggiungibile, a livello di consumi di energia, nell'applicazione di una data tecnologia costruttiva o impiantistica o anche di una serie di requisiti normativi, ad una tipologia

di edifici oppure alla definizione di consumi di riferimento per *reference buildings* a livello nazionale.

Conformemente all'allegato III dell'*EPBD recast*, i *reference buildings* sono edifici di riferimento caratterizzati dalla loro funzionalità e posizione geografica, comprese le condizioni climatiche interne ed esterne, e rappresentativi di dette caratteristiche. Il quadro metodologico comparativo della Direttiva distingue tra edifici esistenti e di nuova costruzione e tra diverse tipologie edilizie, tra le quali in particolare edifici residenziali monofamiliari e multifamiliari ed edifici non residenziali come ad esempio edifici ad uso ufficio. Ogni Stato Membro deve sviluppare per ciascuna tipologia edilizia almeno due *reference buildings* per edifici esistenti e uno per edifici di nuova costruzione.

È a discrezione degli Stati Membri la classificazione dei *reference buildings* in sottocategorie, in funzione per esempio dell'epoca di costruzione, delle zone climatiche o della stessa destinazione d'uso dell'edificio. Il patrimonio edilizio europeo è infatti molto eterogeneo ed un edificio con la medesima destinazione d'uso può assumere caratteristiche diverse in funzione delle condizioni climatiche esterne e della tradizione costruttiva del luogo.

La creazione di *reference buildings* è un'operazione complessa e per la quale la mancanza di una metodologia univoca genera ulteriori difficoltà ed incertezze.

A livello europeo non è stato ancora raggiunto un approccio metodologico condiviso per la creazione dei *reference buildings* e si riscontra inoltre il perseguimento di diversi obiettivi a livello

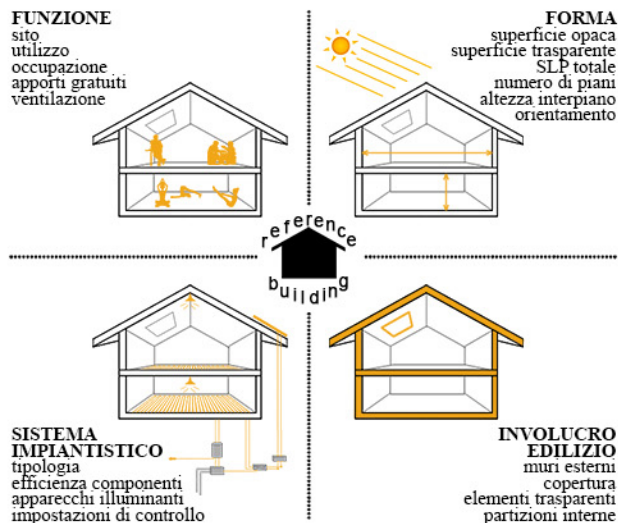
nazionale da parte di ciascuno Stato Membro. Alcuni Stati hanno infatti avviato lo sviluppo di un catalogo completo di edifici di riferimento, altri hanno selezionato solo alcune tipologie edilizie per lo sviluppo di *reference buildings*, ed infine altri non hanno ancora definito un programma per la creazione di *reference buildings*.

Nella definizione degli edifici di riferimento acquista particolare importanza il livello di dettaglio considerato affinché i modelli di edifici possano essere considerati rappresentativi. Nella scrittura delle linee guida della *EPBD recast* esperti a livello internazionale hanno a tale riguardo espresso pareri contrastanti: alcuni ritengono che l'accuratezza del *reference building* sia una caratteristica fondamentale per rendere l'edificio il più possibile rappresentativo di un dato contesto edilizio; altri nutrono scarsa fiducia verso tali modelli, ritenendoli poco realistici e molto complessi nella loro creazione.

Con il termine *reference buildings* "edifici di riferimento" si intende un modello di edificio, ovvero un esempio di edificio rappresentativo. Il problema principale nella creazione del modello è relativo al reperimento ed all'accuratezza delle informazioni, vale a dire ai dati di ingresso necessari per la caratterizzazione dell'edificio. Il modello di un *reference building* infatti non è altro che un insieme di informazioni inerenti le caratteristiche principali dell'edificio. Spesso è tutt'altro che semplice ricercare le informazioni necessarie e soprattutto verificare che le fonti di riferimento siano adeguate e complete per lo scopo perseguito.

L'approccio più comunemente adottato prevede l'utilizzo di dati estratti da elaborazioni statisti-

che, al fine di modellare un edificio con caratteristiche medie del patrimonio edilizio in analisi. Non sempre però una simile tipologia di dati è disponibile e pertanto le informazioni utilizzate risultano di provenienza eterogenea. Il livello di dettaglio a cui devono essere inserite le informazioni descrittive di un *reference building* è imprescindibilmente legato al metodo di calcolo – quasi-stazionario o dinamico – che vuole essere impiegato per l’analisi energetica dell’edificio. La Direttiva consiglia l’analisi della prestazione energetica attraverso metodi dinamici al fine di ottenere una maggiore accuratezza nei risultati. La simulazione termo-energetica dell’edificio esegue analisi di tipo dinamico sull’edificio, ma richiede un elevato numero di informazioni rispetto a metodi semplificati come quello quasi-stazionario.



Graf. 13 - sottosistemi di informazioni di un edificio di riferimento - funzione, forma, sistema impiantistico e involucro edilizio

I dati di input riguardano le principali caratteristiche dell’edificio sia a livello architettonico,

sia tecnologico-costruttivo che impiantistico.

I dati necessari alla definizione dei modelli, possono pertanto essere classificati in quattro principali sotto-insiemi di informazioni: 1. *Funzione*; 2. *Forma*; 3. *Sistema impiantistico*; 4. *Involucro Edilizio*.

4.3.1 – Il progetto ASIEPI

Il progetto ASIEPI (*ASsessment and Improvement of the EPBD Impact, 2007-2010*) è un progetto finanziato dal programma *Intelligent Energy Europe* (IEE) che si è posto come obiettivi principali quelli di supportare gli Stati Membri nell’implementazione della *EPBD*, supportare la Commissione Europea nel monitoraggio dell’implementazione della *EPBD* e nella revisione della *EPBD*, aumentare la consapevolezza di tutti gli attori del settore dell’edilizia e fornire soluzioni. Il progetto ha raccolto un campione di edifici residenziali di riferimento ed ha ideato una metodologia di comparazione dei livelli richiesti di prestazioni energetiche, nonché uno strumento Excel di ausilio.

4.3.2 – Il progetto TABULA

TABULA (*Typology Approach for BUilding stock energy Assessment, 2009-2012*) è un progetto nell’ambito del programma *Intelligent Energy Europe* (IEE) finalizzato a creare una struttura armonizzata sulla tipologia edilizia in Europa. La classificazione del parco edilizio residenziale esistente è basata sulla definizione di

“edifici-tipo” nazionali, in funzione del periodo di costruzione, la geometria e le condizioni climatiche. Ogni tipologia edilizia è caratterizzata da dimensioni, fattori di forma, proprietà termo-fisiche (es. trasmittanza termica dei componenti), efficienza degli impianti di riscaldamento ed altri indicatori energetici.

La classificazione degli edifici-tipo ed il riconoscimento della classe energetica, spinge lo sviluppo della riqualificazione energetica. In TABULA si sono analizzati due livelli di riqualificazione dell’edificio-tipo: una “riqualificazione tipica”, mediante l’azione di misure comunemente utilizzate all’interno del Paese, ed una “riqualificazione avanzata” attraverso l’introduzione di interventi che riflettono le migliori tecnologie disponibili.

Le potenzialità di risparmio energetico sono state valutate utilizzando la metodologia di calcolo fornita dalle norme tecniche europee a supporto della EPBD – 2002/91/CE e confrontando la prestazione energetica prima e dopo la riqualificazione. Informazioni aggiuntive sulla frequenza delle tipologie edilizie ed impiantistiche rendono possibile l’utilizzo della classificazione tipologica come modello per la stima della prestazione energetica del parco edilizio globale su scala nazionale.

4.3.3 – Il progetto EPISCOPE

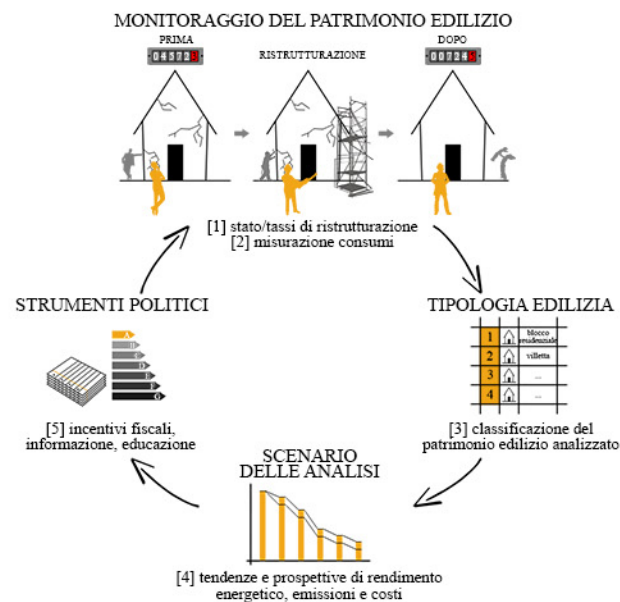
Il progetto EPISCOPE (*Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks, 2013-2016*), è un progetto

finanziato dal programma *Intelligent Energy Europe* (IEE), che ha come punto di partenza il progetto TABULA che viene continuato e ampliato.

I principali obiettivi sono quelli di aggiornamento della tipologia edilizia del parco immobiliare di monitoraggio e di rendere i processi di riqualificazione energetica trasparente ed efficace. Ciò contribuisce a garantire che gli obiettivi di protezione del clima possano essere raggiunti.

Ulteriore azione è quella di elaborare modelli azionari col fine di valutare i processi di riqualificazione energetica e di progettare il futuro consumo di energia.

Azioni pilota sono condotte in sedici paesi dove le misure di risparmio energetico sono monitorate in modo tale da conoscere l’effetto sul consumo correlato.



Graf. 14 - sistema a circolo continuo delle azioni pilota per il monitoraggio ed il miglioramento dell’efficienza energetica degli edifici

4.4 – Gli edifici di riferimento italiani

La definizione degli edifici-tipo possono essere utilizzati dalla nazione come strumento per l'individuazione della prestazione energetica ed il potenziale risparmio energetico che si può avere tramite azioni effettuate attraverso la riqualificazione dell'involucro edilizio e degli impianti.

La definizione degli edifici-tipo è utile quindi anche per individuare le possibili "azioni pilota" che influiscono sul potenziale risparmio energetico. Le azioni pilota applicate rispetto le caratteristiche della zona di riferimento (clima, latitudine, altitudine, morfologia del terreno, presenza di mari o correnti, etc) divengono così ottimi strumenti per incrementare la riqualificazione energetica nazionale ed influire positivamente sugli obiettivi definiti dalla normativa per la riduzione delle emissioni di CO₂, per l'aumento dell'efficienza energetica, nonché per limitare la forte dipendenza energetica nazionale per il continuo approvvigionamento fuori confine di risorse fossili.

Ad oggi la definizione dei *reference building* italiani è in fase di definizione. Il presente studio ha come riferimento la banca dati del progetto TABULA che ha sviluppato una struttura comune per le tipologie edilizie nazionali esistenti per gli edifici residenziali e gli impianti termici.

La classificazione della tipologia edilizia nazionale è supportata da indicazioni quantitative circa la frequenza delle tipologie edilizie, il numero di abitazioni, le superfici degli appartamenti, le tipologie costruttive e impiantistiche più diffuse, il vettore energetico più utilizzato, etc. Queste informazioni sono state ricavate a partire dai dati

statistici forniti dall'ISTAT (censimento 2001) e dall'ENEA (Rapporto Energia 2008).

La tipologia edilizia nazionale è classificata secondo le seguenti categorie:

- regione/zona climatica;
- classe di epoca di costruzione;
- classe di dimensione edilizia.

Il territorio nazionale è caratterizzato da sei zone climatiche secondo il *D.P.R. n. 412/1993* (dalla A alla F) sulla base del numero dei gradi giorno.

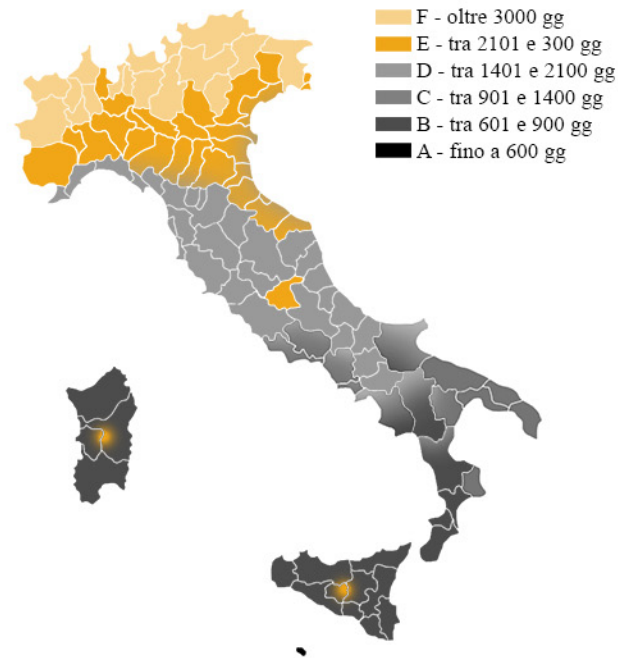


Fig. 1 - classificazione delle zone climatiche nazionali rispetto ai gradi giorno

Per la classificazione della tipologia edilizia si sono individuate tre aree climatiche che risultano dal raggruppamento di alcune zone:

- *area climatica media* che si è ipotizzata coincidente con la zona climatica E;
- *area climatica alpina* che si è ipotizzata coin-

cidente con la zona climatica F;

- *area climatica mediterranea-costiera* che si è ipotizzata coincidente con le zone climatiche A, B, C, D.

Per ogni area climatica sono state individuate otto classi che definiscono l'epoca di costruzione. Ciascuna classe rappresenta un determinato periodo storico che riflette specifiche tipologie dimensionali e costruttive, significative dal punto di vista energetico. Le classi di epoca di costruzione sono:

- 1. fino al 1900;
- 2. dal 1901 al 1920;
- 3. dal 1921 al 1945;
- 4. dal 1946 al 1960;
- 5. dal 1961 al 1975;
- 6. dal 1976 al 1990;
- 7. dal 1991 al 2005;
- 8. dopo il 2005.

Ciascuna classe di epoca di costruzione è rappresentata da classi di dimensione edilizia; esse si riferiscono a specifiche tipologie dimensionali, ovvero costruzioni caratterizzate da una specifica espansione e geometria. Le classi individuate sono:

- *casa monofamiliare*: caratterizzata da un'unica unità immobiliare, su uno o due piani, di tipo isolato o confinante con un altro edificio;
- *casa a schiera*: costruita da un'unica unità immobiliare, su uno o due piani, confinante con altre unità abitative (complesso a schiera);
- *edificio multifamiliare*: edificio di ridotte dimensioni caratterizzato da un numero limitato di unità immobiliari (da 2 a 5 piani e fino a 15 appartamenti, oppure da 2 a 4 piani e da 16 a 20 appartamenti);

- *blocco di appartamenti*: edificio di grandi dimensioni caratterizzato da un numero più elevato di unità immobiliari.

Gli elementi che concorrono a classificare la tipologia edilizia costruiscono gli assi della cosiddetta "Matrice della Tipologia Edilizia".

classe di epoca di costruzione	case monofamiliari	case a schiera	edifici multifamiliari	blocchi di appartamenti
1 fino al 1900				
2 1901 - 1920				
3 1921 - 1945				
4 1946 - 1960				
5 1961 - 1975				
6 1976 - 1990				
7 1991 - 2005				
8 dopo il 2005				

Tab. 8 - matrice della Tipologia Edilizia di riferimento sviluppata per la zona climatica media (zona climatica E)

Ogni area climatica è contraddistinta da una matrice ed ogni matrice è costituita da righe, che rappresentano le classi di epoca di costruzione, e da colonne, che rappresentano le classi di dimensione edilizia. Ogni cella della matrice è sede di un edificio-tipo da considerarsi rappresentativo

di quella specifica condizione (area climatica/epoca di costruzione/dimensione).

La Matrice della Tipologia Edilizia è stata elaborata dal Politecnico di Torino nell'ambito del progetto TABULA e definisce gli edifici-tipo della zona climatica E italiana.

La zona climatica E è la zona più presente in Italia, rappresenta infatti il 52% dei comuni italiani ovvero 4250 comuni su un totale di 8100.

Gli edifici-tipo all'interno della matrice per le classi di edifici multifamiliari e di blocchi di appartamenti, per le epoche da 1 a 7, sono considerati, dal punto di vista geometrico e dei dati tipologico-dimensionali (volume lordo riscaldato, rapporto di forma, superficie lorda di pavimento, numero di piani, numero di appartamenti), degli edifici reali (foto a colori). Per quanto riguarda le case monofamiliari e le case a schiera, per le epoche di costruzione da 1 a 8, e gli edifici multifamiliari ed i blocchi di appartamenti per l'epoca 8, i rispettivi edifici-tipo sono stati individuati geometricamente mediante l'approccio teorico, si caratterizzano quindi come archetipi (foto in bianco e nero). Gli archetipi sono caratterizzati da proprietà dimensionali medie di un campione di edifici determinate mediante analisi statistiche. In riferimento all'area climatica E, l'analisi è stata sviluppata su un campione rappresentativo di edifici della regione Piemonte di cui si posseggono i certificati energetici (database dei certificati energetici regionali).

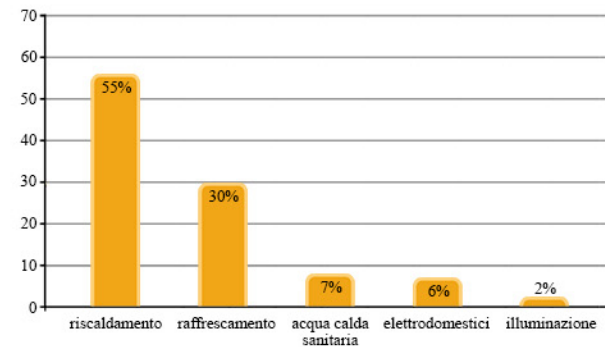
Si specifica che tra l'archetipo ed il corrispondente edificio reale sussiste una corrispondente geometrica solo per quanto riguarda i dati dimensionali generali e non per i dati tipologici specifici (es. superficie disperdente complessiva e

superficie disperdente finestrata per esposizione, orientamento principale dell'edificio, confini, etc.) a motivo di livello di dettaglio del database utilizzato per l'individuazione dell'edificio-tipo. Questo aspetto fa sì che l'edificio-tipo individuato con l'analisi statistica sia un edificio teorico e non un edificio reale poiché non definito dettagliatamente nelle caratteristiche geometriche che lo rappresenta.

Si è comunque associato un'immagine realistica all'archetipo in bianco e nero.

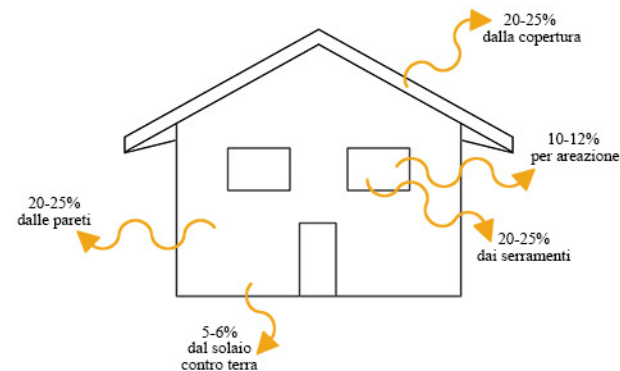
5 - GLI INTERVENTI PER LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

Attualmente è stimato che il consumo energetico è prevalentemente destinato al settore edile per il riscaldamento ed il raffrescamento degli ambienti interni così come rappresentato nel seguente diagramma:



Graf. 15 - percentuali di consumo energetico nel settore edilizio divise per le principali tipologie di utilizzo quotidiano

Nella maggior parte dei casi, le abitazioni non solo non proteggono dal caldo e dal freddo, ma non mantengono nel tempo neppure la temperatura ideale. Le perdite dell'involucro sono così distribuite:



Graf. 16 - percentuali di perdite attraverso gli elementi di involucro edilizio presenti nella maggiore percentuale del patrimonio edilizio

Le azioni connesse al miglioramento delle pre-

stazioni energetiche di un edificio possono essere schematizzate in due famiglie principali:

- quelle inerenti l'involucro:
 - elementi opachi:
 - verticali (muri perimetrali);
 - orizzontali o inclinati (solai);
 - orizzontali o inclinati (copertura);
 - elementi trasparenti:
 - finestre;
 - schermature;
- quelle inerenti gli impianti:
 - impianto per il riscaldamento;
 - impianto per la produzione di acqua calda sanitaria;
 - impianto per la ventilazione;
 - impianto per il raffrescamento;
 - impianto per l'illuminazione;
 - impianto per il controllo e l'automazione;
 - impianti energetici basati su fonti rinnovabili.

5.1 - Gli interventi sull'involucro

5.1.1 - Gli interventi sugli elementi opachi

La dispersione termica degli elementi opachi, che caratterizzano interamente un edificio, può essere migliorata attraverso la corretta coibentazione.

Le tipologie di isolamento nell'edilizia non possono assolutamente prescindere dal carattere funzionale dell'elemento strutturale in cui l'isolante viene impiegato. Per tale motivo si è soliti operare una distinzione a seconda che la coiben-

tazione sia relativa a:

- superfici verticali (murature perimetrali);
- superfici orizzontali (solai controterra, solai sopra sotterranei, solai di copertura, etc.).

La classificazione, comune sia all'isolamento di elementi opachi verticali sia di elementi opachi orizzontali, è relativa alla posizione del coibente nell'ambito dell'elemento strutturale. In particolare si definisce:



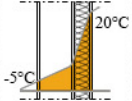
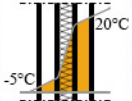
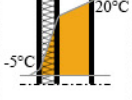
- *isolamento esterno* se l'isolante è posizionato sulla parete della struttura esposta all'aria atmosferica;
- *isolamento in intercapedine* se l'isolante viene posizionato in un'intercapedine presente dentro l'elemento strutturale;
- *isolamento interno* se l'isolante è posizionato sulla faccia dell'elemento strutturale rivolta verso un ambiente delimitato da superfici chiuse.

Per le superfici verticali l'isolamento dall'esterno, definito anche "isolamento a cappotto", risulta la soluzione più efficace per due motivi tecnici principali:

- la continuità delle lastre isolanti permettono di evitare i ponti termici causati dalla disomogeneità geometrica che spesso avviene nei collegamenti tra elementi architettonici (parete e parete, parete e solaio, pareti e serramento, etc.) e disomogeneità materica causata dalla discontinuità di resistenza termica che spesso avviene in corrispondenza di compenetrazione di materiali con conduttività termica diversa nell'involucro edilizio (pilastri, setti, travi e cordoli, etc.);
- consente di sfruttare l'inerzia termica della stratigrafia sulla quale viene applicato l'isola-

mento termico.

Di seguito uno schema dei vantaggi e degli svantaggi tecnico pratici delle principali tipologie di isolamento.

		
<p>TECNICHE DI ISOLAMENTO DALL'INTERNO</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - costi contenuti - non necessita della costruzione di ponteggi di cantiere 	<ul style="list-style-type: none"> - non elimina i ponti termici - non sfrutta l'inerzia termica delle stratigrafie - riduce i volumi abitabili - obbliga alla modifica degli elementi interni (prese elettriche, termosifoni, etc.)
<p>TECNICHE DI ISOLAMENTO DENTRO INTERCAPEDINE</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - costi contenuti - consente l'impermeabilità all'acqua e all'aria dando benefici in termini di acustica e durabilità nel tempo - elimina la possibilità di condensa superficiale nelle aree trattate 	<ul style="list-style-type: none"> - non elimina i ponti termici - la presenza di materiale isolante o materiale di cantiere gettati in tempi passati possono creare ostacoli che influiscono negativamente sull'omogeneità del nuovo isolante creando dei "tappi" nella struttura
<p>TECNICHE DI ISOLAMENTO DALL'ESTERNO</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - elimina i ponti termici grazie alla continuità della superficie isolante - garantisce un corretto comportamento termoigrometrico delle pareti - aumenta l'inerzia termica delle pareti 	<ul style="list-style-type: none"> - maggiori costi - necessita della costruzione di ponteggi di cantiere - necessita di interventi di manutenzione per la protezione dagli agenti atmosferici ed una maggiore durabilità nel tempo

Tab. 9 - vantaggi e svantaggi delle tre principali tecniche di isolamento

Per quanto riguarda, invece, le superfici orizzontali, la copertura è l'elemento che più disperde calore durante la stagione invernale e provoca surriscaldamento nei mesi estivi a causa del basso livello di isolamento. Gli interventi che possono essere effettuati dipendono strettamente dalla tipologia di copertura e dall'utilizzo dell'ambiente caratterizzato da sottotetto.

Nelle coperture piane praticabili (*tipologia A*) l'isolamento esterno è un intervento delicato in quanto la copertura necessita di un'accurata

impermeabilizzazione e di un'adeguata pavimentazione. Il tetto giardino (*tipologia B*) è una soluzione di isolamento esterno che oltre a migliorare il comportamento termico contribuisce a regolare l'umidità interna, a trattenere le polveri atmosferiche, a garantire l'isolamento dalle onde elettromagnetiche.

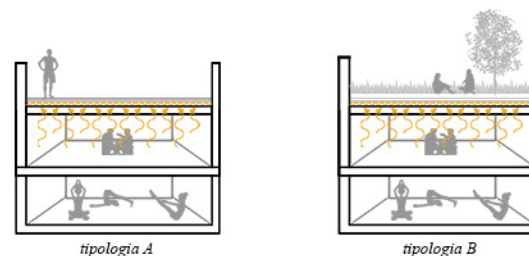


Fig. 2 - esempi di copertura piana praticabile - *tipologia A* e *tipologia B*

Nelle coperture caratterizzate da falde, in presenza di sottotetti non abitabili e non utilizzati, è conveniente applicare l'isolamento sull'estradosso della soletta che divide il sottotetto dall'unità abitativa (*tipologia C*), in quanto isolare le falde (*tipologia D*) porterebbe solo a riscaldare inutilmente il volume del sottotetto con il calore che sale dagli ambienti sottostanti.

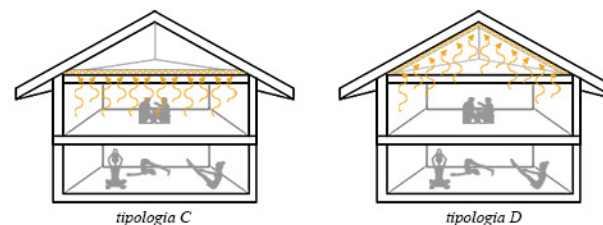


Fig. 3 - esempi di copertura a falde inclinate con sottotetto non abitabile - *tipologia C* e *tipologia D*

In presenza di sottotetti abitabili è conveniente applicare l'isolamento dall'esterno, sotto i coppi e le tegole, in modo da ridurre i ponti termici e sfruttare l'inerzia termica della stratigrafia esistente.

5.1.2 - Gli interventi sugli elementi trasparenti

I vecchi serramenti degli anni 50-70, quelli cioè a singolo vetro e con infissi in alluminio, sono caratterizzati da una bassa protezione termica (5,7 W/m²K) che influisce negativamente sull'intervento effettuato sugli elementi opachi.

Si può intervenire con la sostituzione totale del serramento, installandone uno caratterizzato da telaio ad alte prestazioni energetiche e vetrocamera.

Le infiltrazioni provenienti dalle finestre provocano dei rinnovi d'aria eccessivi con relative dispersioni di calore. È quindi utile ai fini del risparmio energetico controllare periodicamente lo stato delle guarnizioni poste sulle battute delle ante e sostituirle se necessario.

Il cassonetto è un elemento che spesso nei vecchi edifici non è isolato. Si può intervenire applicando uno strato isolante all'interno del cassonetto stesso.

5.1.3 - L'installazione di elementi schermanti

In estate la soluzione migliore per evitare l'innalzamento della temperatura negli ambienti interni è predisporre schermature esterne all'involucro che possano bloccare la radiazione solare, prima che questa riscaldi gli elementi esterni dell'edificio.

La radiazione solare che colpisce l'involucro causa effetti differenti a seconda che colpisca elementi trasparenti od opachi. La radiazione che colpisce le vetrate viene immediatamente trasmessa all'interno ed innesca il noto fenome-

meno dell'effetto serra, che, mentre in inverno è un fattore positivo, poiché contribuisce al riscaldamento dell'edificio, in estate è un fenomeno da evitare, poiché aumenta i carichi termici dell'ambiente interno, con conseguente aumento dei consumi elettrici per il raffrescamento. La radiazione solare incidente sugli elementi opachi viene trasmessa all'interno a seconda della massa termica delle pareti.

Le pareti spesse trasmetteranno all'interno il calore accumulato sulla superficie esterna, con un tempo di ritardo variabile in funzione dello spessore del muro. Si tratta della condizione ideale, poiché se le pareti riescono a trattenere il calore fino a sera questo potrà facilmente essere dissipato durante le ore serali e durante l'apertura delle finestre. Le pareti sottili, invece, trasmetteranno quasi immediatamente il calore all'interno, con risultati simili a quelli delle pareti vetrate. Le schermature solari esterne, evitando che la radiazione solare colpisca l'involucro dell'edificio, offrono le prestazioni migliori, in quanto bloccano la radiazione solare prima che questa vada ad innalzare la temperatura dell'ambiente interno.

Le schermature solari esterne sono riconducibili principalmente a due tipologie: fisse e mobili.

5.1.3.1 - Le schermature esterne fisse

Le schermature esterne fisse comprendono sia elementi strutturali, come balconi o aggetti delle coperture, sia elementi non strutturali, come tende esterne o frangisole.

L'orientamento e la forma dell'apertura da scher-

mare sono elementi indispensabili per la progettazione dei sistemi di ombreggiamento.

Per ogni fronte che caratterizza l'edificio si dovrà valutare, in base all'esposizione ed alle varie componenti della radiazione solare che arriva sull'involucro (radiazione solare diretta, riflessa oppure diffusa) quale sarà l'elemento schermante più efficace.

5.1.3.1.1 – Le schermature fisse orizzontali

Gli elementi aggettanti orizzontali fissi, generalmente balconi, sporgenze della copertura o pensiline, sono il tipo di schermatura solare più diffusa. Possono essere progettati insieme all'edificio o aggiunti in fase di ristrutturazione. Hanno il vantaggio di bloccare la radiazione estiva (maggiormente inclinata rispetto alla facciata dell'edificio) e proteggere dagli agenti atmosferici nei mesi invernali.

Uno dei limiti degli schermi frangisole orizzontali è l'accumulo di carichi che si potrebbe verificare nella parte superiore dell'elemento sporgente. Questo inconveniente può essere evitato utilizzando una struttura discontinua (es. lamelle frangisole) che ha l'ulteriore vantaggio di permettere alla ventilazione estiva di incanalarsi verso gli ambienti interni mitigando il calore accumulato.

Le schermature fisse orizzontali sono adatte alle parti dell'edificio esposte a sud. Questo perché alle nostre latitudini si ha la doppia esigenza di proteggersi dal sole in estate e di guadagnare calore in inverno, cosa facilmente ottenibile con una finestra opportunamente schermata.

La schermatura orizzontale sulle finestre esposte a sud è ideale in quanto nelle latitudini italiane in inverno a mezzogiorno il sole colpisce in pieno le pareti a Sud, ed è basso sull'orizzonte, questo significa che la radiazione solare non viene schermata dagli aggetti orizzontali e può penetrare all'interno attraverso le finestre ed essere accumulata sotto forma di calore. In estate, al contrario, quando a mezzogiorno colpisce le pareti a sud, la radiazione solare è fortemente angolata, e viene bloccata dagli aggetti orizzontali.

5.1.3.1.2 – Le schermature fisse verticali

Le schermature fisse verticali hanno un impiego ridotto rispetto a quelle orizzontali ed il loro utilizzo è efficace solo per schermare le pareti esposte ad est e ad ovest. Questo perché le schermature verticali bloccano principalmente la radiazione molto inclinata, che in estate si ha solo nelle prime e ultime ore del giorno sui fronti est ed ovest dell'edificio.

5.1.3.1.3 – Le schermature fisse combinate orizzontali e verticali

Per ottenere livelli migliori di ombreggiamento si possono fondere i due sistemi di schermatura fissa orizzontale e verticale. In questo modo si avranno elementi schermanti con sporgenze minori rispetto alla facciata ed una migliore visione dall'interno verso l'esterno.

Per consentire la ventilazione naturale gli elementi verticali possono essere sostituiti da un

elemento formato da elementi discontinui orizzontali. Questo sistema, composto da elementi fissi orizzontali e verticali incrociati tra loro è detto “a griglia” e risulta molto efficace per l’ombreggiamento di facciate esposte a sud in climi molto caldi.

5.1.3.2 – Le schermature esterne mobili

I sistemi di schermatura esterni mobili sono caratterizzati da un comportamento dinamico e flessibile che consente di adattarli al meglio alle condizioni climatiche esterne, per questo motivo risultano, generalmente, più efficaci dei sistemi fissi di ombreggiamento, anche se richiedono, rispetto a questi ultimi, un minimo di manutenzione.

5.1.3.2.1 – Le schermature mobili orizzontali

La possibilità di avere aggetti orizzontali mobili in facciata permette di evitare il problema dei sovraccarichi che possono accumularsi sugli aggetti orizzontali fissi, la presenza di zone sempre in ombra e la riduzione di visibilità verso l’esterno. La possibilità di adattare la posizione degli schermi alle diverse condizioni climatiche consente di massimizzare i guadagni termici in inverno e ridurli in estate.

Gli elementi schermanti, costituiti da sistemi di lamelle o pale (lame di grandi dimensioni), in estate sono posti a completa chiusura degli elementi vetrati, e riflettono la radiazione solare verso l’esterno; in inverno, invece lascia-

no completamente scoperte le superfici vetrate consentendo alla radiazione solare di raggiungere l’ambiente interno. La struttura di supporto di questi elementi è, generalmente, staccata dal resto dell’edificio, si viene quindi a creare un secondo involucro, leggermente distanziato da quello principale dell’edificio, che favorisce la canalizzazione dell’aria tra le due superfici e la dissipazione del calore.

5.1.3.2.2 – Le schermature mobili verticali

Questo tipo di elementi schermanti, che possono essere sistemi di pale o lamelle, è indicato per schermare pareti esposte ad est o ad ovest, perché non è in grado di ostacolare le radiazioni molto inclinate rispetto alla facciata, come la radiazione estiva nelle ore centrali del giorno. Risultano comunque efficienti, specialmente se utilizzati insieme a sistemi meccanici che ruotano le pale o le lamelle in funzione dell’angolazione della radiazione solare da schermare.

Risulta estremamente importante il progetto del dimensionamento delle pale o lamelle e della distanza tra i vari elementi, in quanto influisce direttamente sulla quantità di luce che verrà schermata o liberamente trasmessa all’interno dell’edificio. Durante la notte, in inverno, le pale verranno chiuse per contribuire a limitare le dispersioni termiche attraverso l’involucro; in estate, invece, le pale verranno completamente aperte, per consentire la dissipazione dell’eventuale calore accumulato durante il giorno.

5.1.3.3 – Le schermature esterne verdi

Le schermature verdi consistono nell'uso di alberi o piante rampicanti per controllare il soleggiamento estivo su un edificio. Si può intervenire in due modi:

- piantando alberi a foglia caduta nei pressi dell'edificio. In questo modo la facciata vicina agli alberi sarà ombreggiata in estate, quando gli alberi hanno le foglie, e soleggiata in inverno, quando gli alberi le perdono;

- piantando uno o più rampicanti, in modo che si aggrappino direttamente alla facciata o ad una struttura leggera di cavi incrociati che può essere realizzata in orizzontale partendo dalla facciata, o in verticale a pochi cm di distanza dalla facciata. Il funzionamento estivo ed invernale è lo stesso che per gli alberi: deve essere scelto un tipo di rampicante che perda le foglie in inverno, in modo da ombreggiare in estate e consentire il soleggiamento in inverno.

Questo tipo di schermatura ha inoltre il vantaggio di influire positivamente sul microclima intorno all'edificio così come avviene per i tetti verdi.

5.2 - Gli interventi sugli impianti

Per conseguire un effettivo risparmio energetico, ad ogni intervento effettuato sull'involucro devono corrispondere interventi specifici sugli impianti.

Per le soluzioni impiantistiche è da considerare che l'efficienza energetica di un impianto termico è legata ai singoli componenti e quindi al sistema di produzione, distribuzione, emissione ed

al sistema di regolazione e controllo.

5.2.1 – Gli interventi sull'impianto di riscaldamento

Per migliorare le prestazioni dell'impianto di riscaldamento, è indispensabile la sostituzione del generatore di calore tradizionale con una caldaia a condensazione, oppure pompa di calore, o collegarsi alla rete di teleriscaldamento che rispetto alle tradizionali caldaie a gas parametri prestazionali migliori.

La coibentazione della rete di distribuzione del fluido termovettore diminuisce considerevolmente le perdite che caratterizzano generalmente gli impianti aumentando di conseguenza i guadagni.

La trasformazione dell'impianto di riscaldamento da autonomo a centralizzato permette notevoli vantaggi.

A parità di condizioni, un impianto centralizzato ben mantenuto ha un rendimento superiore rispetto ad uno autonomo in quanto il generatore con potenza più elevata che caratterizza l'impianto centralizzato, ha rendimenti maggiori rispetto ai rendimenti globali che generalmente caratterizzano il generatore individuale.

Una riqualificazione energetica avanzata dell'impianto di riscaldamento può essere caratterizzata dalla sostituzione del generatore di calore tradizionale con una pompa di calore geotermica in associazione ad un impianto solare termico, con conseguente forte innalzamento del risparmio energetico. Per interventi di questa entità, la quotazione e la valutazione dei costi è di fonda-

mentale importanza.

L'intervento sull'impianto di riscaldamento, assieme alla corretta coibentazione dell'edificio, permette il funzionamento a bassa temperatura dei terminali di emissione esistenti dando risposte positive al contenimento dei consumi.

Ulteriore intervento efficace è la sostituzione dei termosifoni con i pannelli radianti che garantiscono ulteriori risparmi rispetto ai termosifoni. Sebbene l'installazione dei pannelli radianti sia un intervento fortemente efficace sul risparmio globale dell'edificio, esso si contraddistingue anche per l'impatto notevole che provoca sull'immobile oggetto di intervento.

L'installazione dei pannelli radianti, infatti, avviene solitamente sotto il pavimento, ma può avvenire anche dietro le pareti o nel soffitto, divenendo parte integrante dell'edificio. L'installazione comporta quindi, interventi invasivi caratterizzati spesso da operazioni di demolizioni e costruzioni che obbligano gli utenti dell'immobile a risiedere in un'altra unità abitativa durante i lavori.

campo di applicazione	tipo di generatore	vettore energetico	parametro prestazionale
Gen	caldaia a condensazione	gas	$\eta_{H,gn} [-]$ 0,98
MUH	teleriscaldamento - sottostazione di scambio ad elevata efficienza	-	$Q_{ls,H,ss}$ [kWh/m ²] da determinare caso per caso (cfr. UNI/TS 11300-4)
SUH	pompa di calore ad aria	elettricità	COP 2,41
MUH	pompa di calore ad aria	elettricità	COP 2,14
Gen	pompa di calore geotermica	elettricità	COP 3,46

Tab. 10 - parametri prestazionali dei nuovi generatori di calore per il riscaldamento

5.2.2 – Gli interventi sull'impianto per la produzione di acqua calda sanitaria

Per migliorare le prestazioni dell'impianto per la produzione dell'acqua calda sanitaria, è indispensabile la coibentazione della rete di distribuzione dell'acqua calda e la sostituzione o la nuova installazione di un accumulo termico.

La sostituzione del generatore di calore tradizionale con una caldaia a condensazione può essere effettuata valutando, nei molteplici casi, l'installazione dell'impianto di produzione dell'acqua calda sanitaria con sistema individuale o sistema centralizzato.

Una riqualificazione energetica avanzata dell'impianto per la produzione di acqua calda sanitaria può essere caratterizzata dalla sostituzione del generatore di calore tradizionale con pompa di calore geotermica, oppure effettuando la sostituzione con pompa di calore geotermica con associazione all'impianto solare termico, oppure con caldaia a condensazione in associazione all'impianto solare termico.

campo di applicazione	tipo di generatore	vettore energetico	parametro prestazionale
Gen	bollitore elettrico ad accumulo	elettricità	$\eta_{H,gn} [-]$ 0,75
Gen	caldaia a condensazione a gas per ACS	gas	$\eta_{H,gn} [-]$ 0,95
SUH	pompa di calore ad aria (produzione combinata)	gas	COP 2,50

Tab. 11 - parametri prestazionali dei nuovi generatori di calore per impianto di ACS

5.2.3 – Gli interventi sull'impianto di raffrescamento

La diffusione massiccia di condizionatori elettrici è diventata un problema non solo per le fatture energetiche di famiglie e imprese, ma anche per il nostro sistema elettrico. Infatti, proprio a causa della crescita inarrestabile dei sistemi domestici di condizionamento, il picco di richiesta elettrica alla rete nazionale negli ultimi anni non si verifica più nella stagione invernale, bensì in quella estiva. Quindi, se si decide di acquistare un condizionatore elettrico, è importante prestare attenzione all'etichetta energetica per verificare che appartenga alla classe più efficiente.

Nel caso di sostituzione del tradizionale generatore di calore, si può optare ad una pompa di calore, che grazie alla possibilità di invertire il ciclo frigorifero può contribuire a soddisfare le esigenze di comfort termico in tutte le stagioni. Per impianti di una certa dimensione, è buona norma utilizzare terminali per il raffrescamento che siano caratterizzati da un'elevata efficienza, come i ventilconvettori e i pannelli radianti.

5.2.4 – Gli interventi sull'impianto di ventilazione

Generalmente negli edifici non progettati secondo particolari criteri di comfort e risparmio energetico, il ricambio dell'aria avviene in maniera non programmata, attraverso l'apertura di porte e finestre, sfruttando risorse naturali come il vento e l'effetto camino, ottenendo il ricambio d'aria di cui necessitano tutti gli ambienti abitati. Questi

usi comuni, che corrispondono a ricambi d'aria elevati, influiscono negativamente sul risparmio energetico dell'edificio.

La ventilazione meccanica permette il ricircolo d'aria programmato corrispondente a 0,5 vol/h, evitando le perdite di calore con l'apertura delle finestre.

5.2.5 – Gli interventi sull'impianto di illuminazione

L'illuminazione degli edifici residenziali rappresenta il 15-20% dei consumi elettrici generali. Fondamentale è quindi l'utilizzo di tecnologie più efficienti rispetto alle tradizionali lampade ad incandescenza. Tra le tecnologie a basso consumo energetico di possibile uso, sono presenti sul mercato le lampade fluorescenti compatte tradizionali ed elettroniche, le lampade alogene e le lampade al sodio.

tipo di lampade	potenza totale	utilizzo	consumo	spesa
incandescenza tradizionali 100 W	1,0 kW	1.500 ore/anno	1.500 kWh/anno	300 €/anno
fluorescenti compatte 25 W	0,25 kW	1.500 ore/anno	375 kWh/anno	75 €/anno

Tab. 12 - differenze di consumo tra lampade ad incandescenza tradizionali e lampade fluorescenti compatte

5.2.6 – Installazione di sistemi per il controllo e l'automazione

Il controllo e l'automazione permettono di consumare l'energia solo dove e quando serve.

I termostati ambiente, le valvole termostatiche e le sonde di temperatura esterne sono meccanismi di termoregolazione che permettono il controllo del calore dentro l'ambiente abitato. In questo modo si può consumare meno energia nelle giornate più serene, quando il sole è sufficiente per riscaldare alcune stanze, oppure ad esempio, impostare una temperatura più bassa nelle stanze da letto ed una più alta in bagno o anche lasciare i radiatori al minimo quando si esce di casa.

L'utilizzo dei sistemi di termoregolazione abbinati ad un sistema di contabilizzazione del calore hanno il vantaggio di usufruire dell'impianto centralizzato che garantisce il reale risparmio energetico rispetto all'impianto autonomo e la regolazione della temperatura secondo i propri orari ed esigenze.

Alla quantità di calore emessa corrisponde un addebito della spesa corrispondente ai consumi effettivi. Il vantaggio principale dei sistemi di controllo si riflette sull'utilizzo parsimonioso del calore da parte dell'utente in grado di gestire autonomamente la temperatura interna. Si ottiene una suddivisione delle spese di riscaldamento più equa in funzione degli effettivi consumi di ogni utente, abbandonando il classico sistema di suddivisione delle spese di riscaldamento a millesimi.

Il risparmio di energia indotto dall'utilizzo di meccanismi di termoregolazione e contabilizzazione può arrivare fino al 20%.

Ulteriori tecnologie atte a migliorare la qualità della vita e ad ottimizzare l'utilizzo degli impianti sono quelle facenti parte del mondo della domotica che permette l'automazione domestica ad alta efficienza coniugando elettronica ed in-

formatica.

La casa domotica è in grado di modificare la configurazione dei suoi apparati in funzione di variabili interne ed esterne.

L'impianto domotico è in grado di gestire in maniera coordinata le funzioni tradizionalmente svolte da singoli dispositivi come interruttori, videocitofoni e sistemi di allarme.

Grazie alla sinergia realizzata dalle applicazioni domotiche, è possibile gestire in modo intelligente l'impiantistica influenzando positivamente sul consumo energetico calcolato nell'ordine del 30%.

Per quanto riguarda la termoregolazione è possibile scegliere la temperatura di ogni singola stanza a seconda della sua localizzazione e del momento della giornata in cui la si utilizza. È possibile escludere gli ambienti non utilizzati da non riscaldare. L'attivazione dell'impianto tiene conto dell'esposizione e quindi dell'irraggiamento solare.

La gestione dell'illuminazione artificiale avviene in funzione della presenza di persone e della quantità di luce naturale disponibile.

La visualizzazione dei consumi permette di aiutare l'utente a modificare le proprie abitudini sbagliate e ad intervenire per migliorarle. Il sistema fornisce all'utente i dati istantanei e cumulati sul touch screen, sottoforma di grafici e tabelle che facilitano l'interpretazione, nonché una valutazione quantitativa della spesa economica. L'utente che produce elettricità ed acqua calda sanitaria, attraverso tecnologie attivate da fonti rinnovabili (pannelli fotovoltaici, impianto solare termico, etc.) potrà visualizzare anche i parametri della produzione.

L'impianto domotico può essere controllato in remoto. Quando non si è presenti in casa si può avere il controllo dell'intera impiantistica attraverso il telefono cellulare o un computer connessi ad internet, utilizzando applicazioni dedicate.

5.2.7 – L'utilizzo di fonti rinnovabili

Dotare gli edifici da impianti caratterizzati da elementi che producono energia da fonti rinnovabili permette di produrre energia pulita da fonti inesauribili avendone così in quantità illimitata e rigenerabile nel tempo.

Il tema delle fonti rinnovabili è di preponderante importanza per il risparmio energetico del settore edilizio in quanto permette di limitare i costi di produzione e distribuzione dell'energia.

Secondo la normativa italiana vengono considerate fonti energetiche rinnovabili (FER) il sole, il vento, le risorse idriche, le risorse geotermiche, le maree, il moto ondoso e la trasformazione in energia elettrica dei prodotti vegetali o dei rifiuti organici e inorganici.

Nel settore della riqualificazione energetica si ricorre spesso all'uso dell'energia solare che ha molti vantaggi poiché inesauribile e risorsa di immediata reperibilità. Essa viene utilizzata per generare elettricità tramite l'impianto di pannelli fotovoltaici o per generare calore tramite l'impianto solare termico.

Anche l'uso dell'energia geotermica è frequentemente utilizzata nella riqualificazione dell'esistente in quanto generata per mezzo di fonti geologiche di calore. La geotermia a bassa entalpia sfrutta gli strati superficiali del terreno, entro i

200 metri di profondità, con un impianto geotermico che sottrae o fornisce energia termica attraverso le sonde geotermiche innestate nel terreno.

6 - PROGETTO: RIQUALIFICAZIONE DI UN CONDOMINIO SITO A MILANO

6.1 - Inquadramento generale

Il condominio oggetto di analisi è stato scelto in quanto rispecchia un caso reale di riqualificazione energetica. I condomini, infatti, hanno deciso di far fronte ad un investimento incentrato su specifici interventi sull'edificio che porteranno alla riduzione dei consumi di energia e quindi ai risparmi in termini monetari.

Il condominio sito a Milano in via Don Rodrigo è stato costruito nel 1965.



Fig. 4 - ortofoto del condominio tra via Don Rodrigo e via Fra Cristoforo



Fig. 5 - panoramica del condominio tra via Don Rodrigo e via Fra Cristoforo

L'edificio è caratterizzato complessivamente da 18 piani fuori terra e da un piano interrato adibito al ricovero delle autovetture, alle cantine ed al vano tecnico degli impianti.

Ogni piano fuori terra è caratterizzato da sei unità abitative adibite rispettivamente a due trilocali, due bilocali e due monolocali.

Eccezione è il piano terra, dove centralmente, si lascia ampio spazio all'atrio ed alla portineria, ospitando così solamente due unità abitative adibite a trilocali e due unità adibite a commerciale.

Il 17esimo ed il 18esimo piano sono identici agli altri presenti ai piani inferiori, con un'unica differenza di grandezza che riguarda il balcone rivolto a sud. Il balcone, infatti, risulta essere più sporgente sui lati più corti dello stesso.

Complessivamente l'edificio ospita 105 unità abitative e due unità commerciali.

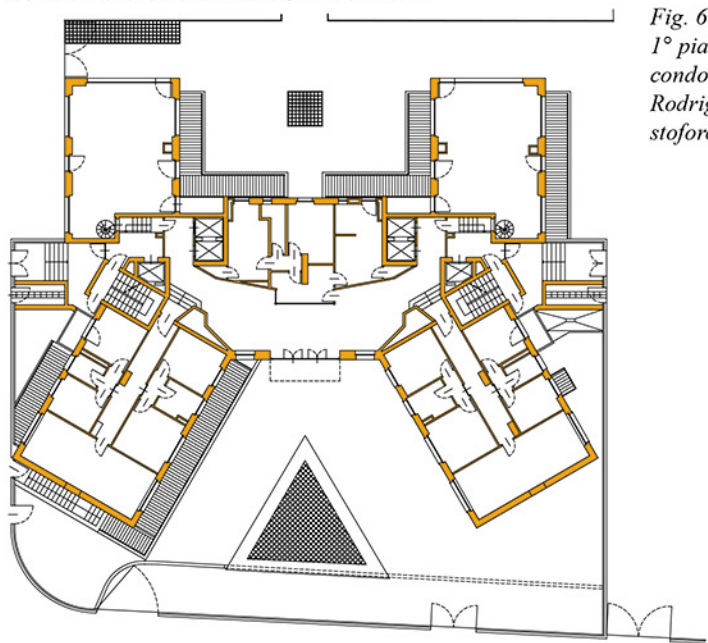


Fig. 6 - planimetria del 1° piano fuori terra del condominio tra via Don Rodrigo e via Fra Cristoforo

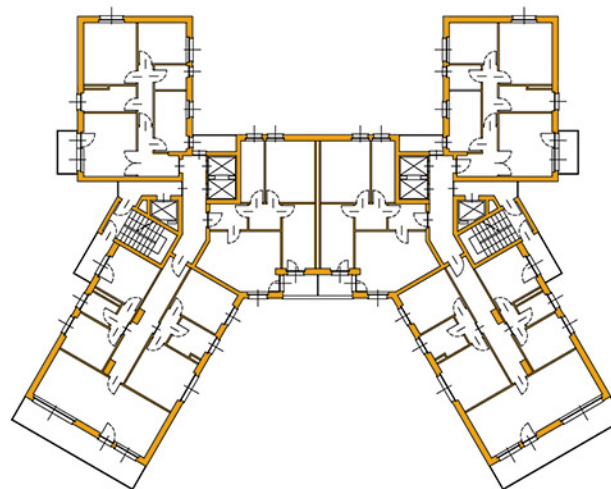


Fig. 7 - planimetria dal 2° al 16° piano fuori terra del condominio tra via Don Rodrigo e via Fra Cristoforo

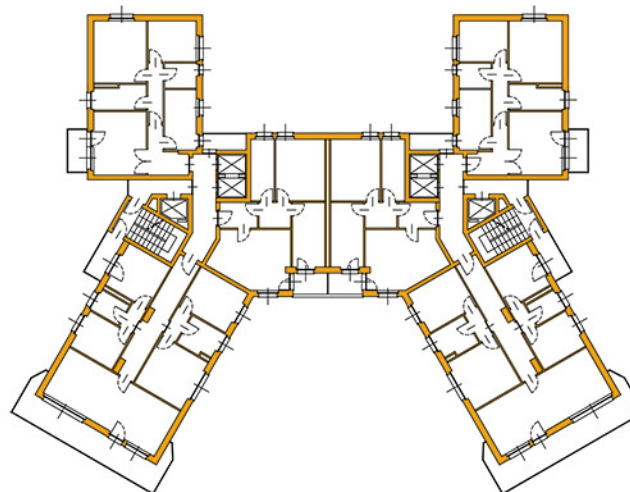


Fig. 8 - planimetria del 17° e 18° piano fuori terra del condominio tra via Don Rodrigo e via Fra Cristoforo

Come si evince dalle planimetrie, il disegno che compone l'edificio non segue un andamento del tutto ortogonale, ma si caratterizza per la sua dinamicità che viene percepita esternamente dai fronti composti da tamponature aventi spesso l'affaccio sul duplice asse: sud/est, sud/ovest, nord/ovest, nord/est.



Fig. 9 - foto del fronte nord



Fig. 10 - foto del fronte nord/est



Fig. 11 - foto del fronte ovest



Fig. 12 - foto del fronte sud/ovest

Rispetto alla “Matrice delle Tipologie Edilizie” di riferimento, sviluppata nel progetto TABULA e delineata nel capitolo 4 - paragrafo 4.4, l’edificio oggetto di studio si identifica nella classe edilizia “blocco di appartamenti” e rientra nella classe di epoca di costruzione numero 5 che rappresenta la fascia temporale tra l’anno 1961 e l’anno 1975.

Le caratteristiche geometriche che compongono l’edificio sono riassunte nella seguente tabella:

classe di dimensione edilizia	classe di epoca di costruzione	volume lordo climatizz. [m ³]	superficie utile di pavimento [m ²]	superficie lorda di pavimento [m ²]	rapporto di forma [m ⁻¹]	n. piani	n. appartamenti
blocco di appartamenti	5 1961-1975	28.746	7.980	9.485	0,42	18	105

Tab. 13 - caratteristiche geometriche dell’edificio oggetto di studio

6.1.1 - Gli elementi opachi

La struttura è composta da un telaio in cemento armato e tamponata da un pacchetto murario con intercapedine interna.

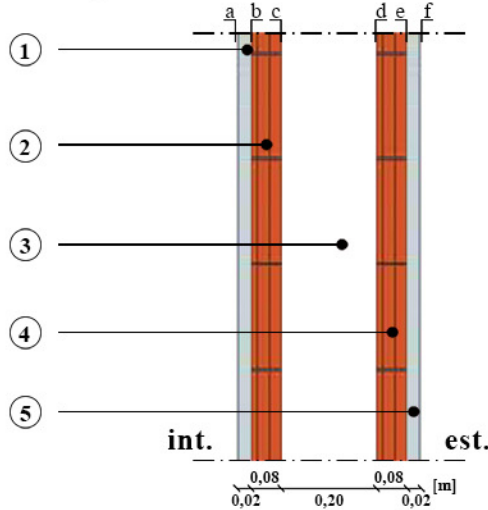


Fig. 13 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco verticale di tamponamento

stratigrafia (int-est)	S [m]	ρ [kg/m ³]	c [kJ/kgK]	λ [w/mk]	R [m ² k/w]
1 intonaco di calce e gesso	0,02	1400	1,00	0,70	0,03
2 blocco forato	0,08	800	0,84	0,30	0,27
3 aria	0,20	1,29	-	0,026	0,16
4 mattone forato	0,08	800	0,84	0,30	0,27
5 intonaco di calce	0,02	1800	1,00	0,90	0,02

Tab. 14 - caratteristiche della stratigrafia dell'elemento opaco verticale di tamponamento

$$R_{tot} = 1/limi + \sum S/\lambda + 1/limo$$

$$R_{tot} = 1/8 + 0,02/0,7 + 0,08/0,3 + 0,16 + 0,08/0,3 + 0,02/0,9 + 1/23 = 0,91 \text{ m}^2\text{k/W}$$

$$U = 1/0,91 = 1,10 \text{ W/m}^2\text{k}$$

dove:
 R_{tot} resistenza totale [m²k/W]
 $limi$ liminare interno [W/m²k]
 $limo$ liminare esterno [W/m²k]
 S spessore [m]
 λ condicubilità termica [W/mk]
 U trasmittanza termica [W/m²k]

Il solaio di copertura che chiude l'edificio al diciottesimo piano fuori terra è caratterizzato dalla composizione di pignatte e cemento, tipica tipologia diffusa tra il 1930 ed il 1975, ed è di tipo praticabile.

La stratigrafica del solaio di copertura si compone come di seguito illustrata:

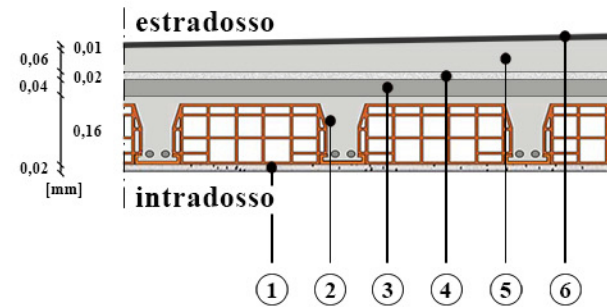


Fig. 14 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che caratterizza la copertura al 18° p.f.t.

stratigrafia (int-est)	S [m]	ρ [kg/m ³]	c [kJ/kgK]	λ [w/mk]	R [m ² k/W]
1 intonaco di calce e gesso	0,02	1400	1,00	0,70	0,03
2 soletta in laterocemento	0,16	900	1,00	0,53	0,30
3 calcestruzzo armato	0,04	2400	-	2,3	0,02
4 malta di cemento	0,02	2000	1,00	0,06	0,33
5 massetto in cls	0,06	1900	1,00	1,06	0,06
6 membrana bitum impermeabile	0,009	-	-	0,03	0,30

Tab. 15 - caratteristiche della stratigrafia dell'elemento opaco orizzontale che caratterizza la copertura al 18° p.f.t.

$$R_{tot} = 1/limi + \sum S/\lambda + 1/limo$$

$$R_{tot} = 1/9,3 + 0,02/0,70 + 0,16/0,53 + 0,04/2,3 + 0,02/0,06 + 0,06/1,06 + 0,009/0,03 + 1/23 = 1,19 \text{ m}^2\text{k/W}$$

$$U = 1/0,94 = 0,84 \text{ W/m}^2\text{k}$$

dove:
 R_{tot} resistenza totale [m²k/W]
 $limi$ liminare interno [W/m²k]
 $limo$ liminare esterno [W/m²k]
 S spessore [m]
 λ condicubilità termica [W/mk]
 U trasmittanza termica [W/m²k]

Anche i solai che dividono le unità abitative ed il solaio che divide l'unità abitativa al primo piano fuori terra dal sotterraneo, sono in laterocemento. La stratigrafia si compone come di seguito illustrata:

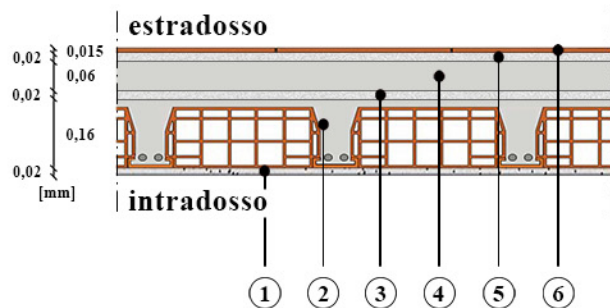


Fig. 15 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo

stratigrafia (int-est)	S [m]	ρ [kg/m ³]	c [kJ/kgK]	λ [w/mk]	R [m ² k/W]
1 intonaco di calce e gesso	0,02	1400	1,00	0,70	0,03
2 soletta in laterocemento	0,16	900	1,00	0,53	0,30
3 malta di cemento	0,02	2000	1,00	0,06	0,33
4 massetto in cls	0,06	1900	1,00	1,06	0,06
5 malta di cemento	0,02	2000	1,00	0,06	0,33
6 pavimentazione gres ceramico	0,015	2300	0,80	1,00	0,015

Tab. 16 - caratteristiche della stratigrafia dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo

$$R_{tot} = 1/limi + \sum S/\lambda + 1/limo$$

$$R_{tot} = 1/5,8 + 0,02/0,70 + 0,16/0,53 + 0,02/0,06 + 0,06/1,06 + 0,02/0,06 + 0,015/1,00 + 1/16 = 1,30 \text{ m}^2\text{k/W}$$

$$U = 1/1,34 = 0,77 \text{ W/m}^2\text{k}$$

dove:

R_{tot} resistenza totale [m²k/W]
 $limi$ liminare interno [W/m²k]
 $limo$ liminare esterno [W/m²k]
 S spessore [m]
 λ conduttività termica [W/mk]
 U trasmittanza termica [W/m²k]

N.B.: la U riportata si riferisce all'elemento opaco disperdente, e quindi, al solaio che divide l'unità abitativa al primo piano fuori terra ed il sotterraneo.

I valori che riguardano lo spessore S [m] di ogni strato sono utilizzati prendendo come riferimento gli elementi opachi più comunemente utilizzati durante la fascia temporale tra il 1930 ed il 1975.

I valori generici di massa volumica ρ [kg/m³], calore specifico c [kJ/kgK], conduttività termica λ [w/mk] e resistenza totale R_{tot} [m²k/W] sono utilizzati prendendo come riferimento i valori dei materiali da costruzione, delle murature e dei solai definiti nella UNI 10351 e nella UNI 10355 in quanto i materiali esistenti sono già in opera e non è possibile ricavare le specifiche prestazionali direttamente dalle schede tecniche di prodotto.

I calcoli di trasmittanza termica per ogni elemento opaco di involucro, sono stati effettuati utilizzando i valori dei coefficienti liminari descritti nella seguente tabella così come delineato nella UNI EN ISO 6946.

TIPOLOGIA DI INVOLUCRO		a contatto con: - esterno - passaggio aperto o esterno - locale aperto	a contatto con: - altro locale riscaldato o no - sottotetto - spazio sanitario
involucro verticale	int. est.	limi = 8 W/m ² k lime = 23 W/m ² k	limi = 8 W/m ² k lime = 8 W/m ² k
involucro orizzontale flusso ascendente	est. int.	limi = 9,3 W/m ² k lime = 23 W/m ² k	limi = 9,3 W/m ² k lime = 9,3 W/m ² k
involucro orizzontale flusso discendente	int. est.	limi = 5,8 W/m ² k lime = 16 W/m ² k	limi = 5,8 W/m ² k lime = 5,8 W/m ² k

Tab. 17 - valori dei coefficienti liminari rispetto alla tipologia di involucro

6.1.2 - Gli elementi trasparenti

I serramenti e le vetrine sono caratterizzati da telaio in metallo senza taglio termico e vetro singolo senza alcun rivestimento selettivo.



Fig. 16-17 - foto della tipologia di serramento in alluminio che caratterizza il condominio



Fig. 18-19 - foto della tipologia di serramento in alluminio che caratterizza il condominio

Non disponendo di informazioni precise sulla natura dei serramenti, si utilizzano i valori di trasmittanza termica piana del vetro e del telaio

riportati in Tabella 10.5 ed in Tabella 10.6 descritte nella UNI TS/11300-1.

tipo di vetro	U_g [W/m ² K]
vetro singolo	5,7
vetro singolo selettivo	3,2
doppio vetro normale	3,3
doppio vetro con rivestimento selettivo	2,0
triplo vetro normale	1,8
triplo vetro con rivestimento selettivo	1,4

Tab. 18 - valori di trasmittanza termica U_g per alcuni tipi di vetro - tabella 10.5 presente nella UNI TS/11300-1

materiale	tipo	U_t [W/m ² K]
poliuretano	con anima di metallo e spessore di PUR ≥ 5	2,8
PVC profilo vuoto	con due camere cave	2,2
	con tre camere cave	2,0
legno duro	spessore 70 mm	2,1
legno tenero	spessore 70 mm	1,8
metallo	-	5,5
metallo con taglio termico	distanza minima di 20 mm tra sezioni opposte di metallo	2,4

Tab. 19 - valori di trasmittanza termica U_t per alcuni tipi di telaio - tabella 10.6 presente nella UNI TS/11300-1

Rispetto ai rilievi delle misure dei serramenti e delle vetrine effettuati durante i sopralluoghi in loco, si calcola la trasmittanza per ogni elemento con la seguente formula:

$$U_w = \frac{(A_g \times U_g) + (A_f \times U_f) + (P_g \times \Psi_i)}{A_{tot}}$$

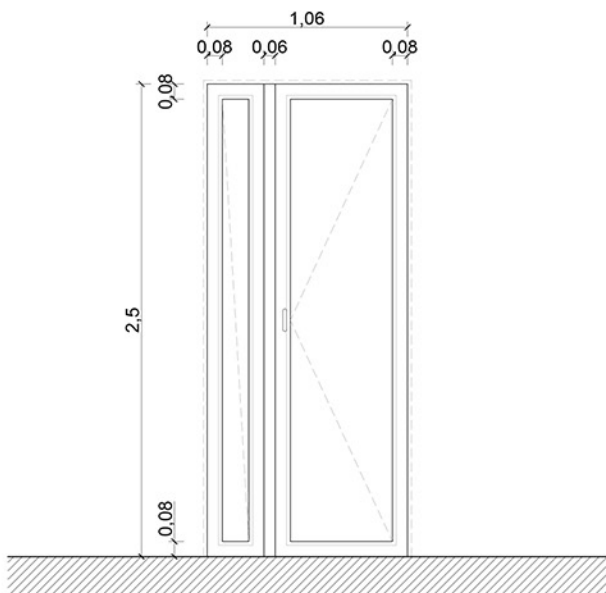


Fig. 20 - serramento: tipologia A - porta finestra a battente

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	2,65 m ²
area vetro	A _g	1,59 m ²
area telaio	A _f	1,06 m ²
perimetro vetro	P _g	10,72 m

Tab. 20 - dati geometrici del serramento tipologia A

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 21 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia A

$$U_w = \frac{(1,59 \times 5,7) + (1,06 \times 5,5)}{2,65} = 5,62 \text{ W/m}^2\text{K}$$

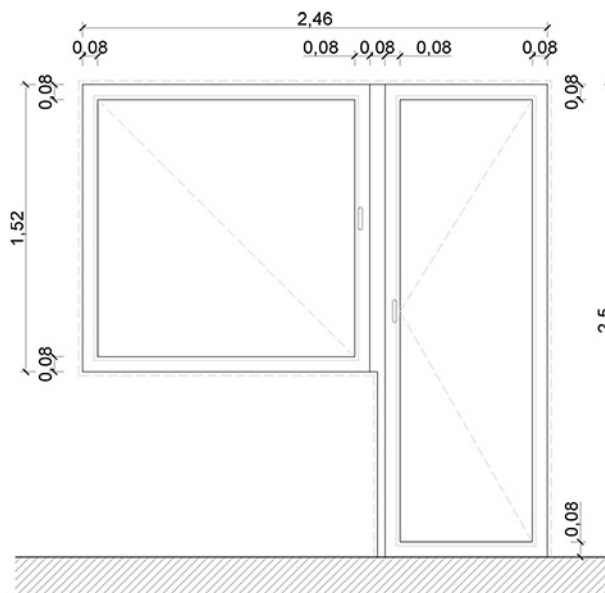


Fig. 21 - serramento: tipologia B - porta finestra a battente e finestra fissa

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	4,62 m ²
area vetro	A _g	3,49 m ²
area telaio	A _f	1,13 m ²
perimetro vetro	P _g	11,52 m

Tab. 22 - dati geometrici del serramento tipologia B

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 23 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia B

$$U_w = \frac{(3,49 \times 5,7) + (1,13 \times 5,5)}{4,62} = 5,65 \text{ W/m}^2\text{K}$$

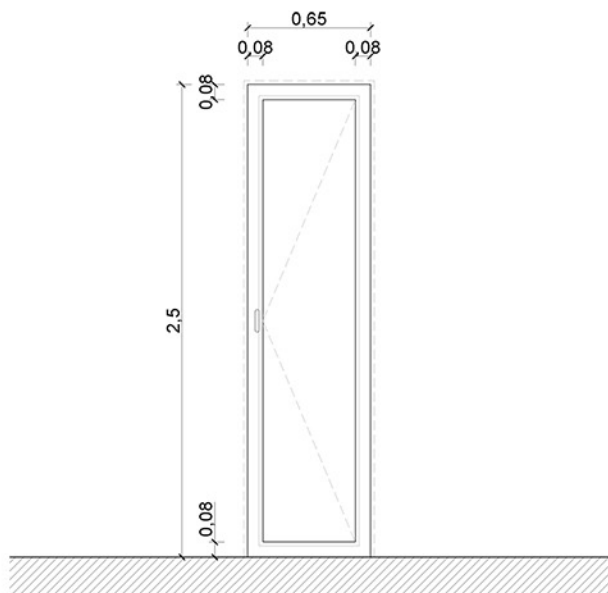


Fig. 22 - serramento: tipologia C - porta finestra a battente

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	1,63 m ²
area vetro	A _g	1,15 m ²
area telaio	A _f	0,48 m ²
perimetro vetro	P _g	5,66 m ²

Tab. 24 - dati geometrici del serramento tipologia C

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 25 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia C

$$U_w = \frac{(1,15 \times 5,7) + (0,48 \times 5,5)}{1,63} = 5,64 \text{ W/m}^2\text{K}$$

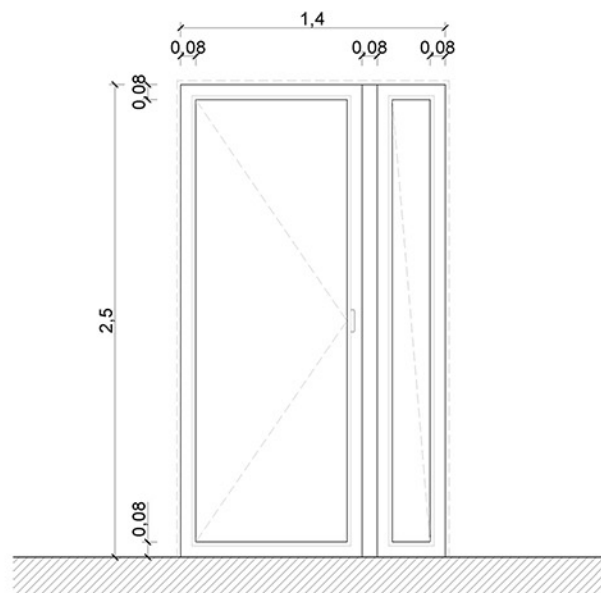


Fig. 23 - serramento: tipologia D - porta finestra a battente con parte fissa

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	3,50 m ²
area vetro	A _g	2,34 m ²
area telaio	A _f	1,16 m ²
perimetro vetro	P _g	11,36 m ²

Tab. 26 - dati geometrici del serramento tipologia D

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 27 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia D

$$U_w = \frac{(2,34 \times 5,7) + (1,16 \times 5,5)}{3,50} = 5,63 \text{ W/m}^2\text{K}$$

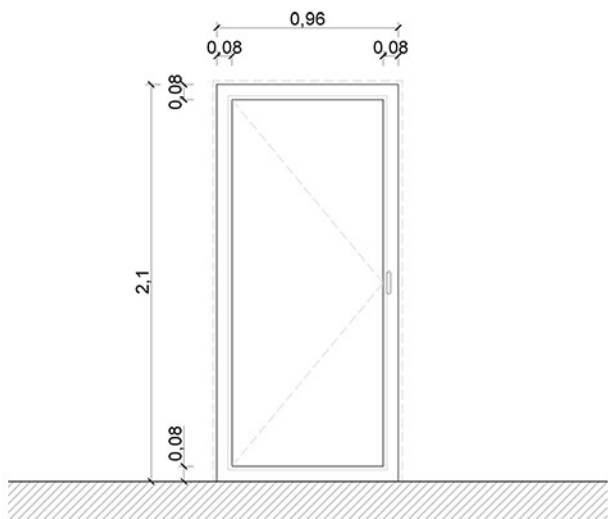


Fig. 24 - serramento: tipologia E - porta finestra a battente

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	2,02 m ²
area vetro	A _g	1,55 m ²
area telaio	A _f	0,47 m ²
perimetro vetro	P _g	5,48 m

Tab. 28 - dati geometrici del serramento tipologia E

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrate singole) il parametro assume valore zero

Tab. 29 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia E

$$U_w = \frac{(1,55 \times 5,7) + (0,47 \times 5,5)}{2,02} = 5,65 \text{ W/m}^2\text{K}$$

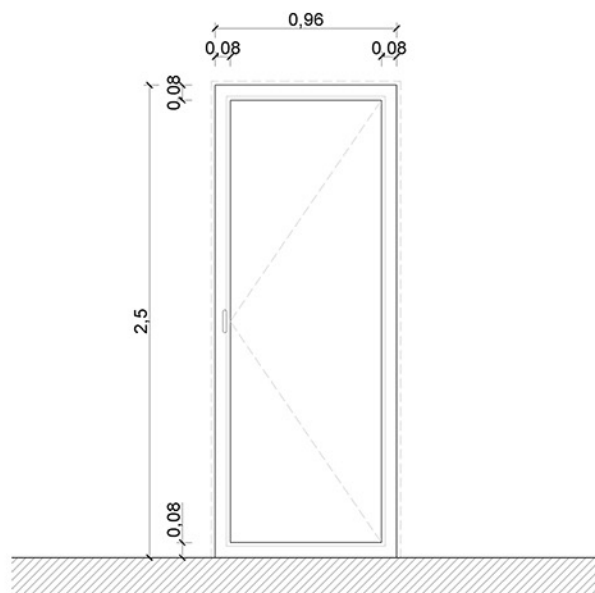


Fig. 25 - serramento: tipologia F - porta finestra a battente

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	2,40 m ²
area vetro	A _g	1,87 m ²
area telaio	A _f	0,53 m ²
perimetro vetro	P _g	6,28 m

Tab. 30 - dati geometrici del serramento tipologia F

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrate singole) il parametro assume valore zero

Tab. 31 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia F

$$U_w = \frac{(1,87 \times 5,7) + (0,53 \times 5,5)}{2,40} = 5,66 \text{ W/m}^2\text{K}$$

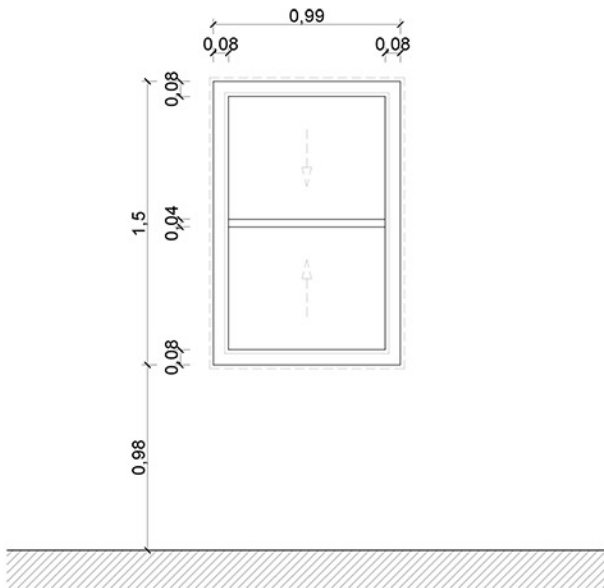


Fig. 26 - serramento: tipologia G - finestra scorrevole

dati geometrici		
area totale	Atot	1,48 m ²
area vetro	Ag	1,08 m ²
area telaio	Af	0,40 m ²
perimetro vetro	Pg	5,92 m

Tab. 32 - dati geometrici del serramento tipologia G

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	Ug	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	Uf	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψi	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 33 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia G

$$U_w = \frac{(1,08 \times 5,7) + (0,40 \times 5,5)}{1,48} = 5,65 \text{ W/m}^2\text{K}$$

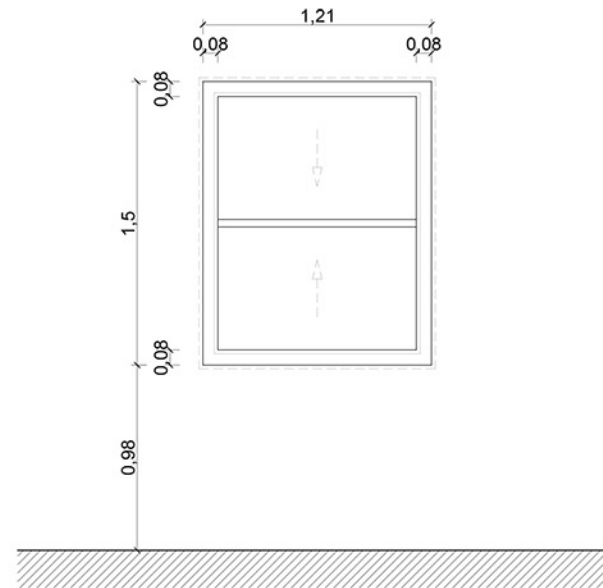


Fig. 27 - serramento: tipologia H - finestra scorrevole

dati geometrici		
area totale	Atot	1,82 m ²
area vetro	Ag	1,36 m ²
area telaio	Af	0,46 m ²
perimetro vetro	Pg	6,80 m

Tab. 34 - dati geometrici del serramento tipologia H

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	Ug	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	Uf	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψi	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 35 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia H

$$U_w = \frac{(1,36 \times 5,7) + (0,46 \times 5,5)}{1,82} = 5,65 \text{ W/m}^2\text{K}$$

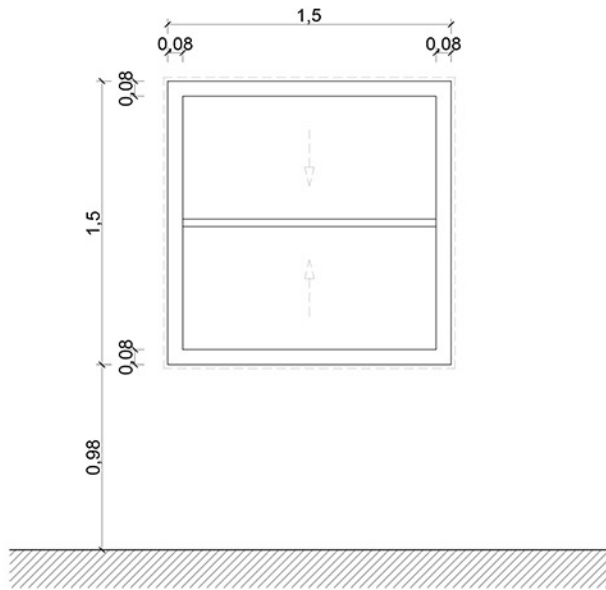


Fig. 28 - serramento: tipologia I - finestra scorrevole

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	2,25 m ²
area vetro	A _g	1,74 m ²
area telaio	A _f	0,51 m ²
perimetro vetro	P _g	7,96 m

Tab. 36 - dati geometrici del serramento tipologia I

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 37 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia I

$$U_w = \frac{(1,74 \times 5,7) + (0,51 \times 5,5)}{2,25} = 5,66 \text{ W/m}^2\text{K}$$

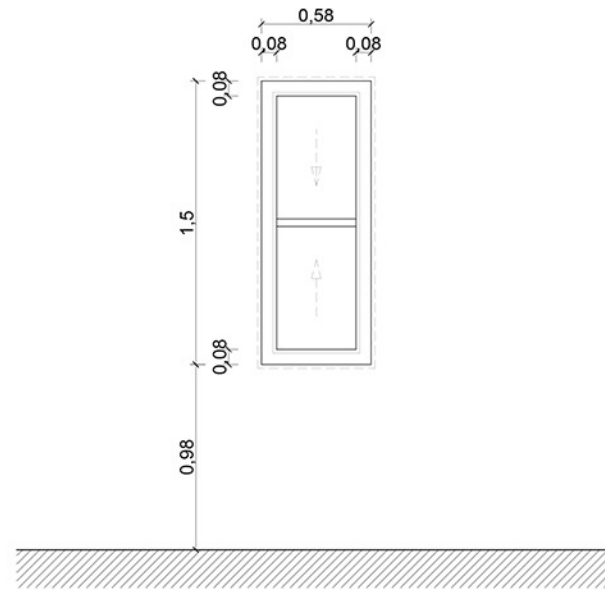


Fig. 29 - serramento: tipologia L - finestra scorrevole

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	0,87 m ²
area vetro	A _g	0,54 m ²
area telaio	A _f	0,33 m ²
perimetro vetro	P _g	4,28 m

Tab. 38 - dati geometrici del serramento tipologia L

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 39 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia L

$$U_w = \frac{(0,54 \times 5,7) + (0,33 \times 5,5)}{0,87} = 5,62 \text{ W/m}^2\text{K}$$

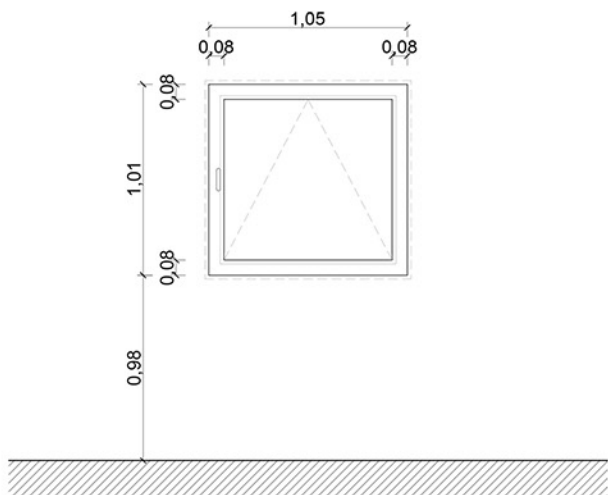


Fig. 30 - serramento: tipologia M - finestra a vasistas

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	1,06 m ²
area vetro	A _g	0,76 m ²
area telaio	A _f	0,30 m ²
perimetro vetro	P _g	3,48 m ²

Tab. 40 - dati geometrici del serramento tipologia M

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 41 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia M

$$U_w = \frac{(0,76 \times 5,7) + (0,30 \times 5,5)}{1,06} = 5,64 \text{ W/m}^2\text{K}$$

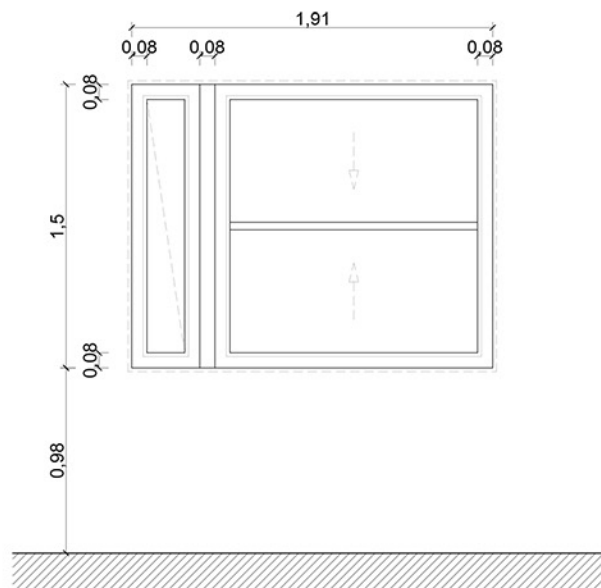


Fig. 31 - serramento: tipologia N - finestra scorrevole con parte fissa

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	2,87 m ²
area vetro	A _g	1,97 m ²
area telaio	A _f	0,90 m ²
perimetro vetro	P _g	10,92 m ²

Tab. 42 - dati geometrici del serramento tipologia N

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 43 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia N

$$U_w = \frac{(1,97 \times 5,7) + (0,90 \times 5,5)}{2,87} = 5,64 \text{ W/m}^2\text{K}$$

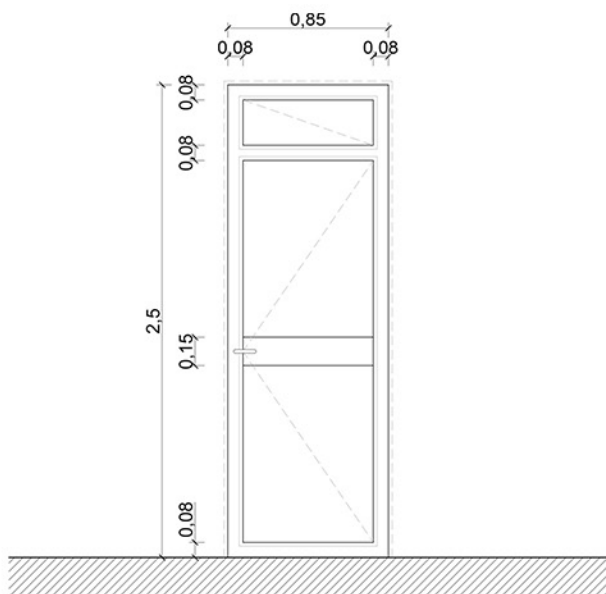


Fig. 32 - serramento: tipologia O - finestra scorrevole

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	2,13 m ²
area vetro	A _g	1,46 m ²
area telaio	A _f	0,67 m ²
perimetro vetro	P _g	8,36 m ²

Tab. 44 - dati geometrici del serramento tipologia O

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 45 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia O

$$U_w = \frac{(1,46 \times 5,7) + (0,67 \times 5,5)}{2,13} = 5,64 \text{ W/m}^2\text{K}$$

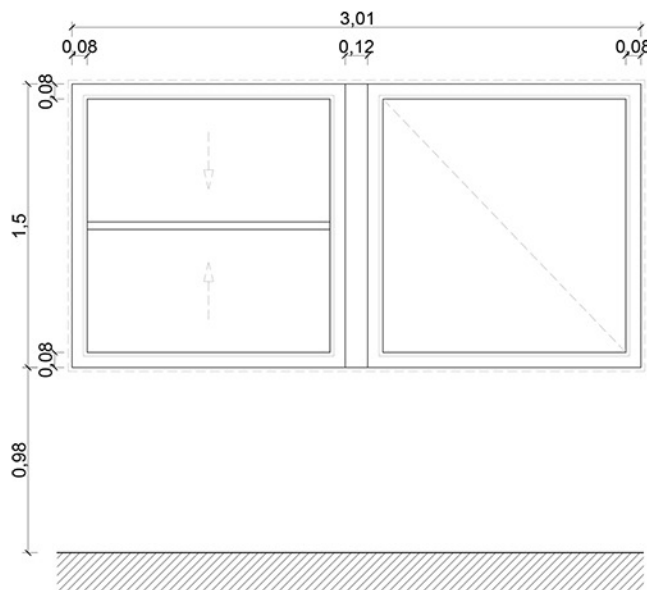


Fig. 33 - serramento: tipologia P - finestra scorrevole e finestra fissa

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	4,52 m ²
area vetro	A _g	3,38 m ²
area telaio	A _f	1,14 m ²
perimetro vetro	P _g	12,99 m ²

Tab. 46 - dati geometrici del serramento tipologia P

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 47 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia P

$$U_w = \frac{(3,38 \times 5,7) + (1,14 \times 5,5)}{4,52} = 5,65 \text{ W/m}^2\text{K}$$

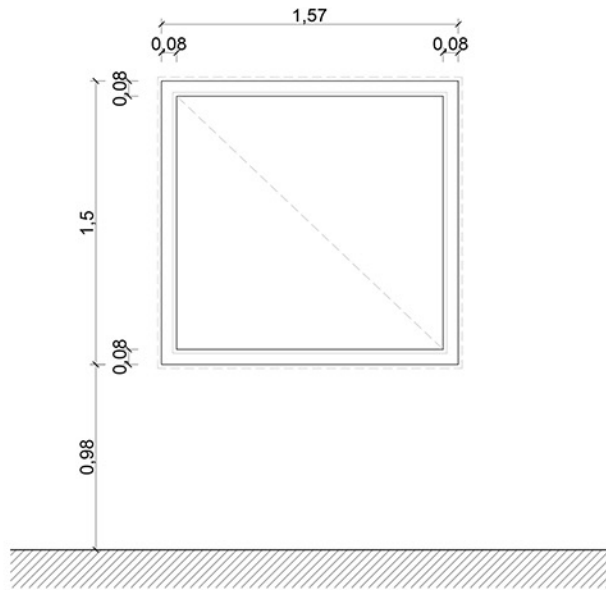


Fig. 34 - serramento: tipologia Q - finestra fissa

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	2,36 m ²
area vetro	A _g	1,89 m ²
area telaio	A _f	0,47 m ²
perimetro vetro	P _g	5,50 m ²

Tab. 48 - dati geometrici del serramento tipologia Q

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 49 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia Q

$$U_w = \frac{(1,89 \times 5,7) + (0,47 \times 5,5)}{2,36} = 5,66 \text{ W/m}^2\text{K}$$

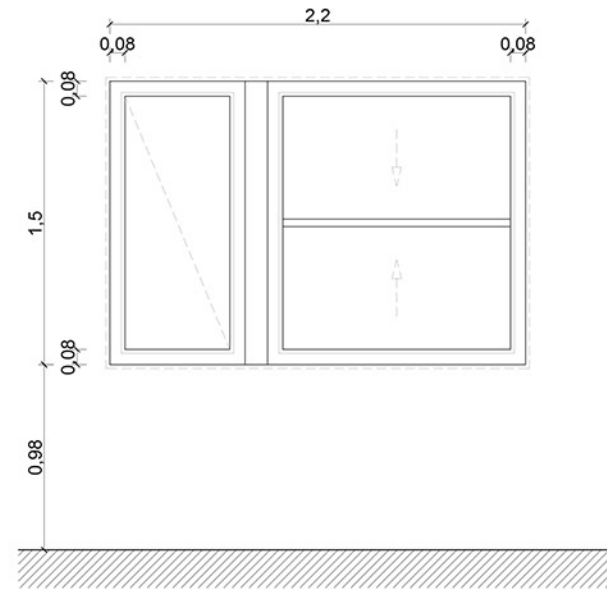


Fig. 35 - serramento: tipologia R - finestra scorrevole con parte fissa

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	3,30 m ²
area vetro	A _g	2,30 m ²
area telaio	A _f	1,00 m ²
perimetro vetro	P _g	11,21 m ²

Tab. 50 - dati geometrici del serramento tipologia R

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 51 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia R

$$U_w = \frac{(2,30 \times 5,7) + (1,00 \times 5,5)}{3,30} = 5,64 \text{ W/m}^2\text{K}$$

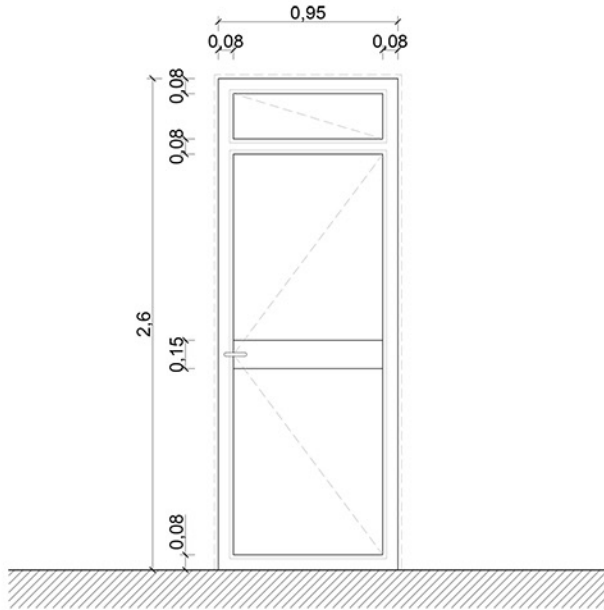


Fig. 36 - serramento: tipologia S - porta finestra a battente con parte fissa

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	2,47 m ²
area vetro	A _g	1,75 m ²
area telaio	A _f	0,72 m ²
perimetro vetro	P _g	9,16 m

Tab. 52 - dati geometrici del serramento tipologia S

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 53 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia S

$$U_w = \frac{(1,75 \times 5,7) + (0,72 \times 5,5)}{2,47} = 5,64 \text{ W/m}^2\text{K}$$

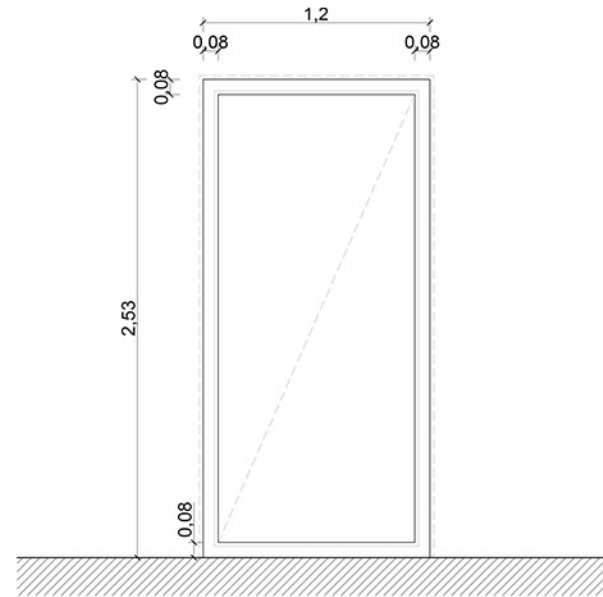


Fig. 37 - serramento: tipologia T - porta finestra fissa

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	3,03 m ²
area vetro	A _g	2,46 m ²
area telaio	A _f	0,57 m ²
perimetro vetro	P _g	6,82 m

Tab. 54 - dati geometrici del serramento tipologia T

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 55 - valori delle trasmissioni termiche del serramento tipologia T

$$U_w = \frac{(2,46 \times 5,7) + (0,57 \times 5,5)}{3,03} = 5,66 \text{ W/m}^2\text{K}$$

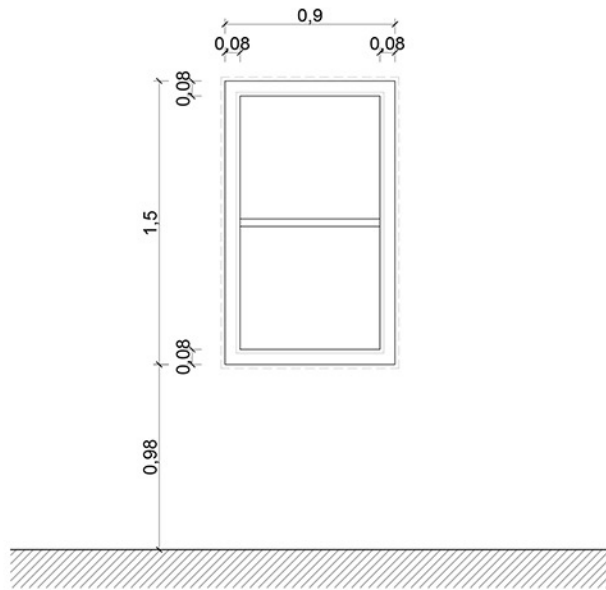


Fig. 38 - serramento:
tipologia U - finestra
scorrevole

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	1,35 m ²
area vetro	A _g	0,96 m ²
area telaio	A _f	0,39 m ²
perimetro vetro	P _g	5,56 m

Tab. 56 - dati geometrici
del serramento tipo-
logia U

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrate singole) il parametro assume valore zero

Tab. 57 - valori delle
trasmissioni termiche
del serramento tipo-
logia U

$$U_w = \frac{(0,96 \times 5,7) + (0,39 \times 5,5)}{1,35} =$$

$$= \boxed{5,64 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

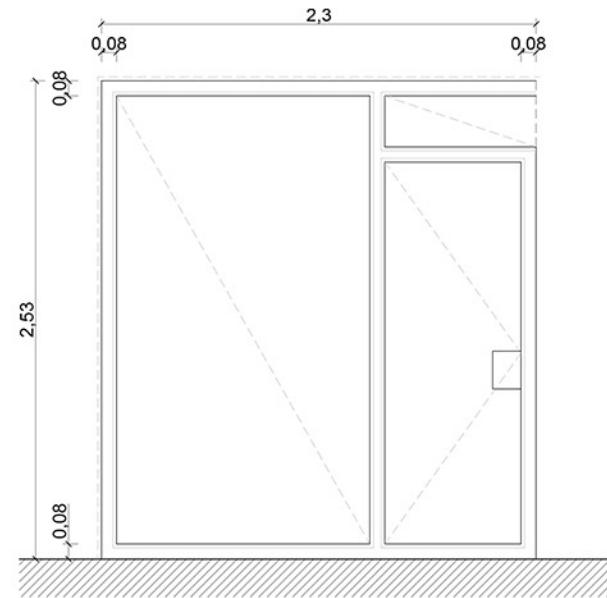


Fig. 39 - serramento:
tipologia V - finestra a
battente con parti fisse

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	5,82 m ²
area vetro	A _g	4,82 m ²
area telaio	A _f	1,00 m ²
perimetro vetro	P _g	15,34 m

Tab. 58 - dati geometrici
del serramento tipo-
logia V

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrate singole) il parametro assume valore zero

Tab. 59 - valori delle
trasmissioni termiche
del serramento tipo-
logia V

$$U_w = \frac{(4,82 \times 5,7) + (1,00 \times 5,5)}{5,82} =$$

$$= \boxed{5,67 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

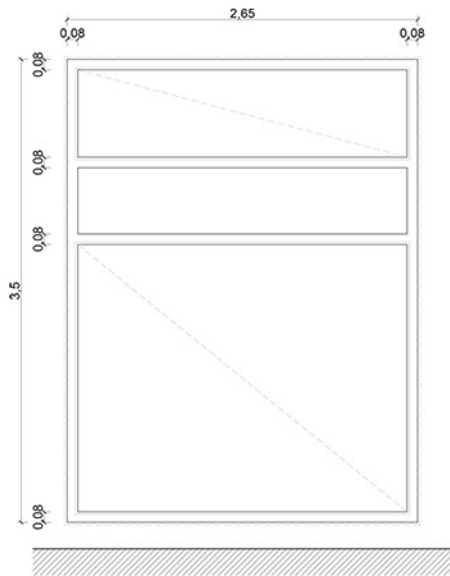


Fig. 40 - serramento vetrina: tipologia 1 - vetrina fissa con spazio insegna

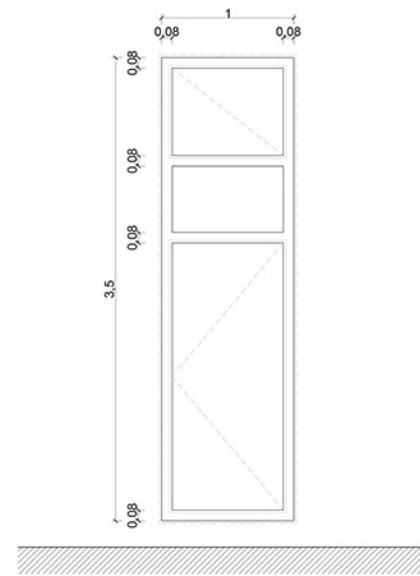


Fig. 41 - serramento vetrina: tipologia 2 - vetrina a battente con parte superiore fissa e spazio insegna

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	9,28 m ²
area vetro	A _g	6,67 m ²
area telaio	A _f	2,61 m ²
perimetro vetro	P _g	15,32 m

Tab. 60 - dati geometrici del serramento vetrina tipologia 1

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	3,50 m ²
area vetro	A _g	2,25 m ²
area telaio	A _f	1,25 m ²
perimetro vetro	P _g	8,72 m

Tab. 62 - dati geometrici del serramento vetrina tipologia 2

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 61 - valori delle trasmissioni termiche del serramento vetrina tipologia 1

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 63 - valori delle trasmissioni termiche del serramento vetrina tipologia 2

$$U_w = \frac{(6,67 \times 5,7) + (2,61 \times 5,5)}{9,28} = 5,64 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_w = \frac{(2,25 \times 5,7) + (1,25 \times 5,5)}{3,50} = 5,63 \text{ W/m}^2\text{K}$$

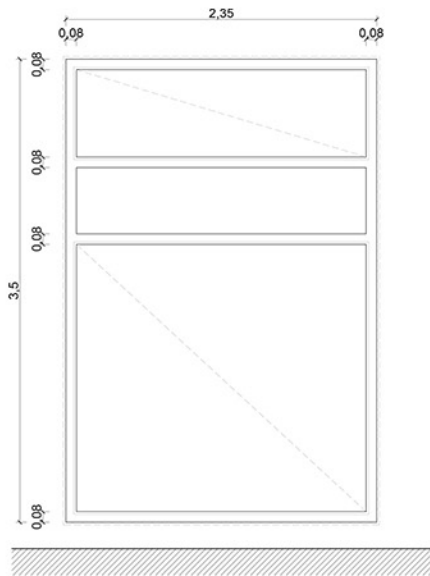


Fig. 42 - serramento vetrina: tipologia 3 - vetrina fissa con spazio insegna

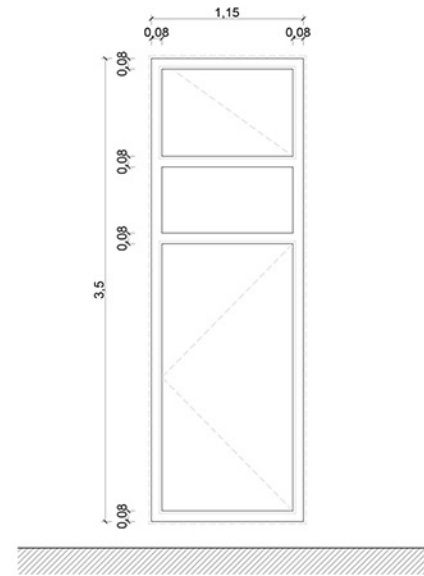


Fig. 43 - serramento vetrina: tipologia 4 - vetrina a battente con parte superiore fissa e spazio insegna

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	8,23 m ²
area vetro	A _g	5,87 m ²
area telaio	A _f	2,36 m ²
perimetro vetro	P _g	14,12 m

Tab. 64 - dati geometrici del serramento vetrina tipologia 3

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	4,03 m ²
area vetro	A _g	1,85 m ²
area telaio	A _f	2,18 m ²
perimetro vetro	P _g	9,32 m

Tab. 66 - dati geometrici del serramento vetrina tipologia 4

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 65 - valori delle trasmissioni termiche del serramento vetrina tipologia 3

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 67 - valori delle trasmissioni termiche del serramento vetrina tipologia 4

$$U_w = \frac{(5,87 \times 5,7) + (2,36 \times 5,5)}{8,23} = 5,64 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_w = \frac{(1,85 \times 5,7) + (2,18 \times 5,5)}{4,03} = 5,59 \text{ W/m}^2\text{K}$$

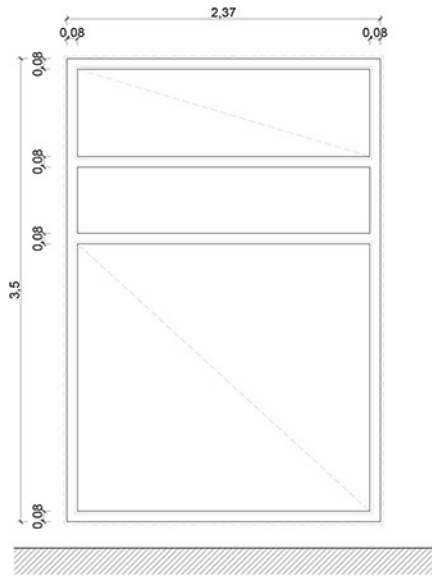


Fig. 44 - serramento vetrina: tipologia 5 - vetrina fissa con spazio insegna

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	8,30 m ²
area vetro	A _g	5,92 m ²
area telaio	A _f	2,38 m ²
perimetro vetro	P _g	14,20 m

Tab. 68 - dati geometrici del serramento vetrina tipologia 5

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 69 - valori delle trasmissioni termiche del serramento vetrina tipologia 5

$$U_w = \frac{(5,92 \times 5,7) + (2,38 \times 5,5)}{8,30} = 5,64 \text{ W/m}^2\text{K}$$

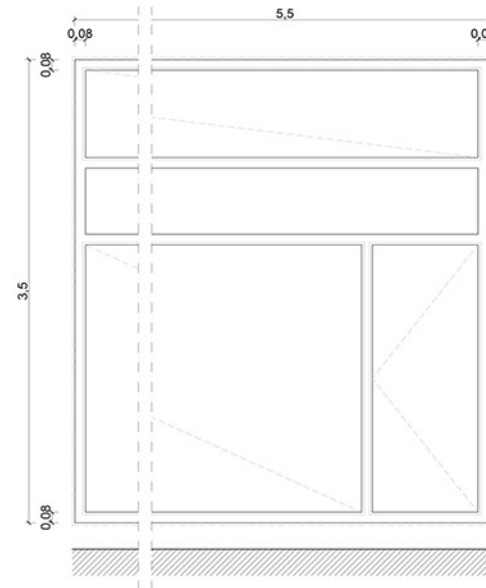


Fig. 45 - serramento vetrina: tipologia 6 - vetrina con parti fisse, porta a battente e spazio insegna

dati geometrici		
area totale	A _{tot}	19,26 m ²
area vetro	A _g	14,15 m ²
area telaio	A _f	5,11 m ²
perimetro vetro	P _g	30,60 m

Tab. 70 - dati geometrici del serramento vetrina tipologia 6

trasmissioni termiche		
trasmissione vetro	U _g	5,7 W/m ² K
trasmissione telaio	U _f	5,5 W/m ² K
trasmissione lineica	Ψ _i	in assenza di distanziatore (vetrata singola) il parametro assume valore zero

Tab. 71 - valori delle trasmissioni termiche del serramento vetrina tipologia 6

$$U_w = \frac{(14,15 \times 5,7) + (5,11 \times 5,5)}{19,26} = 5,65 \text{ W/m}^2\text{K}$$

I cassonetti che ospitano le schermature avvolgibili, posizionate sopra ogni elemento trasparente, non sono caratterizzati da isolante perciò sono elementi architettonici che incentivano le perdite di calore.



Fig. 46-47 - foto dei cassonetti esistenti

6.1.3 - L'impiantistica

Negli anni '60 l'impiantistica era caratterizzata da due generatori di calore a gasolio.

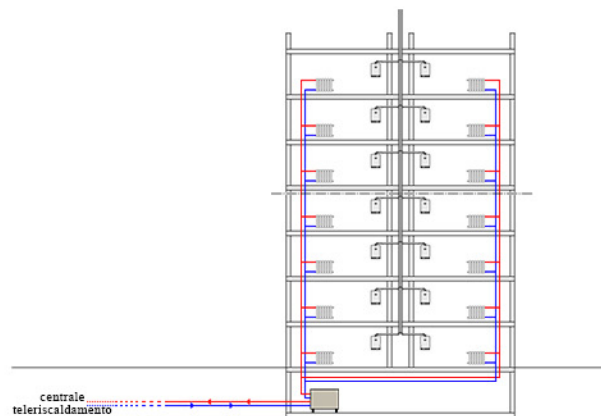
Dal 2007 l'edificio è collegato al teleriscaldamento attraverso una sottostazione di scambio termico da 1250 kW che garantisce il riscaldamento degli ambienti interni. Il gestore energetico ha dichiarato una temperatura media del fluido termovettore di circa 120°C a monte dello scambiatore e una temperatura media di circa 80°C a valle dello stesso. La fornitura di acqua calda sanitaria è garantita dalla presenza di caldaie ubicate in ogni unità immobiliare.

Il sistema di distribuzione dell'edificio risulta

essere a colonne montanti servito da tre pompe di circolazione a velocità costante con una potenza elettrica complessiva di 6,60 kW che operano durante il solo periodo invernale, da metà ottobre a metà aprile, così come definito dalla normativa.

L'edificio presenta un sistema di emissione basato su radiatori in acciaio di diverse dimensioni e, sulla base degli elaborati architettonici e dai rilievi effettuati, la potenzialità termica installata è di circa 1100 kW, in linea con la potenza termica dello scambiatore di calore.

Il sottosistema di regolazione è garantito da una sonda climatica esterna, posizionata opportunamente sul prospetto nord del fabbricato.



Graf. 17 - impiantistica dell'edificio oggetto di studio - i sistemi per il riscaldamento degli ambienti e la produzione di acqua calda sanitaria

Il registro dei consumi per il riscaldamento, ricavati dalle fatture energetiche e normalizzati su gradi giorno forniti dall'ARPA, evidenzia un consumo medio a stagione di circa 1.375.000 kWh/anno corrispondenti a circa 133.400 €/anno. L'analisi delle fatture ricevute per la fornitura di energia elettrica ha messo in evidenza un elevato consumo di elettricità in media pari a circa 58.000 kWh/anno corrispondenti a circa

13.000 €/anno comprensivi dei consumi elettrici delle pompe e di altri servizi condominiali.

6.2 - La modellazione dell'edificio: il fabbisogno di energia ed i consumi dell'edificio allo stato di fatto elaborati con BESTenergy

La raccolta di informazioni durante i sopralluoghi ed i rilievi, hanno permesso la creazione del modello energetico digitale con il software *BESTenergy* sviluppato dal gruppo del Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito del Politecnico di Milano. *BESTenergy* permette di effettuare simulazioni energetiche in regime dinamico su modelli di edifici sulla base del motore di calcolo *EnergyPlus 7.1*.

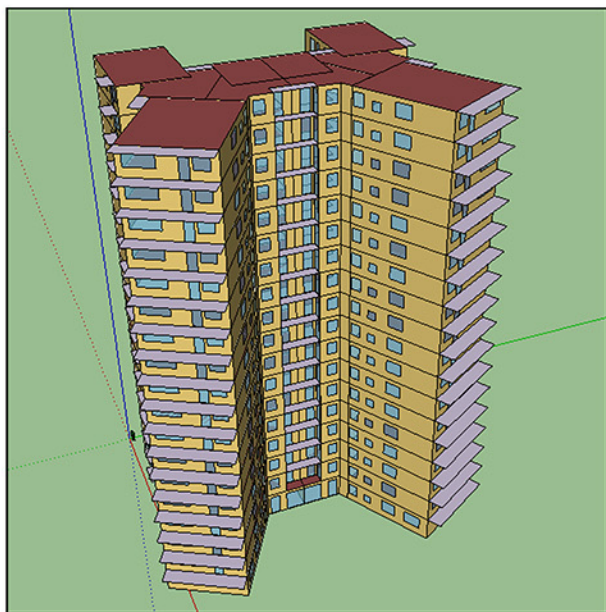


Fig. 48 - modello creato con il software *BESTenergy*

La modellazione dell'edificio ha chiesto una serie di semplificazioni, in particolare a livello geometrico.

L'edificio è stato suddiviso in 107 zone termiche riscaldate caratterizzate dalle unità abitative e 36 zone termiche non riscaldate costituite dall'androne d'ingresso e dai due corpi scale.

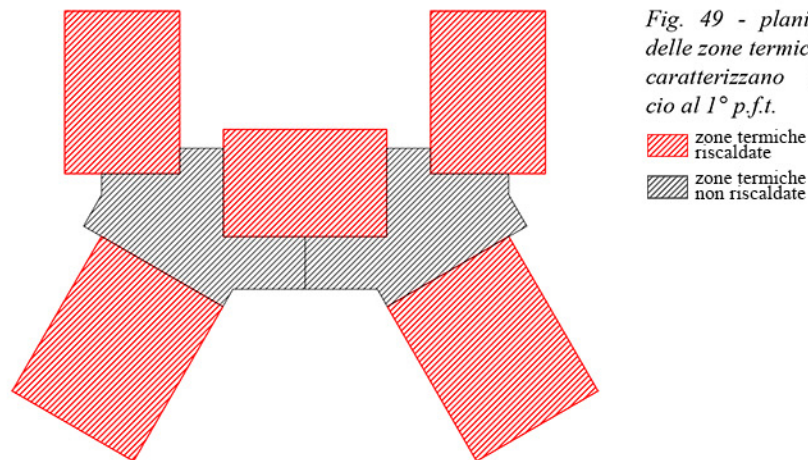


Fig. 49 - planimetria delle zone termiche che caratterizzano l'edificio al 1° p.f.t.

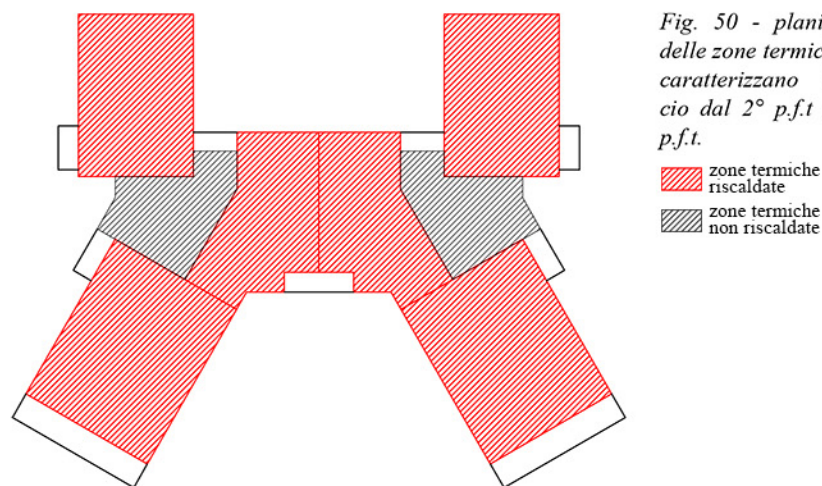


Fig. 50 - planimetria delle zone termiche che caratterizzano l'edificio dal 2° p.f.t al 16° p.f.t.

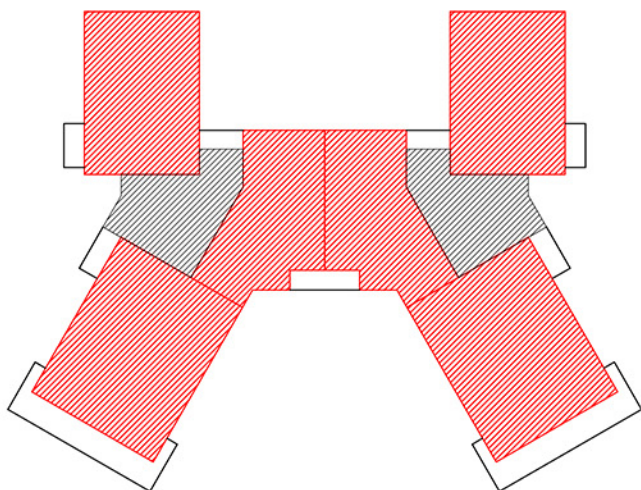




Fig. 51 - planimetria delle zone termiche che caratterizzano l'edificio dal 17° p.f.t al 18° p.f.t.

 zone termiche riscaldate
 zone termiche non riscaldate

È stato utilizzato un indice di affollamento di 0,04 persone/m² in conformità con la UNI 10339. I carichi interni relativi all'utilizzo di apparecchiature elettriche sono pari a 4,0 W/m² a persona. I ricambi d'aria sono pari a 0,3 volumi/ora. L'impianto è stato considerato in funzione durante il periodo di riscaldamento dal 15 ottobre al 15 aprile in conformità con l'UNI/TS 11300-1. La temperatura di progetto dell'ambiente interno è fissata a 20°C. Le caratteristiche dell'involucro opaco e trasparente inserite sono quelle descritte nel paragrafo 6.1.

Tutte le informazioni hanno permesso l'elaborazione della stima dei fabbisogni di energia dell'edificio che sottolinea la presenza di prestazioni energetiche molto basse con conseguenti spese annue molto alte.

La scarsità dei risultati pervenuti coincide con la scarsità delle caratteristiche dell'edificio che fanno aumentare le dispersioni termiche e, di conseguenza, la spesa energetica.

SCENARIO 0	m ² riscaldati	fabbisogno energetico [kWh/anno]*1	tariffa teleriscaldamento [€/kWh/anno]	spesa annua [€]	fabbisogno energetico [kWh/m ² anno]
stato di fatto	7980	1.258.848	0,103	129.661,34	157,75
tipologia elemento di involucro		trasmissione termica [W/m ² K]		m ² intervento	
opaco verticale		U = 1,1		8100	
opaco orizzontale di copertura		U = 0,84		680	
opaco orizzontale soletto		U = 0,77		680	
trasparente		U = 5,64		1745,56	
		classe energetica		F	

Tab. 72 - caratteristiche del condominio di via Don Rodrigo allo stato di fatto

*1 rendimento impianto: $\eta_{imp} = 0,75$

6.3 - La diagnosi energetica

Lo stato di fatto, sulla base delle analisi effettuate, evidenzia la necessità di una riqualificazione energetica basata essenzialmente su due versanti:

- involucro
 - intervento di isolamento termico delle tamponature in modo tale da ridurre il valore di trasmittanza termica degli elementi opachi verticali;
 - intervento di isolamento termico degli elementi opachi orizzontali (solaio di copertura e solaio che divide il primo piano fuori terra dal sotterraneo) in modo tale da ridurre il valore di trasmittanza termica;
 - sostituzione dei serramenti esistenti con serramenti ad alte prestazioni energetiche caratterizzati da trasmittanze termiche basse nel rispetto dei valori limite dettati dalla normativa vigente;
- impianti
 - adeguamento dell'impianto termico con lo scopo primario di ridurre la spesa energetica del condominio e adeguamento alla normativa in vigore *DGR 3855 del 25/7/2012* attraverso l'installazione di opportuni sistemi di termoregolazione e contabilizzazione del calore;
 - opere di adeguamento della centrale termica per il miglioramento dell'efficienza energetica del sistema di distribuzione del calore.

6.4 - Gli interventi per l'efficienza energetica

Col fine di prendere in considerazione l'intera-

zione tra i differenti interventi in modo tale da creare sinergie volte ad ottenere i risultati migliori in termini di costi e prestazioni energetiche, sono state definite molteplici varianti di intervento combinate tra di loro. Le combinazioni sono state create seguendo molteplici scenari creati rispettando la normativa vigente.

SCENARI	SISTEMA	INTERVENTO
creazione scenario seguendo i limiti di U dettati dal <i>DGR VIII/8745</i>	elemento opaco verticale	isolamento in intercapedine isolamento a cappotto
creazione scenario seguendo i limiti di U dettati dal <i>Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 11 marzo 2008</i>	elemento opaco verticale di copertura	isolamento a tetto caldo
creazione scenario migliorando del 20% i limiti di U dettati dal <i>Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 11 marzo 2008</i>	elemento opaco verticale solaio	isolamento a cappotto orizzontale
creazione scenario migliorando del 50% i limiti di U dettati dal <i>Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 11 marzo 2008</i>	elemento trasparente	sostituzione serramenti con tipologia ad alte prestazioni energetiche

Tab. 73 - ipotesi di intervento per l'efficienza energetica del condominio di via Don Rodrigo

La combinazione tra i molteplici interventi ha portato alla definizione di 6 tipologie di scenari.

6.4.1 - Scenario interventi tipologia 1

Gli interventi che caratterizzano lo scenario di tipologia 1 riguardano azioni volte al miglioramento prestazionale dell'involucro secondo i limiti definiti dal DGR VIII/8745.

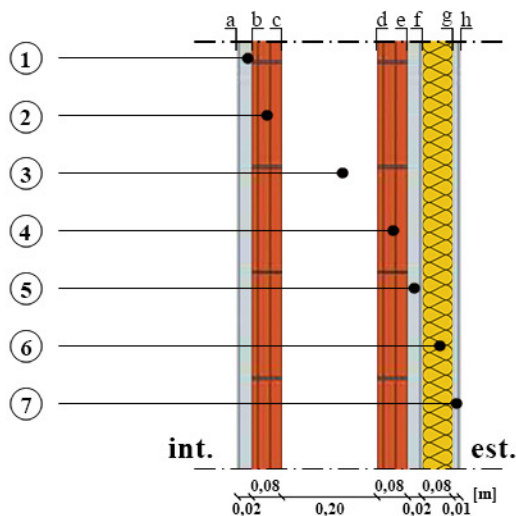


Fig. 52 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 1

Tab. 74 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento opaco verticale - stato di progetto scenario interventi tipologia 1

<p>Isolamento termico con sistema a cappotto realizzato con lastre in polistirene espanso sinterizzato, senza pelle, prodotte con materie prime vergini esenti da rigenerato; reazione al fuoco Euroclasse E; conformi alla norma UNI EN 13163, con marcatura CE, Classe 100, di spessore 80 mm, conduttività termica W/mK 0,036, resistenza alla compressione kPa 100. Compresse le lastre fissate con adesivo a base di cemento e dispersioni sintetiche privo di solventi; la rete di armatura in vetroresina assicurata alle lastre con rasatura a due mani di adesivo; la chiodatura con tasselli ad espansione.</p>	<p>$R_{tot} = 1/limi + \sum S/\lambda + 1/lim_e$ dove: $R_{tot} = 1/8 + 0,02/0,7 + 0,08/0,3 + 0,16 + 0,08/0,3 + 0,02/0,9 + 0,08/0,036 + 0,01/0,9 + 1/23 = 3,15 \text{ m}^2\text{k/W}$ $U = 1/3,15 = 0,32 \text{ W/m}^2\text{k}$</p>
<p>R_{tot} resistenza totale [m²k/W] limi liminare interno [W/m²k] lim_e liminare esterno [W/m²k] S spessore [m] λ condicubilità termica [W/mk] U trasmittanza termica [W/m²k] (stratigrafia stato di fatto pag. 120)</p>	

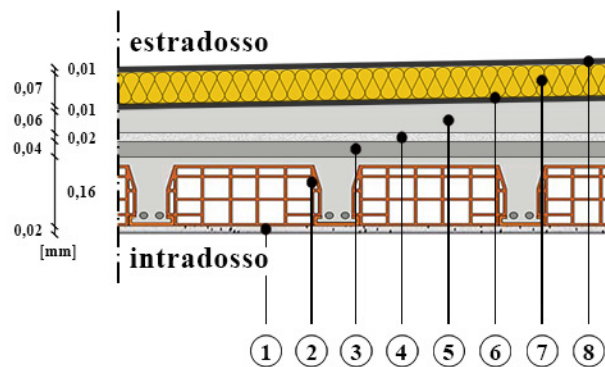


Fig. 53 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 1

<p>Isolamento termico a tetto caldo di copertura piana pedonabile, realizzato con lastre di polistirene espanso estruso, superficie liscia con pelle, bordi battentati, prodotte con gas senza CFC e HCFC; conduttività termica W/mK 0,034 di spessore 80 mm e oltre, resistenza alla compressione kPa 300; reazione al fuoco Euroclasse E; conformi alla norma UNI EN 13164, con marcatura CE.</p>	<p>$R_{tot} = 1/limi + \sum S/\lambda + 1/lim_e$ dove: $R_{tot} = 1/9,3 + 0,02/0,70 + 0,16/0,53 + 0,04/2,3 + 0,02/0,06 + 0,06/1,06 + 0,009/0,03 + 0,07/0,034 + 0,009/0,03 + 1/23 = 3,55 \text{ m}^2\text{k/W}$ $U = 1/3,55 = 0,28 \text{ W/m}^2\text{k}$</p>
<p>R_{tot} resistenza totale [m²k/W] limi liminare interno [W/m²k] lim_e liminare esterno [W/m²k] S spessore [m] λ condicubilità termica [W/mk] U trasmittanza termica [W/m²k] (stratigrafia stato di fatto pag. 121)</p>	

Tab. 75 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 1

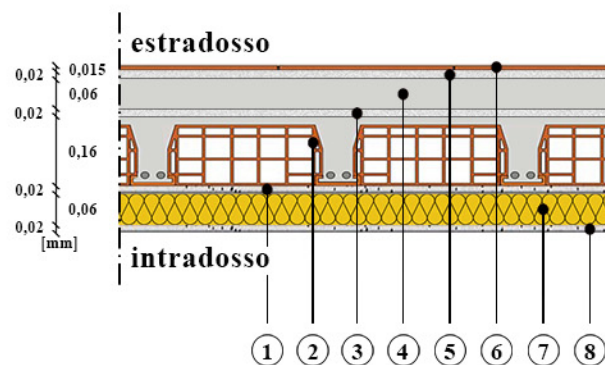


Fig. 54 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 1

Isolamento termico di locali su zone non riscaldate, realizzato all'intradosso dei solai (cappotto orizzontale), con lastre di polistirene espanso sinterizzato senza pelle con bordi battentati, prodotte con materie prime vergini esenti da rigenerato; conduttività termica W/mK 0,034 di spessore 60 mm, reazione al fuoco in Euroclasse E; conforme alla norma UNI EN 13163, con marcatura CE.

$$R_{tot} = 1/\lim_i + \sum S/\lambda + 1/\lim_e$$

dove:

$$R_{tot} = 1/5,8 + 0,02/0,70 + 0,16/0,53 + 0,02/0,06 + 0,06/1,06 + 0,02/0,06 + 0,015/1,00 + 0,06/0,034 + 0,02/0,70 + 1/16 = 3,10 \text{ m}^2\text{k/W}$$

$$U = 1/3,10 = 0,32 \text{ W/m}^2\text{k}$$

R_{tot} resistenza totale [m²k/W]
 \lim_i liminare interno [W/m²k]
 \lim_e liminare esterno [W/m²k]
 S spessore [m]
 λ condicubilità termica [W/mk]
 U trasmittanza termica [W/m²k]
 (stratigrafia stato di fatto pag. 118)

Tab. 76 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 1

Finestre e porte finestre di legno lamellare a telaio unico con controtelaio, spessore minimo telaio 58x70 mm, spessore minimo battente 58x78 mm. Compresi falso telaio, coprifili, listelli fermavetro, guarnizioni di tenuta, gocciolatoio sul traverso inferiore con scarico delle acque piovane, cerniere e cremonesi di chiusura con maniglia in alluminio anodizzato; la verniciatura a tre mani trasparente od opaca (imprimatura, fondo e finitura). Marcatura CE in conformità alla direttiva CEE 89/106; UNI EN 1026 - UNI EN 12207 classe 4 di permeabilità all'aria; UNI EN 1027 - UNI EN 12208 classe 9A di tenuta all'acqua; UNI EN 12221 - UNI EN 12210 classe C5 di resistenza al carico del vento. Potere fonoisolante pari a 34 dB (ISO 717), prestazione termica del serramento completo di vetri minima 1,98 W/ m²K, eseguito in legno di abete.

$$U = 1,98 \text{ W/m}^2\text{k}$$

Tab. 77 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 1

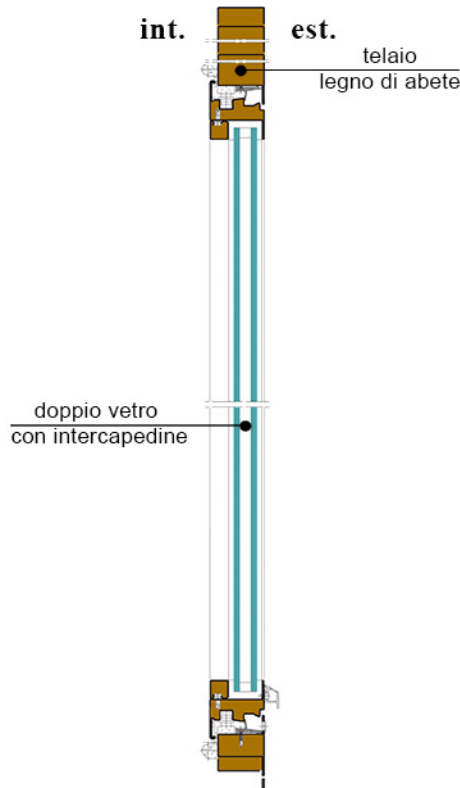


Fig. 55 - sezione dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 1

SCENARIO 1	m ² riscaldati	fabbisogno energetico [kWh/anno]*1	tariffa teleriscaldamento [€/kWh annuo]	spesa annua [€]	fabbisogno energetico [kWh/m ² anno]
creazione scenario seguendo i limiti di U dettati dal DGR VIII/8745	7980	436.193	0,103	44.927,88	54,66*2 classe energetica B
tipologia elemento di involucro	costo intervento [€]	costo ponteggio [€]	costo demolizioni impermeab. [€]	costo totale intervento per elemento [€]	costo totale interventi [€]
opaco verticale U = 0,32	390.096	224.559	42.849	829.224 (912.146,4 IVATO 10%)	1.378.427,6
opaco orizz. copertura U = 0,28	11.662	/	/	13.702 (15.072,2 IVATO 10%)	1.516.270,4 IVATO 10%
opaco orizz. solato U = 0,32	10.750,80	/	/	24.017,60 (26.419,36 IVATO 10%)	
trasparente U = 1,98	470.184,04	/	41.299,95	511.483,99 (562.632,39 IVATO 10%)	

Tab. 78 - caratteristiche tecnico-economiche - scenario interventi tipologia 1

*1 rendimento impianto: $\eta_{imp} = 0,75$
 *2 E_{ph} inferiore al limite imposto dalla normativa - E_{ph} < 59,90 kWh/m²
 *3 codici: Ic.10.300.0010, Ic.07.120.0020.a, Ic.24.140.0010.a
 *4 codici: Ic.10.100.0030, Ic.13.050.0020
 *5 codici: Ic.10.200.0010, Ic.07.110.0020.a, Ic.24.120.0010.a
 *6 codici: Ic.21.010.0010, Ic.21.010.0020, Ic.21.010.0030, Ic.01.150.0010.a

6.4.2 - Scenario interventi tipologia 2

Gli interventi che caratterizzano lo scenario di tipologia 2 riguardano azioni volte al miglioramento prestazionale dell'involucro secondo i limiti definiti dal Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 11 marzo 2008 per usufruire delle detrazioni fiscali.

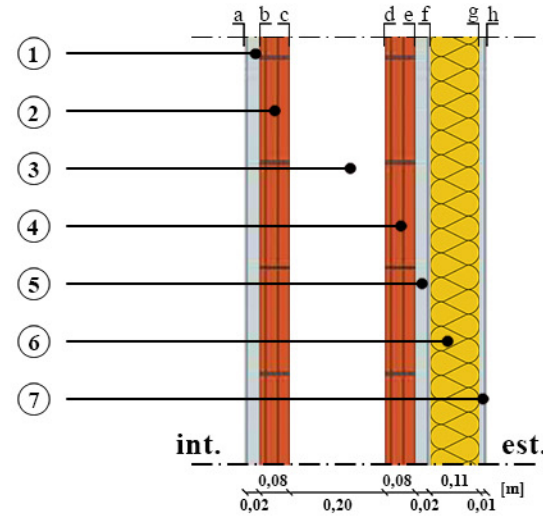


Fig. 56 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 2

<p>Isolamento termico con sistema a cappotto realizzato con lastre in polistirene espanso sinterizzato, senza pelle, prodotte con materie prime vergini esenti da rigenerato; reazione al fuoco Euroclasse E; conformi alla norma UNI EN 13163, con marcatura CE, Classe 100, di spessore 110 mm, conduttività termica W/mK 0,036, resistenza alla compressione kPa 100. Compresse le lastre fissate con adesivo a base di cemento e dispersioni sintetiche privo di solventi; la rete di armatura in vetroresina assicurata alle lastre con rasatura a due mani di adesivo; la chiodatura con tasselli ad espansione.</p>	
$R_{tot} = 1/limi + \sum S/\lambda + 1/limo$ $R_{tot} = 1/8 + 0,02/0,7 + 0,08/0,3 + 0,16 + 0,08/0,3 + 0,02/0,9 + 0,11/0,036 + 0,02/0,9 + 1/23 = 4,00 \text{ m}^2\text{k/W}$ $U = 1/4,00 = 0,25 \text{ W/m}^2\text{k}$	<p>dove:</p> <p>R_{tot} resistenza totale [m²k/W] $limi$ liminare interno [W/m²k] $limo$ liminare esterno [W/m²k] S spessore [m] λ conduttività termica [W/mk] U trasmittanza termica [W/m²k] (stratigrafia stato di fatto pag. 116)</p>

Tab. 79 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 2

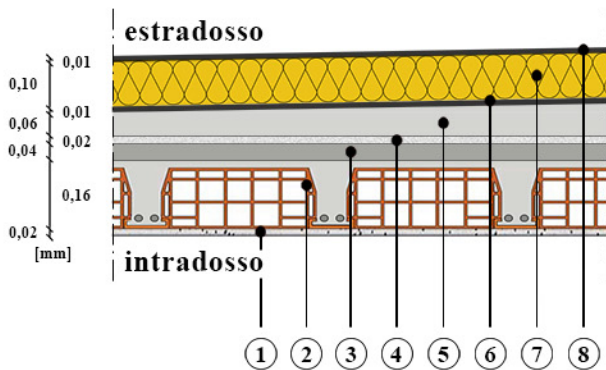


Fig. 57 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 2

Isolamento termico a tetto caldo di copertura piana pedonabile, realizzato con lastre di polistirene espanso estruso, superficie liscia con pelle, bordi battentati, prodotte con gas senza CFC e HCFC; conduttività termica W/mK 0,034 di spessore 80 mm e oltre, resistenza alla compressione kPa 300; reazione al fuoco Euroclasse E; conformi alla norma UNI EN 13164, con marcatura CE.

$$R_{tot} = 1/limi + \sum S/\lambda + 1/limo$$

$$R_{tot} = 1/9,3 + 0,02/0,70 + 0,16/0,53 + 0,04/2,3 + 0,02/0,06 + 0,06/1,06 + 0,009/0,03 + 0,10/0,034 + 0,009/0,03 + 1/23 = 4,43 \text{ m}^2\text{k/W}$$

$$U = 1/4,43 = 0,22 \text{ W/m}^2\text{k}$$

dove:
 R_{tot} resistenza totale [m²k/W]
 $limi$ liminare interno [W/m²k]
 $limo$ liminare esterno [W/m²k]
 S spessore [m]
 λ conduttività termica [W/mk]
 U trasmittanza termica [W/m²k]
 (stratigrafia stato di fatto pag. 121)

Tab. 80 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 2

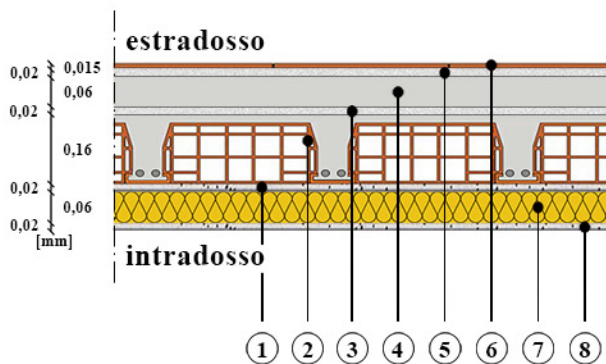


Fig. 58 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sottoterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 2

Isolamento termico di locali su zone non riscaldate, realizzato all'intradosso dei solai (cappotto orizzontale), con lastre di polistirene espanso sinterizzato senza pelle con bordi battentati, prodotte con materie prime vergini esenti da rigenerato; conduttività termica W/mK 0,034 di spessore 80 mm, reazione al fuoco in Euroclasse E; conforme alla norma UNI EN 13163, con marcatura CE.

$$R_{tot} = 1/limi + \sum S/\lambda + 1/limo$$

$$R_{tot} = 1/5,8 + 0,02/0,70 + 0,16/0,53 + 0,02/0,06 + 0,06/1,06 + 0,02/0,06 + 0,015/1,00 + 0,08/0,034 + 0,02/0,70 + 1/16 = 3,57 \text{ m}^2\text{k/W}$$

$$U = 1/3,57 = 0,28 \text{ W/m}^2\text{k}$$

dove:
 R_{tot} resistenza totale [m²k/W]
 $limi$ liminare interno [W/m²k]
 $limo$ liminare esterno [W/m²k]
 S spessore [m]
 λ conduttività termica [W/mk]
 U trasmittanza termica [W/m²k]
 (stratigrafia stato di fatto pag. 118)

Tab. 81 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sottoterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 2

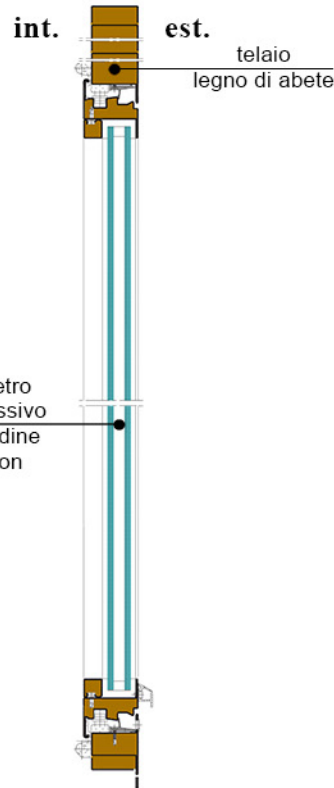


Fig. 59 - sezione dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 2

Finestre e porte finestre di legno lamellare a telaio unico con controtelaio, spessore minimo telaio 58x70 mm, spessore minimo battente 58x78 mm. Compresi falso telaio, coprifili, listelli fermavetro, guarnizioni di tenuta, gocciolatoio sul traverso inferiore con scarico delle acque piovane, cerniere e cremonesi di chiusura con maniglia in alluminio anodizzato; la verniciatura a tre mani trasparente od opaca (imprimitura, fondo e finitura). Marcatura CE in conformità alla direttiva CEE 89/106; UNI EN 1026 - UNI EN 12207 classe 4 di permeabilità all'aria; UNI EN 1027 - UNI EN 12208 classe 9A di tenuta all'acqua; UNI EN 12221 - UNI EN 12210 classe C5 di resistenza al carico del vento, prestazione termica del serramento completo di doppi vetri bassoemissivi e camera con argon minima 1,74 W/ m²K, eseguito in legno di abete.

$$U = 1,74 \text{ W/m}^2\text{k}$$

Tab. 82 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 2

SCENARIO 2	m ² riscaldati		fabbisogno energetico [kWh annuo]*1		tariffa telerscaldamento [€/kWh annuo]		spesa annua [€]		fabbisogno energetico [kWh/m ² anno]	
	costo intervento [€]	costo ponteggio [€]	costo intonaco [€]	costo pittura [€]	costo denolizioni [€]	costo impermeab. [€]	costo totale intervento per elemento [€]	costo totale interventi [€]	classe energetica B	
creazione scenario seguendo i limiti di U dettati dal Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 11 marzo 2008	419.985	224.559	120.285	51.435	42.849	/	859.113 (945.024,3 IVATO 10%)	38.108,97	46,36**	
tipologia elemento di involucro	15.680,8	/	/	/	/	2.040	17.720,8 (19.492,88 IVATO 10%)			1.553.174,2
opaco verticale U=0,25	12.573,2	/	9.445,2	3.821,6	/	/	25.840 (28.424 IVATO 10%)			1.708.491,6 IVATO 10%
opaco orizz. copertura U=0,22	609.200,44	/	/	/	41.299,95	/	650.500,39 (715.550,43 IVATO 10%)			
opaco orizz. solai U=0,28										
trasparente U=1,74										

*1 rendimento impianto: η_{imp} = 0,75

*2 Eph inferiore al limite imposto dalla normativa - Eph < 56,9 kWh/m²

*3 codici: 1c.10.300.0010, 1C.07.120.0020 a, 1C.24.140.0010 a

*4 codici: 1c.10.100.0030, 1C.13.050.0020

*5 codici: 1c.10.200.0010, 1C.07.110.0020 a, 1C.24.120.0010 a

*6 smontaggio da listino prezzi del Comune di Milano - codice: 1C.01.150.0010 a

Tab. 83 - caratteristiche tecnico-economiche - scenario interventi tipologia 2

6.4.3 - Scenario interventi tipologia 3

Gli interventi che caratterizzano lo scenario di tipologia 3 riguardano azioni volte al miglioramento prestazionale dell'involucro secondo i limiti definiti dal DGR VIII/8745.

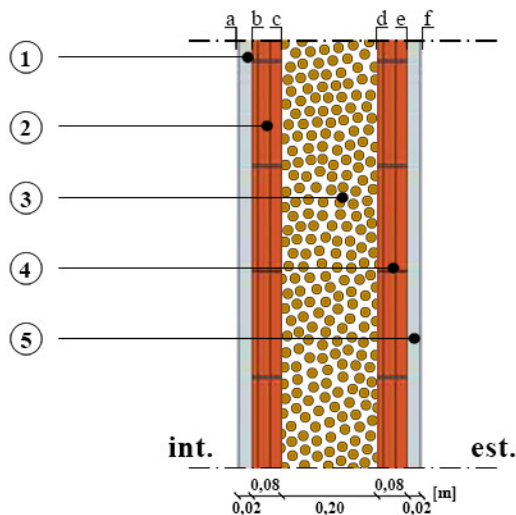


Fig. 60 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 3

Tab. 84 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 3

<p>Isolamento termico realizzato con tecnica insufflaggio di sughero granulare nell'intercapedine. Densità nominale 120-140 kg/mc, colore grigio-marrone, putrescibilità nulla, conducibilità termica 0,055 W/mK, stabilità all'invecchiamento illimitata, granulometria 4-7mm, attaccabilità insetti nulla, non corrosivo, utilizzo di materie prime rinnovabili pari al 91,6 %, vettori energetici non rinnovabili < 50 MJ/UF, potenziale di riscaldamento globale < 2,0 kg equiv. CO2/UF, resistenza alla muffa classe 0, assenza di crescita fungina, non tossico.</p>	
$R_{tot} = 1/limi + \sum S/\lambda + 1/lime$ $R_{tot} = 1/8 + 0,02/0,7 + 0,08/0,3 + 0,2/0,055 + 0,08/0,3 + 0,02/0,9 + 1/23 = 4,40 \text{ m}^2\text{k/W}$ $U = 1/4,40 = 0,23 \text{ W/m}^2\text{k}$	<p>dove: R_{tot} resistenza totale [m²k/W] $limi$ liminare interno [W/m²k] $lime$ liminare esterno [W/m²k] S spessore [m] λ conducibilità termica [W/mk] U trasmittanza termica [W/m²k] (stratigrafia stato di fatto pag. 120)</p>

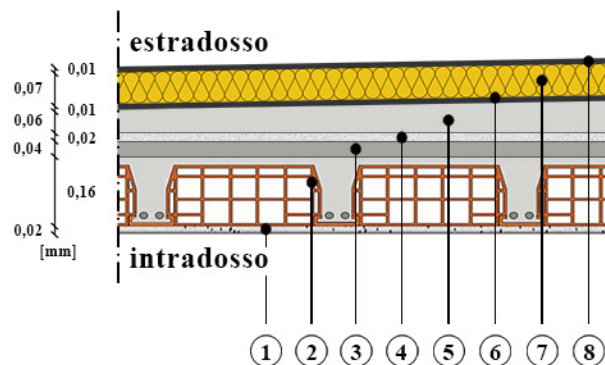


Fig. 61 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 3

<p>Isolamento termico a tetto caldo di copertura piana pedonabile, realizzato con lastre di polistirene espanso estruso, superficie liscia con pelle, bordi battentati, prodotte con gas senza CFC e HCFC; conducibilità termica W/mK 0,034 di spessore 80 mm e oltre, resistenza alla compressione kPa 300; reazione al fuoco Euroclasse E; conformi alla norma UNI EN 13164, con marcatura CE.</p>	
$R_{tot} = 1/limi + \sum S/\lambda + 1/limo$ $R_{tot} = 1/9,3 + 0,02/0,70 + 0,16/0,53 + 0,04/2,3 + 0,02/0,06 + 0,06/1,06 + 0,009/0,03 + 0,07/0,034 + 0,009/0,03 + 1/23 = 3,55 \text{ m}^2\text{k/W}$ $U = 1/3,55 = 0,28 \text{ W/m}^2\text{k}$	<p>dove: R_{tot} resistenza totale [m²k/W] $limi$ liminare interno [W/m²k] $limo$ liminare esterno [W/m²k] S spessore [m] λ conducibilità termica [W/mk] U trasmittanza termica [W/m²k] (stratigrafia stato di fatto pag. 121)</p>

Tab. 85 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 3

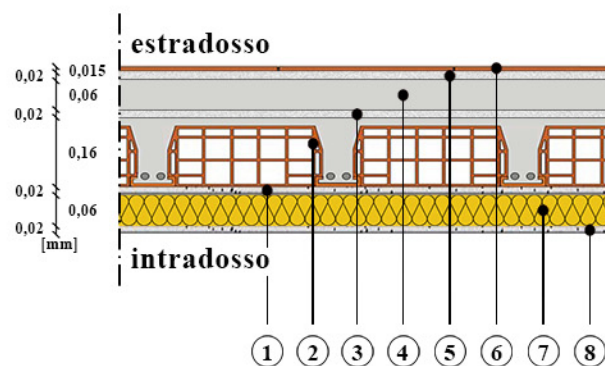


Fig. 62 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 3

Isolamento termico di locali su zone non riscaldate, realizzato all'intradosso dei solai (cappotto orizzontale), con lastre di polistirene espanso sinterizzato senza pelle con bordi battentati, prodotte con materie prime vergini esenti da rigenerato; conduttività termica W/mK 0,034 di spessore 60 mm, reazione al fuoco in Euroclasse E; conforme alla norma UNI EN 13163, con marcatura CE.

$$R_{tot} = 1/\lim_i + \sum S/\lambda + 1/\lim_e$$

dove:

$$R_{tot} = 1/5,8 + 0,02/0,70 + 0,16/0,53 + 0,02/0,06 + 0,06/1,06 + 0,02/0,06 + 0,015/1,00 + 0,06/0,034 + 0,02/0,70 + 1/16 = 3,10 \text{ m}^2\text{k/W}$$

$$U = 1/3,10 = 0,32 \text{ W/m}^2\text{k}$$

R_{tot} resistenza totale [m²k/W]
 \lim_i liminare interno [W/m²k]
 \lim_e liminare esterno [W/m²k]
 S spessore [m]
 λ conduttività termica [W/mk]
 U trasmittanza termica [W/m²k]
 (stratigrafia stato di fatto pag. 121)

Tab. 86 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 3

Finestre e porte finestre di legno lamellare a telaio unico con controtelaio, spessore minimo telaio 58x70 mm, spessore minimo battente 58x78 mm. Compresi falso telaio, coprifili, listelli fermavetro, guarnizioni di tenuta, gocciolatoio sul traverso inferiore con scarico delle acque piovane, cerniere e cremonesi di chiusura con maniglia in alluminio anodizzato; la verniciatura a tre mani trasparente od opaca (imprimitura, fondo e finitura). Marcatura CE in conformità alla direttiva CEE 89/106; UNI EN 1026 - UNI EN 12207 classe 4 di permeabilità all'aria; UNI EN 1027 - UNI EN 12208 classe 9A di tenuta all'acqua; UNI EN 12221 - UNI EN 12210 classe C5 di resistenza al carico del vento. Potere fonoisolante pari a 34 dB (ISO 717), prestazione termica del serramento completo di vetri minima 1,98 W/ m²K, eseguito in legno di abete.

$$U = 1,98 \text{ W/m}^2\text{k}$$

Tab. 87 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 3

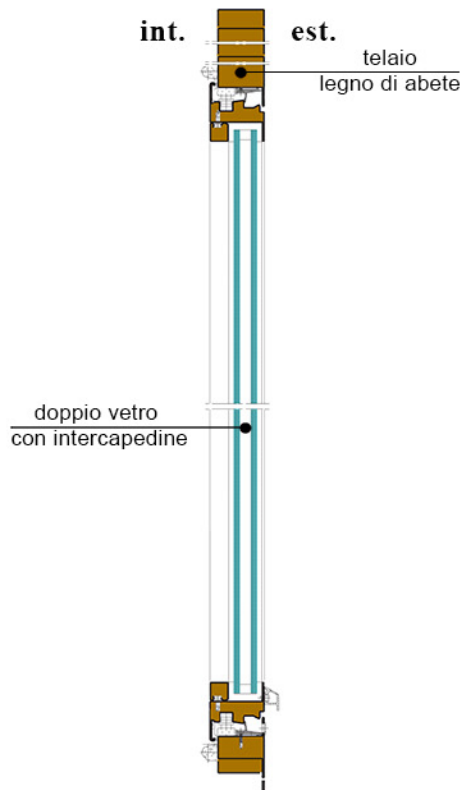


Fig. 63 - sezione dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 3

SCENARIO 3	creazione scenario seguendo i limiti di U dettati dal DGR VIII/8745	m ² riscaldati	7980	fabbisogno energetico [kWh annuo]*1	434.880	tariffa teleriscaldamento [€/kWh annuo]	0,103	spesa annua [€]	44.792,64	fabbisogno energetico [kWh/m ² anno]	54,50*2 classe energetica B
tipologia elemento di involucro	opaco preventivo	267.300	224.559	120.285	51.435	42.849	/	706.428	(777.070,8 IVATO 10%)	1.255.631,6	
	opaco orizz. copertura U=0,28	11.662	/	/	/	2.040	/	13.702	(15.072,2 IVATO 10%)	1.381.194,8	
	opaco orizz. solato U=0,32	10.750,8	/	9.445,2	3.821,6	/	/	24.017,6	(26.419,36 IVATO 10%)	1.381.194,8	
	trasparente U=1,98	470.184,04	/	/	/	41.299,95	/	511.483,99	(562.632,39 IVATO 10%)	1.381.194,8	

Tab. 88 - caratteristiche tecnico-economiche - scenario interventi tipologia 3

*1 rendimento impianto: $\eta_{imp} = 0,75$
 *2 Eph inferiore al limite imposto dalla normativa - Eph < 56,9 kWh/m²
 *3 ponteggio, intonaco, pittura e demolizioni da listino prezzi Comune di Milano - codici: 1C.07.120.0020.a 1C.24.140.0010.a
 *4 codici: 1c.10.100.0030, 1C.13.050.0020
 *5 codici: 1c.10.200.0010, 1C.07.110.0020.a, 1C.24.120.0010.a
 *6 codici: 1c.21.010.0010, 1c.21.010.0020, 1c.21.010.0030, 1C.01.150.0010.a

6.4.4 - Scenario interventi tipologia 4

Gli interventi che caratterizzano lo scenario di tipologia 4 riguardano azioni volte al miglioramento prestazionale dell'involucro secondo i limiti definiti dal Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 11 marzo 2008 per usufruire delle detrazioni fiscali.

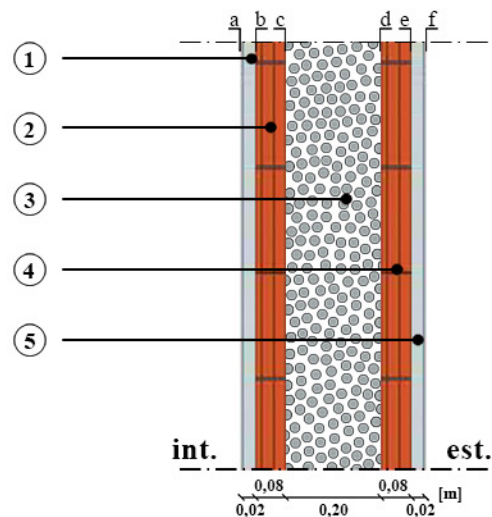


Fig. 64 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 4

Isolamento termico realizzato con tecnica insufflaggio di fiocchi di cellulosa nell'intercapedine, densità nominale 30-60 kg/mc, reazione al fuoco Autoestinguente, Conducibilità termica 0,040 W/mK, inibitore di fiamma A base minerale esente da sali di boroammonio, verderame, resistenza al vapore $\mu = 2$, resistenza al flusso d'aria 6,1 kPa s/m², utilizzo di materie prime rinnovabili pari al 91,6 %, potenziale di riscaldamento globale < 2,0 kg equiv. CO₂/UF, non corrosivo, resistenza alla muffa classe 0, assenza di crescita fungina, non tossico.

$$R_{tot} = 1/\limi + \sum S/\lambda + 1/\lime$$

dove:
 R_{tot} resistenza totale [m²k/W]
 \limi liminare interno [W/m²k]
 \lime liminare esterno [W/m²k]
 S spessore [m]
 λ conducibilità termica [W/mk]
 U trasmittanza termica [W/m²k]
 (stratigrafia stato di fatto pag. 116)

$$U = 1/5,76 = 0,17 \text{ W/m}^2\text{k}$$

Tab. 89 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 4

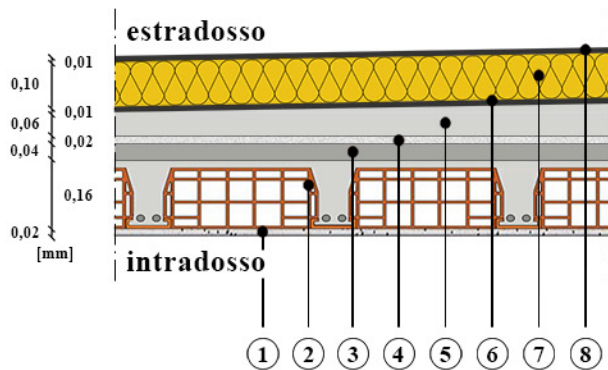


Fig. 65 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 4

Isolamento termico a tetto caldo di copertura piana pedonabile, realizzato con lastre di polistirene espanso estruso, superficie liscia con pelle, bordi battentati, prodotte con gas senza CFC e HCFC; conduttività termica W/mK 0,034 di spessore 80 mm e oltre, resistenza alla compressione kPa 300; reazione al fuoco Euroclasse E; conformi alla norma UNI EN 13164, con marcatura CE.

$$R_{tot} = 1/limi + \sum S/\lambda + 1/limo \quad \text{dove:}$$

$$R_{tot} = 1/9,3 + 0,02/0,70 + 0,16/0,53 + 0,04/2,3 + 0,02/0,06 + 0,06/1,06 + 0,009/0,03 + 0,10/0,034 + 0,009/0,03 + 1/23 = 4,43 \text{ m}^2\text{k/W}$$

$$U = 1/4,43 = 0,22 \text{ W/m}^2\text{k}$$

(stratigrafia stato di fatto pag. 121)

Tab. 90 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 4

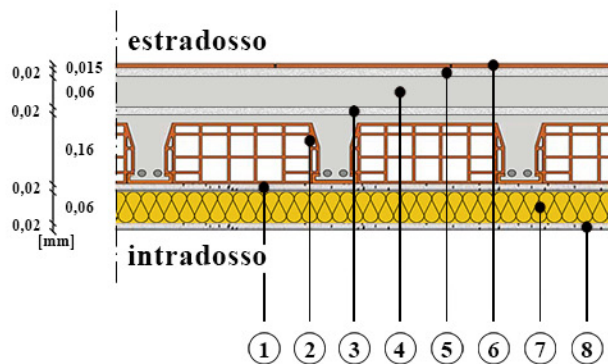


Fig. 66 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sottoterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 4

Isolamento termico di locali su zone non riscaldate, realizzato all'intradosso dei solai (cappotto orizzontale), con lastre di polistirene espanso sinterizzato senza pelle con bordi battentati, prodotte con materie prime vergini esenti da rigenerato; conduttività termica W/mK 0,034 di spessore 80 mm, reazione al fuoco in Euroclasse E; conforme alla norma UNI EN 13163, con marcatura CE.

$$R_{tot} = 1/limi + \sum S/\lambda + 1/limo \quad \text{dove:}$$

$$R_{tot} = 1/5,8 + 0,02/0,70 + 0,16/0,53 + 0,02/0,06 + 0,06/1,06 + 0,02/0,06 + 0,015/1,00 + 0,08/0,034 + 0,02/0,70 + 1/16 = 3,57 \text{ m}^2\text{k/W}$$

$$U = 1/3,57 = 0,28 \text{ W/m}^2\text{k}$$

(stratigrafia stato di fatto pag. 122)

Tab. 91 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sottoterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 4

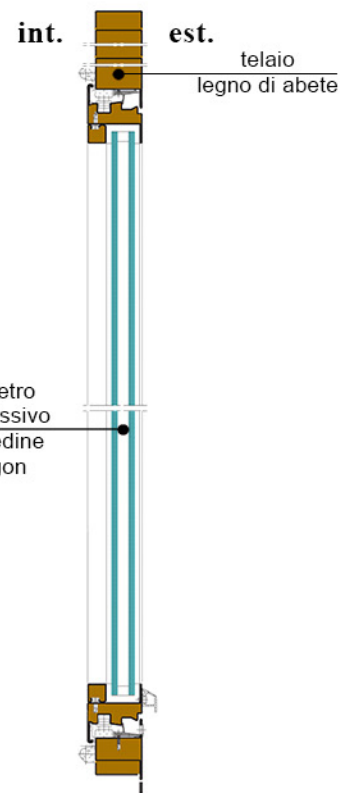


Fig. 67 - sezione dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 4

Finestre e porte finestre di legno lamellare a telaio unico con controtelaio, spessore minimo telaio 58x70 mm, spessore minimo battente 58x78 mm. Compresi falso telaio, coprifili, listelli fermavetro, guarnizioni di tenuta, gocciolatoio sul traverso inferiore con scarico delle acque piovane, cerniere e cremonesi di chiusura con maniglia in alluminio anodizzato; la verniciatura a tre mani trasparente od opaca (imprimitura, fondo e finitura). Marcatura CE in conformità alla direttiva CEE 89/106; UNI EN 1026 - UNI EN 12207 classe 4 di permeabilità all'aria; UNI EN 1027 - UNI EN 12208 classe 9A di tenuta all'acqua; UNI EN 12221 - UNI EN 12210 classe C5 di resistenza al carico del vento, prestazione termica del serramento completo di doppi vetri bassoemissivi e camera con argon minima 1,74 W/ m²K, eseguito in legno di abete.

$$U = 1,74 \text{ W/m}^2\text{k}$$

Tab. 92 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 4

SCENARIO 4	m ² riscaldati		fabbisogno energetico [kWh annuo] ^{#1}		tariffa teleriscaldamento [€/kWh annuo]		spesa annua [€]		fabbisogno energetico [kWh/m ² anno]	
	costo intervento [€]	costo ponteggio [€]	costo intonaco [€]	costo pittura [€]	costo demolizioni [€]	costo impermeab. [€]	costo totale intervento per elemento [€]	costo totale interventi [€]	classe energetica B	
creazione scenario seguendo i limiti di U dettati dal Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 11 marzo 2008	7980			342.516	0,103		35.279,15		42,92 ^{#2}	
tipologia elemento di involucro	costo intervento [€]	costo ponteggio [€]	costo intonaco [€]	costo pittura [€]	costo demolizioni [€]	costo impermeab. [€]	costo totale intervento per elemento [€]	costo totale interventi [€]		
opaco verticale U = 0,17	183.060	224.559	120.285	51.435	42.849	/	622.188 (68.406,8 IVATO 10%)			
opaco orizz. preventivo *Leo Bodner ^{#3}	/	/	/	/	/	2.040	17.720,8 (19.492,88 IVATO 10%)			
copertura U = 0,22 Comune di Milano ^{#4}	15.680,8	/	/	/	/	/	25.840 (28424 IVATO 10%)			
opaco orizz. listino prezzi Comune di Milano ^{#5}	12.573,2	/	9.445,2	3.821,6	/	/	650.500,39 (715.550,429 IVATO 10%)			
soffitto U = 0,28 Comune di Milano ^{#5}	609.200,44	/	/	/	41.299,95	/				
trasparente preventivo *Casarifissi ^{#6}										

^{#1} rendimento impianto: $\eta_{imp} = 0,75$

^{#2} E_{ph} inferiore al limite imposto dalla normativa - E_{ph} < 56,9 kWh/m²

^{#3} ponteggio, intonaco, pittura e demolizioni da listino prezzi Comune di Milano - codici: IC.07.120.0020.a IC.24.140.0010.

^{#4} codici: IC.10.100.0030, IC.13.050.0020

^{#5} codici: IC.10.200.0010, IC.07.110.0020.a, IC.24.120.0010.a

^{#6} smontaggio da listino prezzi del Comune di Milano - codice: IC.01.150.0010.a

Tab. 93 - caratteristiche tecnico-economiche - scenario interventi tipologia 4

6.4.5 - Scenario interventi tipologia 5

Gli interventi che caratterizzano lo scenario di tipologia 5 riguardano azioni volte al miglioramento prestazionale dell'involucro migliorando del 20% le trasmittanze termiche degli elementi opachi descritti nello scenario interventi tipologia 1.

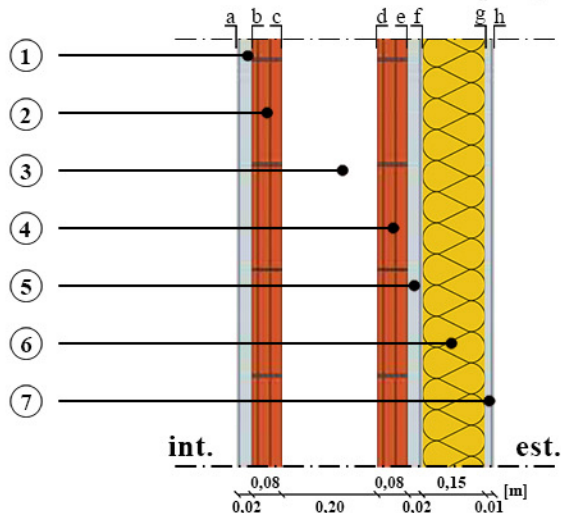


Fig. 68 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 5

Tab. 94 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 5

<p>Isolamento termico con sistema a cappotto realizzato con lastre in polistirene espanso sinterizzato, senza pelle, prodotte con materie prime vergini esenti da rigenerato; reazione al fuoco Euroclasse E; conformi alla norma UNI EN 13163, con marcatura CE, Classe 100, di spessore 150 mm, conduttività termica W/mK 0,036, resistenza alla compressione kPa 100. Compresse le lastre fissate con adesivo a base di cemento e dispersioni sintetiche privo di solventi; la rete di armatura in vetroresina assicurata alle lastre con rasatura a due mani di adesivo; la chiodatura con tasselli ad espansione.</p>	
$R_{tot} = 1/limi + \sum S/\lambda + 1/lim_e$ $R_{tot} = 1/8 + 0,02/0,7 + 0,08/0,3 + 0,16 + 0,08/0,3 + 0,02/0,9 + 0,15/0,036 + 0,01/0,9 + 1/23 = 5,10 \text{ m}^2\text{k/W}$ $U = 1/5,10 = 0,20 \text{ W/m}^2\text{k}$	<p>dove:</p> <p>R_{tot} resistenza totale [m²k/W] $limi$ liminare interno [W/m²k] lim_e liminare esterno [W/m²k] S spessore [m] λ condicubilità termica [W/mk] U trasmittanza termica [W/m²k] (stratigrafia stato di fatto pag. 120)</p>

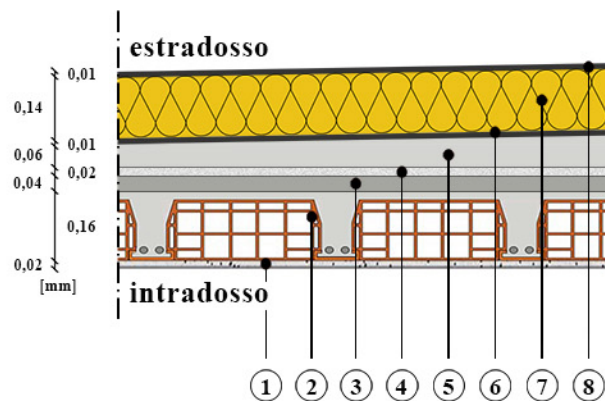


Fig. 69 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 5

<p>Isolamento termico a tetto caldo di copertura piana pedonabile, realizzato con lastre di polistirene espanso estruso, superficie liscia con pelle, bordi battentati, prodotte con gas senza CFC e HCFC; conduttività termica W/mK 0,034 di spessore 140 mm e oltre, resistenza alla compressione kPa 300; reazione al fuoco Euroclasse E; conformi alla norma UNI EN 13164, con marcatura CE.</p>	
$R_{tot} = 1/limi + \sum S/\lambda + 1/lim_e$ $R_{tot} = 1/9,3 + 0,02/0,70 + 0,16/0,53 + 0,04/2,3 + 0,02/0,06 + 0,06/1,06 + 0,009/0,03 + 0,14/0,036 + 0,009/0,03 + 1/23 = 5,61 \text{ m}^2\text{k/W}$ $U = 1/5,61 = 0,18 \text{ W/m}^2\text{k}$	<p>dove:</p> <p>R_{tot} resistenza totale [m²k/W] $limi$ liminare interno [W/m²k] lim_e liminare esterno [W/m²k] S spessore [m] λ condicubilità termica [W/mk] U trasmittanza termica [W/m²k] (stratigrafia stato di fatto pag. 121)</p>

Tab. 95 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 5

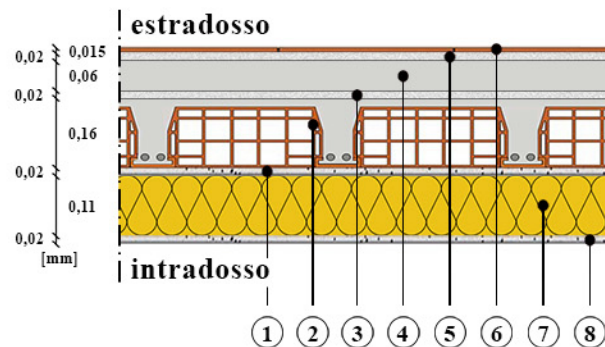


Fig. 70 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 5

Isolamento termico di locali su zone non riscaldate, realizzato all'intradosso dei solai (cappotto orizzontale), con lastre di polistirene espanso sinterizzato senza pelle con bordi battentati, prodotte con materie prime vergini esenti da rigenerato; conduttività termica W/mK 0,034 di spessore 110 mm, reazione al fuoco in Euroclasse E; conforme alla norma UNI EN 13163, con marcatura CE.

$$R_{tot} = 1/\lim_i + \sum S/\lambda + 1/\lim_e$$

dove:

$$R_{tot} = 1/5,8 + 0,02/0,70 + 0,16/0,53 + 0,02/0,06 + 0,06/1,06 + 0,02/0,06 + 0,015/1,00 + 0,11/0,034 + 0,02/0,70 + 1/16 = 4,57 \text{ m}^2\text{k/W}$$

$$U = 1/4,57 = 0,22 \text{ W/m}^2\text{k}$$

R_{tot} resistenza totale [m²k/W]
 \lim_i liminare interno [W/m²k]
 \lim_e liminare esterno [W/m²k]
 S spessore [m]
 λ condicubilità termica [W/mk]
 U trasmittanza termica [W/m²k]
 (stratigrafia stato di fatto pag. 122)

Tab. 96 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 5

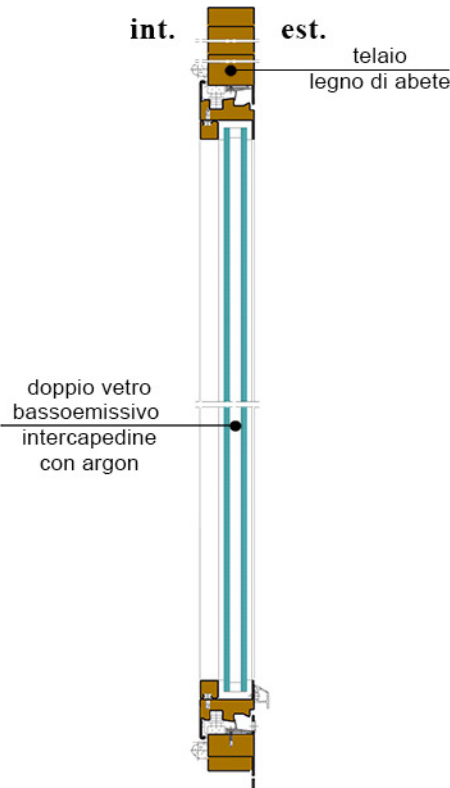


Fig. 71 - sezione dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 5

Finestre e porte finestre di legno lamellare a telaio unico con controtelaio, spessore minimo telaio 58x70 mm, spessore minimo battente 58x78 mm. Compresi falso telaio, coprifili, listelli fermavetro, guarnizioni di tenuta, gocciolatoio sul traverso inferiore con scarico delle acque piovane, cerniere e cremonesi di chiusura con maniglia in alluminio anodizzato; la verniciatura a tre mani trasparente od opaca (imprimitura, fondo e finitura). Marcatura CE in conformità alla direttiva CEE 89/106; UNI EN 1026 - UNI EN 12207 classe 4 di permeabilità all'aria; UNI EN 1027 - UNI EN 12208 classe 9A di tenuta all'acqua; UNI EN 12221 - UNI EN 12210 classe C5 di resistenza al carico del vento; prestazione termica del serramento completo di doppi vetri bassoemissivi e camera con argon minima 1,74 W/ m²K, eseguito in legno di abete.

$$U = 1,74 \text{ W/m}^2\text{k}$$

Tab. 97 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 5

SCENARIO 5	m ² riscaldati	fabbisogno energetico [kWh annuo]*1	tariffa teleriscaldamento [€/kWh annuo]	spesa annua [€]	fabbisogno energetico [kWh/m ² anno]	costo totale interventi	
						costo totale intervento per elemento [€]	costo totale interventi [€]
creazione scenario migliorando del 20% i limiti di U dettati dal Decreto dello Sviluppo Economico del 11 marzo 2008	7980	349.547	0,103	36.003,34	43,80*2	898.965 (988.861,5 IVATO 10%)	1.601.118,2
	tipologia riferimento elementare di involucro				classe energetica B		
opaco verticale U = 0,20							
	costo intervento [€]	459.837	costo ponteggio [€]	224.559	costo pitture [€]	51.435	costo demolizioni impermeab. [€]
opaco orizz. copertura U = 0,18							
costo intervento [€]	21.039,2	costo intonaco [€]	120.285	costo demolizioni [€]	42.849	costo impermeab. [€]	2.040
opaco orizz. solai U = 0,22							
costo intervento [€]	15.306,8	costo ponteggio [€]	9.445,2	costo pitture [€]	3.821,6	costo demolizioni [€]	/
trasparente U = 1,74							
costo intervento [€]	609.200,44	costo intonaco [€]	/	costo pitture [€]	/	costo demolizioni [€]	41.299,95

*1 rendimento impianto: $\eta_{imp} = 0,75$
 *2 Eph inferiore al limite imposto dalla normativa - Eph < 56,9 kWh/m²
 *3 codici: IC.10.300.0010, IC.07.120.0020.a, IC.24.140.0010.a
 *4 codici: IC.10.100.0030, IC.13.050.0020
 *5 codici: IC.10.200.0010, IC.07.110.0020.a, IC.24.120.0010.a
 *6 smontaggio da listino prezzi del Comune di Milano - codice: IC.01.150.0010.a

Tab. 98 - caratteristiche tecnico-economiche - scenario interventi tipologia 5

6.4.6 - Scenario interventi tipologia 6

Gli interventi che caratterizzano lo scenario di tipologia 6 riguardano azioni volte al miglioramento prestazionale dell'involucro migliorando del 50% le trasmittanze termiche degli elementi descritti nello scenario interventi tipologia 1.

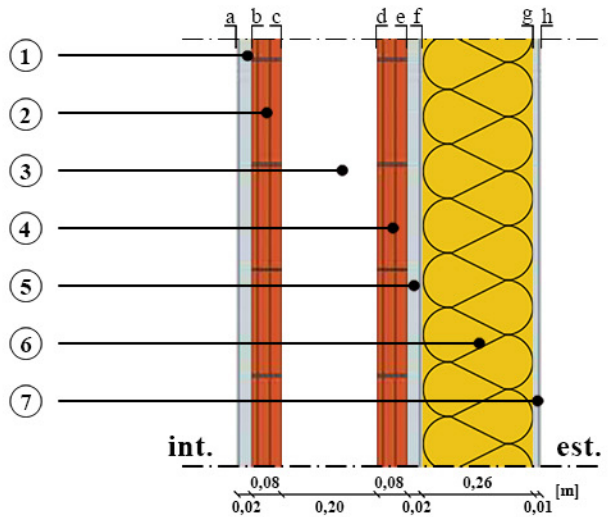


Fig. 72 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 6

Isolamento termico con sistema a cappotto realizzato con lastre in polistirene espanso sinterizzato, senza pelle, prodotte con materie prime vergini esenti da rigenerato; reazione al fuoco Euroclasse E; conformi alla norma UNI EN 13163, con marcatura CE, Classe 100, di spessore 260 mm, conduttività termica W/mK 0,036, resistenza alla compressione kPa 100. Compresse le lastre fissate con adesivo a base di cemento e dispersioni sintetiche privo di solventi; la rete di armatura in vetroresina assicurata alle lastre con rasatura a due mani di adesivo; la chiodatura con tasselli ad espansione.

$$R_{tot} = 1/limi + \sum S/\lambda + 1/limo$$

$$R_{tot} = 1/8 + 0,02/0,7 + 0,08/0,3 + 0,16 + 0,08/0,3 + 0,02/0,9 + 0,26/0,036 + 0,02/0,9 + 1/23 = 8,17 \text{ m}^2\text{k/W}$$

dove:
 R_{tot} resistenza totale [m²k/W]
 $limi$ limitare interno [W/m²k]
 $limo$ limitare esterno [W/m²k]
 S spessore [m]
 λ conduttività termica [W/mk]
 U trasmittanza termica [W/m²k] (stratigrafia stato di fatto pag. 116)

$U = 1/8,17 = 0,12 \text{ W/m}^2\text{k}$

Tab. 99 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento opaco verticale di tamponamento - stato di progetto scenario interventi tipologia 6

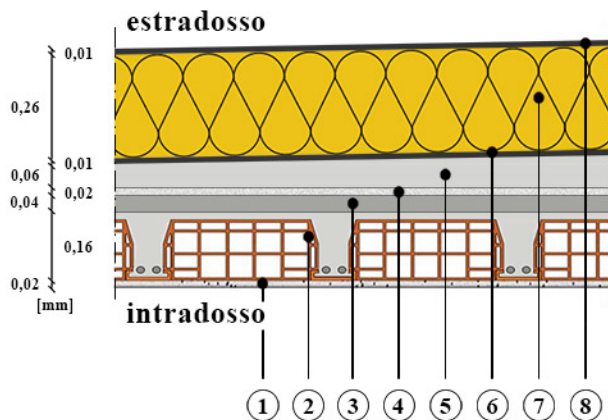


Fig. 73 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 6

Isolamento termico a tetto caldo di copertura piana pedonabile, realizzato con lastre di polistirene espanso estruso, superficie liscia con pelle, bordi battentati, prodotte con gas senza CFC e HCFC; conduttività termica W/mK 0,034 di spessore 260 mm e oltre, resistenza alla compressione kPa 300; reazione al fuoco Euroclasse E; conformi alla norma UNI EN 13164, con marcatura CE.

$$R_{tot} = 1/\limi + \sum S/\lambda + 1/\lime$$

$$R_{tot} = 1/9,3 + 0,02/0,70 + 0,16/0,53 + 0,04/2,3 + 0,02/0,06 + 0,06/1,06 + 0,009/0,03 + 0,26/0,034 + 0,009/0,03 + 1/23 = 9,14 \text{ m}^2\text{k/W}$$

$$U = 1/9,14 = 0,11 \text{ W/m}^2\text{k}$$

dove:
 R_{tot} resistenza totale [m²k/W]
 \limi liminare interno [W/m²k]
 \lime liminare esterno [W/m²k]
 S spessore [m]
 λ condicibilità termica [W/mk]
 U trasmittanza termica [W/m²k]
 (stratigrafia stato di fatto pag. 121)

Tab. 100 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale di copertura - stato di progetto scenario interventi tipologia 6

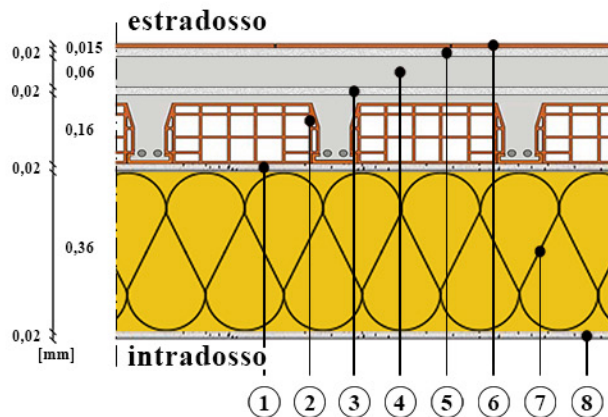


Fig. 74 - sezione del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 6

Isolamento termico di locali su zone non riscaldate, realizzato all'intradosso dei solai (cappotto orizzontale), con lastre di polistirene espanso sinterizzato senza pelle con bordi battentati, prodotte con materie prime vergini esenti da rigenerato; conduttività termica W/mK 0,034 di spessore 360 mm, reazione al fuoco in Euroclasse E; conforme alla norma UNI EN 13163, con marcatura CE.

$$R_{tot} = 1/\limi + \sum S/\lambda + 1/\lime$$

$$R_{tot} = 1/5,8 + 0,02/0,70 + 0,16/0,53 + 0,02/0,06 + 0,06/1,06 + 0,02/0,06 + 0,015/1,00 + 0,36/0,034 + 0,02/0,70 + 1/16 = 11,92 \text{ m}^2\text{k/W}$$

$$U = 1/11,92 = 0,08 \text{ W/m}^2\text{k}$$

dove:
 R_{tot} resistenza totale [m²k/W]
 \limi liminare interno [W/m²k]
 \lime liminare esterno [W/m²k]
 S spessore [m]
 λ condicibilità termica [W/mk]
 U trasmittanza termica [W/m²k]
 (stratigrafia stato di fatto pag. 122)

Tab. 101 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica del pacchetto stratigrafico dell'elemento opaco orizzontale che divide le unità abitative al 1° p.f.t. dal sotterraneo - stato di progetto scenario interventi tipologia 6

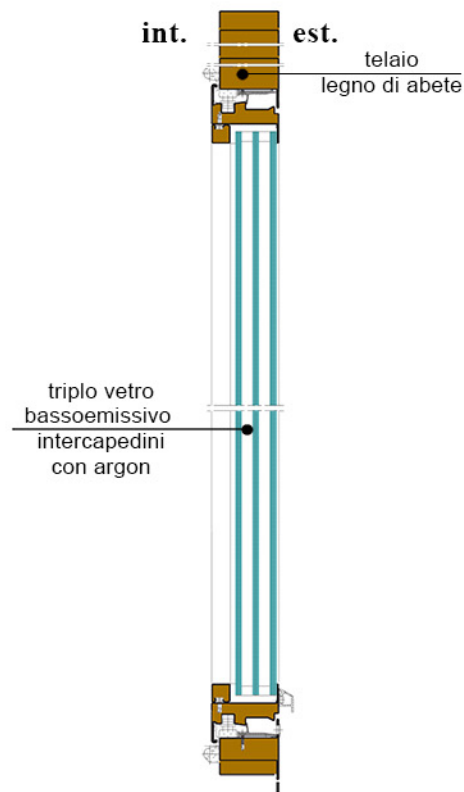


Fig. 75 - sezione dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 6

Finestre e porte finestre di legno lamellare a telaio unico con controtelaio, spessore minimo telaio 58x70 mm, spessore minimo battente 58x78 mm. Compresi falso telaio, coprifili, listelli fermavetro, guarnizioni di tenuta, gocciolatoio sul traverso inferiore con scarico delle acque piovane, cerniere e cremonesi di chiusura con maniglia in alluminio anodizzato; la verniciatura a tre mani trasparente od opaca (imprimitura, fondo e finitura). Marcatura CE in conformità alla direttiva CEE 89/106; UNI EN 1026 - UNI EN 12207 classe 4 di permeabilità all'aria; UNI EN 1027 - UNI EN 12208 classe 9A di tenuta all'acqua; UNI EN 12221 - UNI EN 12210 classe C5 di resistenza al carico del vento, prestazione termica del serramento completo di tripli vetri bassoemissivi e camera con argon minima 1,40 W/ m²K, eseguito in legno di abete.

$$U = 1,40 \text{ W/m}^2\text{k}$$

Tab. 102 - caratteristiche dell'intervento e trasmittanza termica dell'elemento trasparente - stato di progetto scenario interventi tipologia 6

SCENARIO 6	m ² riscaldati		fabbisogno energetico [kWh annuo]*1		tariffa telerscaldamento [€/kWh annuo]		spesa annua [€]		fabbisogno energetico [kWh/m ² anno]	
	tipologia elemento di involucro	costo intervento [€]	costo ponteggio [€]	costo intonaco [€]	costo pittura [€]	costo demolizioni [€]	costo impermeab. [€]	costo totale intervento per elemento [€]	costo totale interventi [€]	classe energetica B
creazione scenario migliorando del 50% i limiti di U dettati dal Decreto dello Sviluppo Economico del 11 marzo 2008		7980			258.870		0,103	26.663,61	32,44*2	
opaco verticale U = 0,12	listino prezzi Comune di Milano**	569.430	224.559	120.285	51.435	42.849	/	1.008.558 (1.109.413,8 IVATO 10%)	1.810.661	
opaco orizz. copertura U = 0,11	listino prezzi Comune di Milano**	37.114,4	/	/	/	/	2.040	39.154,4 (3.954,59 IVATO 10%)	1.952.611,8 (IVATO 10%)	
opaco orizz. solai U = 0,08	listino prezzi Comune di Milano**	38.086,8	/	9.445,2	3.821,6	/	/	51.353,6 (56.488,96 IVATO 10%)		
trasparente U = 1,40	preventivo "Casaffissi"***	670.295,04	/	/	/	41.299,95	/	711.594,99 (782.754,49 IVATO 10%)		

*1 rendimento impianto: $\eta_{imp} = 0,75$
 *2 Ephi inferiore al limite imposto dalla normativa - Ephi < 56,9 kWh/m²
 ** codici: IC.10.300.0010, IC.07.120.0020.a, IC.24.140.0010.a
 *** codici: IC.10.100.0030, IC.13.050.0020
 **** codici: IC.10.200.0010, IC.07.110.0020.a, IC.24.120.0010.a
 ***** smontaggio da listino prezzi del Comune di Milano - codice: IC.01.150.0010.a

Tab. 103 - caratteristiche tecnico-economiche - scenario interventi tipologia 6

6.4.7 - Il periodo di calcolo

Il periodo di calcolo per la stima del costo globale degli interventi è pari a 25 anni.

Il periodo scelto tiene in considerazione la stessa vita utile degli elementi opachi e trasparenti che caratterizzano gli interventi per la riqualificazione energetica (isolamento a cappotto e serramenti ad alte prestazioni energetiche).

6.4.8 - Il calcolo del Valore Attuale Netto (VAN)

I calcoli economici per il costo globale dell'edificio è valutato in termini di valore netto (VAN) in modo tale da effettuare la valutazione finanziaria degli scenari di interventi per il periodo di calcolo di 25 anni.

Il confronto tra i VAN ottenuti riesce a valutare l'opzione più vantaggiosa attraverso il meccanismo dell'attualizzazione dei costi, che riconduce ad un medesimo orizzonte temporale i flussi di cassa che si manifestano in momenti diversi e che quindi, non sono direttamente confrontabili.

Nelle tabelle seguenti, per ogni tipologia di scenario di interventi, vengono mostrate le valutazioni di tre tassi di attualizzazione per il calcolo del Valore Attuale Netto: 3%, 4% e 5%.

I costi di investimento sono descritti così come percepiti dal privato (compresi di IVA) ed i costi energetici sono caratterizzati dall'aumento del 2% di ogni anno.

Come si può notare dai risultati ottenuti nelle tre tabelle, all'aumentare del tasso di attualizzazione, diminuisce il costo globale.

PF (3%)	R _d (i)	SCENARI					
		1	2	3	4	5	6
invest. iniziale	1	1.516.270	1.708.492	1.381.195	1.447.874	1.761.230	1.952.612
costo energia anno 1	0,97	44.492	37.739	44.358	34.937	35.654	26.405
costo energia anno 2	0,94	44.060	37.373	43.927	34.597	35.308	26.148
costo energia anno 3	0,92	43.632	37.010	43.501	34.262	34.965	25.895
costo energia anno 4	0,89	43.208	36.650	43.078	33.929	34.625	25.643
costo energia anno 5	0,86	42.789	36.295	42.660	33.600	34.289	25.394
costo energia anno 6	0,84	42.373	35.942	42.246	33.273	33.956	25.148
costo energia anno 7	0,81	41.962	35.593	41.836	32.950	33.627	24.903
costo energia anno 8	0,79	41.555	35.248	41.430	32.630	33.300	24.662
costo energia anno 9	0,77	41.151	34.905	41.027	32.314	32.977	24.422
costo energia anno 10	0,74	40.752	34.567	40.629	32.000	32.657	24.185
costo energia anno 11	0,72	40.356	34.231	40.235	31.689	32.340	23.950
costo energia anno 12	0,70	39.964	33.899	39.844	31.381	32.026	23.718
costo energia anno 13	0,68	39.576	33.570	39.457	31.077	31.715	23.488
costo energia anno 14	0,66	39.192	33.244	39.074	30.775	31.407	23.259
costo energia anno 15	0,64	38.811	32.921	38.695	30.476	31.102	23.034
costo energia anno 16	0,62	38.435	32.601	38.319	30.180	30.800	22.810
costo energia anno 17	0,61	38.062	32.285	37.947	29.887	30.501	22.589
costo energia anno 18	0,59	37.692	31.971	37.579	29.597	30.205	22.369
costo energia anno 19	0,57	37.326	31.661	37.214	29.310	29.912	22.152
costo energia anno 20	0,55	36.964	31.354	36.852	29.025	29.621	21.937
costo energia anno 21	0,54	36.605	31.049	36.495	28.744	29.334	21.724
costo energia anno 22	0,52	36.249	30.748	36.140	28.464	29.049	21.513
costo energia anno 23	0,51	35.897	30.449	35.789	28.188	28.767	21.304
costo energia anno 24	0,49	35.549	30.154	35.442	27.914	28.487	21.097
costo energia anno 25	0,48	35.204	29.861	35.098	27.643	28.211	20.893
costo globale (VAN)		2.508.126	2.549.809	2.370.065	2.226.718	2.556.062	2.541.254

Tab. 104 - calcolo del costo globale (VAN) e dei flussi di cassa attualizzati - tasso di attualizzazione 3%

P.F. (4%)	R _d (i)	SCENARI					
		1	2	3	4	5	6
invest. iniziale	1	1.516.270	1.708.492	1.381.195	1.447.874	1.761.230	1.952.612
costo energia anno 1	0,96	44.064	37.376	43.931	34.601	35.311	26.151
costo energia anno 2	0,92	43.216	36.657	43.086	33.935	34.632	25.648
costo energia anno 3	0,89	42.385	35.952	42.258	33.283	33.966	25.155
costo energia anno 4	0,85	41.570	35.261	41.445	32.643	33.313	24.671
costo energia anno 5	0,82	40.771	34.583	40.648	32.015	32.672	24.197
costo energia anno 6	0,79	39.987	33.918	39.866	31.399	32.044	23.731
costo energia anno 7	0,76	39.218	33.266	39.100	30.795	31.428	23.275
costo energia anno 8	0,73	38.464	32.626	38.348	30.203	30.823	22.827
costo energia anno 9	0,70	37.724	31.998	37.610	29.622	30.230	22.388
costo energia anno 10	0,68	36.999	31.383	36.887	29.053	29.649	21.958
costo energia anno 11	0,65	36.287	30.780	36.178	28.494	29.079	21.535
costo energia anno 12	0,62	35.589	30.188	35.482	27.946	28.520	21.121
costo energia anno 13	0,60	34.905	29.607	34.800	27.409	27.971	20.715
costo energia anno 14	0,58	34.234	29.038	34.130	26.882	27.433	20.317
costo energia anno 15	0,56	33.575	28.479	33.474	26.365	26.906	19.926
costo energia anno 16	0,53	32.930	27.932	32.830	25.858	26.388	19.543
costo energia anno 17	0,51	32.296	27.394	32.199	25.360	25.881	19.167
costo energia anno 18	0,49	31.675	26.868	31.580	24.873	25.383	18.798
costo energia anno 19	0,47	31.066	26.351	30.973	24.394	24.895	18.437
costo energia anno 20	0,46	30.469	25.844	30.377	23.925	24.416	18.082
costo energia anno 21	0,44	29.883	25.347	29.793	23.465	23.947	17.735
costo energia anno 22	0,42	29.308	24.860	29.220	23.014	23.486	17.394
costo energia anno 23	0,41	28.744	24.382	28.658	22.571	23.035	17.058
costo energia anno 24	0,39	28.192	23.913	28.107	22.137	22.592	16.731
costo energia anno 25	0,38	27.649	23.453	27.566	21.711	22.157	16.409
costo globale (VAN)		2.397.470	2.455.947	2.259.741	2.139.827	2.467.386	2.475.582

Tab. 105 - calcolo del costo globale (VAN) e dei flussi di cassa attualizzati - tasso di attualizzazione 4%

P.F. (5%)	R _d (i)	SCENARI					
		1	2	3	4	5	6
invest. iniziale	1	1.516.270	1.708.492	1.381.195	1.447.874	1.761.230	1.952.612
costo energia anno 1	0,95	43.644	37.020	43.513	34.271	34.975	25.902
costo energia anno 2	0,91	42.397	35.962	42.270	33.292	33.975	25.162
costo energia anno 3	0,86	41.186	34.935	41.062	32.341	33.005	24.443
costo energia anno 4	0,82	40.009	33.937	39.889	31.417	32.062	23.744
costo energia anno 5	0,78	38.866	32.967	38.749	30.519	31.146	23.066
costo energia anno 6	0,75	37.756	32.025	37.642	29.647	30.256	22.407
costo energia anno 7	0,71	36.677	31.110	36.566	28.800	29.391	21.767
costo energia anno 8	0,68	35.629	30.221	35.522	27.977	28.552	21.145
costo energia anno 9	0,64	34.611	29.358	34.507	27.178	27.736	20.541
costo energia anno 10	0,61	33.622	28.519	33.521	26.401	26.943	19.954
costo energia anno 11	0,58	32.661	27.704	32.563	25.647	26.174	19.384
costo energia anno 12	0,56	31.728	26.913	31.633	24.914	25.426	18.830
costo energia anno 13	0,53	30.822	26.144	30.729	24.202	24.699	18.292
costo energia anno 14	0,51	29.941	25.397	29.851	23.511	23.994	17.769
costo energia anno 15	0,48	29.086	24.671	28.998	22.839	23.308	17.262
costo energia anno 16	0,46	28.255	23.966	28.170	22.187	22.642	16.768
costo energia anno 17	0,44	27.447	23.282	27.365	21.553	21.995	16.289
costo energia anno 18	0,42	26.663	22.616	26.583	20.937	21.367	15.824
costo energia anno 19	0,40	25.901	21.970	25.823	20.339	20.756	15.372
costo energia anno 20	0,38	25.161	21.342	25.086	19.758	20.163	14.933
costo energia anno 21	0,36	24.442	20.733	24.369	19.193	19.587	14.506
costo energia anno 22	0,34	23.744	20.140	23.673	18.645	19.028	14.092
costo energia anno 23	0,33	23.066	19.565	22.996	18.112	18.484	13.689
costo energia anno 24	0,31	22.407	19.006	22.339	17.595	17.956	13.298
costo energia anno 25	0,30	21.766	18.463	21.701	17.092	17.443	12.918
costo globale (VAN)		2.303.759	2.376.459	2.166.313	2.066.241	2.392.291	2.419.967

Tab. 106 - calcolo del costo globale (VAN) e dei flussi di cassa attualizzati - tasso di attualizzazione 5%

6.4.9 - *Precisazioni sulla redazione delle caratteristiche tecnico-economiche*

Le valutazioni energetica ed economica sono state condotte considerando i vari scenari di interventi per l'efficientamento energetico.

La valutazione energetica è stata condotta mediante il calcolo in regime dinamico con lo scopo di prevedere consumi energetici globali per ogni tipologia di scenario; la valutazione economica è stata condotta in accordo con la norma *UNI EN 15459* con lo scopo di prevedere il costo globale in un contesto di riqualificazione energetica totale.

Le semplificazioni ammesse dalla normativa e gli aspetti specifici presi in considerazione, vengono descritti di seguito:

- la voce riguardante i costi tecnici previsti per l'esecuzione delle opere (costi riguardanti la direzione dei lavori, la redazione di pratiche burocratiche, etc.) è stata ipotizzata costante per ogni scenario di interventi. Essa, quindi, è stata trascurata;
- per quanto possibile si è tenuto come riferimento il Prezziario del Comune di Milano, ma laddove le voci di costo non sono risultate disponibili in tale Prezziario, sono state prese in considerazione offerte preventivate da aziende private;
- i tassi di sconto considerati sono quelli inseriti nei totali preventivati dalle aziende private;
- la riqualificazione energetica viene realizzata considerando la necessità di effettuare opere di manutenzione che riguardano le facciate esterne. Il costo dell'installazione del

ponteggio per il rifacimento dell'intonaco esterno, che presenta uno stato di degrado avanzato, viene preso in considerazione anche per l'isolamento ad insufflaggio (scenario interventi tipologia 3 e tipologia 4) sebbene la tecnica permette di eseguire l'opera dall'interno delle singole unità abitative;



Fig. 76-77 - foto del degrado dell'intonaco esterno

- per le prestazioni di servizi relative alla manutenzione ordinaria e straordinaria effettuate sull'immobile, è stata applicata l'aliquota IVA agevolata del 10% così come previsto dalla normativa;
- il valore del fabbisogno energetico dello stato di fatto, calcolato con il software *BESTenergy*, si discosta dal valore relativo all'anno 2013 e desunto dalle fatture energetiche, in quanto il valore prodotto dal software si basa su un anno tipo, mentre quello ricavato dalle fatture fa riferimento ad un anno reale. I valori si discostano solamente del 8%, quindi si può affermare che il modello è validato;
- gli interventi per il miglioramento della pre-

stazione energetica fanno riferimento all'isolamento dell'involucro. Sono stati esclusi gli interventi che riguardano l'impianto termico in quanto esso è stato recentemente modificato. L'impianto termico un tempo caratterizzato da due generatori di calore a gasolio, infatti, è stato modificato e l'edificio è oggi collegato al teleriscaldamento. La tipologia impiantistica attuale permette una generazione efficiente dell'energia termica.

6.5 - Il Reference Building

L'edificio di riferimento preso in considerazione per il caso studio dell'immobile di via Don Rodrigo a Milano, fa parte del progetto di ricerca europeo *IEE TABULA* aggiornato successivamente dal progetto *EPISCOPE*.

La ricerca condotta dal gruppo di lavoro del programma *Intelligent Energy Europe* ha definito le caratteristiche tipologiche e costruttive dell'edificio di riferimento scelto, che rappresenta la dimensione edilizia del parco immobiliare della zona climatica E.

Rispetto alla "Matrice delle Tipologie Edilizie" descritta nel capitolo 4 - paragrafo 4.4, l'edificio oggetto di studio si identifica nella classe edilizia "blocco di appartamenti" e rientra nella classe di epoca di costruzione numero 5 che rappresenta la fascia temporale tra l'anno 1961 e l'anno 1975.

Il periodo di costruzione permette di identificare le caratteristiche della struttura che si presenta essere massiva e costituita prevalentemente da laterizi e calcestruzzo.

Dalle schede illustrative inserite nelle pagine

successive, del *reference building* preso in considerazione, si può notare che la tipologia costruttiva coincide con l'immobile oggetto di studio, esclusi i serramenti che si discostano per la tipologia di materiale che caratterizza il telaio (legno/alluminio). Nonostante ciò, entrambi i materiali del telaio e la presenza di vetro singolo, definiscono prestazioni energetiche molto basse dell'elemento d'involucro trasparente, con una trasmittanza termica intorno ai 5,00 W/m²K.

Le caratteristiche dimensionali (superficie, volume, quantità appartamenti e numero di piani) che descrivono l'immobile di via Don Rodrigo compongono un edificio molto più ampio rispetto al *reference building* che, infatti, è 2/3 più piccolo. L'immobile oggetto di studio contiene 105 unità abitative, ovvero 65 unità abitative in più rispetto al *reference building*.

Per quanto riguarda la tipologia impiantistica dell'immobile oggetto di studio, essa presenta una qualità maggiore in termini di generazione efficiente di energia termica rispetto all'edificio di riferimento. L'impiantistica, infatti, è collegata al teleriscaldamento, mentre la tipologia impiantistica del *reference building*, presenta una caldaia standard a gas.

Anche l'impianto per la generazione di acqua calda sanitaria si discosta per tipologia. Nell'edificio oggetto di studio le caldaie ubicate in ogni unità immobiliare garantiscono la fornitura di acqua calda sanitaria, mentre nell'edificio di riferimento è presente la caldaia standard a gas con serbatoio di accumulo per produzione centralizzata di ACS in ambiente non riscaldato e con basso livello di isolamento.

Regione/Zona climatica: **Area climatica media**

Classe di epoca di costruzione: **5 (1961-1975)**

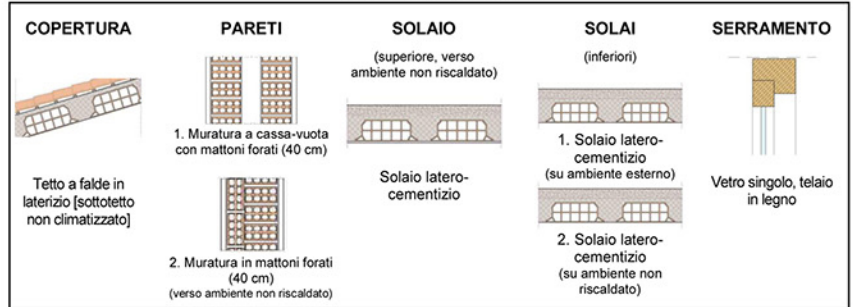
Classe di dimensione edilizia: **Blocco di appartamenti**



V [m ³]	S/V [m ⁻¹]	A _{f,i} [m ²]	Numero di appartamenti	Numero di piani climatizzati
9438	0,46	2869	40	8

STATO ORIGINARIO

TIPOLOGIA COSTRUTTIVA



COPERTURA		PARETI		SOLAIO (superiore)	SOLAI (inferiori)		SERRAMENTO	
U [W/(m ² K)]	U ₁ [W/(m ² K)]	U ₂ [W/(m ² K)]	U [W/(m ² K)]	U ₁ [W/(m ² K)]	U ₂ [W/(m ² K)]	U [W/(m ² K)]	g _{g,n} [-]	
2,20	1,10	1,13	1,65	1,56	1,30	4,90	0,85	

TIPOLOGIA IMPIANTISTICA

IMPIANTO DI RISCALDAMENTO

GENERAZIONE	η _{h,gn} = 0,71	ACCUMULO	Q _{acc,H,S} = 0 kWh/m ²	DISTRIBUZIONE	η _{H,d} = 0,86	AUSILIARIO	Q _{aux,H} = 1,7 kWh/m ²
caldaia standard (gas), bruciatore atmosferico, installata in ambiente non climatizzato, camino > 10 m, antecedente al 1996		-		distribuzione centralizzata a colonne montanti verticali, collegamenti orizzontali in ambienti non riscaldati (es. cantina o terreno) / 1961-1976		pompa di circolazione per impianto centralizzato - ausiliario elettrico per caldaia standard con bruciatore atmosferico	

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

GENERAZIONE	η _{W,gn} = 0,73	ACCUMULO	Q _{acc,W,S} = 6,2 kWh/m ²	DISTRIBUZIONE	Q _{acc,W,d} = 10,7 kWh/m ²	AUSILIARIO	Q _{aux,W} = 2,1 kWh/m ²
caldaia standard (gas), bruciatore atmosferico, installata in ambiente non climatizzato, camino > 10 m, antecedente al 1996		serbatoio di accumulo per produzione centralizzata di ACS, in ambiente non climatizzato - basso livello di isolamento		distribuzione di ACS centralizzata con riciccolo, porzione di rete affacciata all'esterno, fino al 1975		produzione di ACS centralizzata con pompa di circolazione - ausiliario elettrico per caldaia standard con bruciatore atmosferico	

RIQUALIFICAZIONE STANDARD

INTERVENTI SULL'INVOLUCRO

ELEMENTO	U _{ex} [W/(m ² K)]	U _{new} [W/(m ² K)]	TIPO DI INTERVENTO
COPERTURA	2,20	0,80	Inserimento isolante (3 cm)
PARETI	1,10	0,33	Inserimento isolante (8 cm; 9 cm)
	1,13		
SOLAIO (superiore)	1,65	0,30	Inserimento isolante (11 cm)
SOLAI (inferiori)	1,56	0,30	Inserimento isolante (11 cm; 10 cm)
	1,30		
SERRAMENTO	4,90 (g _{g,n} 0,85)	2,00 (g _{g,n} 0,67)	Sostituzione

INTERVENTI SUGLI IMPIANTI

RISCALDAMENTO

GENERAZIONE	ACCUMULO	DISTRIBUZIONE	AUSILIARIO
η _{h,gn} = 0,98	Q _{acc,H,S} = 0 kWh/m ²	η _{H,d} = 0,96	Q _{aux,H} = 2,6 kWh/m ²
caldaia a condensazione, installata in centrale termica	-	distribuzione centralizzata a colonne montanti verticali, collegamenti orizzontali in ambienti non riscaldati (es. cantina o terreno) / livello di isolamento elevato	pompa di circolazione per impianto centralizzato - ausiliario elettrico per caldaia a condensazione

ACQUA CALDA SANITARIA

GENERAZIONE	ACCUMULO	DISTRIBUZIONE	AUSILIARIO
η _{W,gn} = 0,99	Q _{acc,W,S} = 2,1 kWh/m ²	Q _{acc,W,d} = 2,42 kWh/m ²	Q _{aux,W} = 2,8 kWh/m ²
caldaia a condensazione, installata in centrale termica	serbatoio di accumulo per produzione centralizzata di ACS, in ambiente non climatizzato - alto livello di isolamento	distribuzione di ACS centralizzata con riciccolo, porzione di rete affacciata all'esterno, dopo il 1991	produzione di ACS centralizzata con pompa di circolazione - ausiliario elettrico per caldaia a condensazione

RIQUALIFICAZIONE AVANZATA

INTERVENTI SULL'INVOLUCRO

ELEMENTO	U _{ex} [W/(m ² K)]	U _{new} [W/(m ² K)]	TIPO DI INTERVENTO
COPERTURA	2,20	0,80	Inserimento isolante (3 cm)
PARETI	1,10	0,25	Inserimento isolante (12 cm; 12 cm)
	1,13		
SOLAIO (superiore)	1,65	0,23	Inserimento isolante (15 cm)
SOLAI (inferiori)	1,56	0,23	Inserimento isolante (15 cm; 14 cm)
	1,30		
SERRAMENTO	4,90 (g _{g,n} 0,85)	1,70 (g _{g,n} 0,50)	Sostituzione

INTERVENTI SUGLI IMPIANTI

RISCALDAMENTO

GENERAZIONE	ACCUMULO	DISTRIBUZIONE	AUSILIARIO
η _{h,gn,RS} = 0,98	Q _{acc,H,S} = 0,8 kWh/m ²	η _{H,d} = 0,97	Q _{aux,H} = 2,6 kWh/m ²
solare termico (20%)	serbatoio di accumulo di acqua calda per riscaldamento centralizzato - alto livello di isolamento	distribuzione centralizzata a colonne montanti verticali, collegamenti orizzontali in ambienti non riscaldati (es. cantina o terreno) / livello di isolamento elevato	pompa di circolazione per impianto centralizzato - ausiliario elettrico per caldaia a condensazione

ACQUA CALDA SANITARIA

GENERAZIONE	ACCUMULO	DISTRIBUZIONE	AUSILIARIO
η _{W,gn,RS} = 0,99	Q _{acc,W,S} = 2,1 kWh/m ²	Q _{acc,W,d} = 2,42 kWh/m ²	Q _{aux,W} = 2,5 kWh/m ²
solare termico (60%)	serbatoio di accumulo per produzione centralizzata di ACS, in ambiente non climatizzato - alto livello di isolamento	distribuzione di ACS centralizzata con riciccolo, porzione di rete affacciata all'esterno, dopo il 1991	produzione di ACS centralizzata con impianto solare termico, con pompa di circolazione, in associazione ad una caldaia a condensazione (ausiliario elettrico)

PRESTAZIONE ENERGETICA

Stato originario (SO)

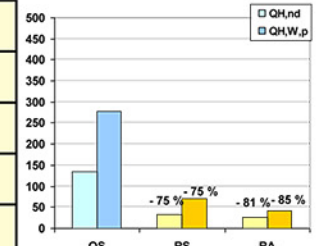
Q _{H,nd} [kWh/m ²]	134
Q _{W,nd} [kWh/m ²]	18,2
Q _{H,p} [kWh/m ²]	224
Q _{W,p} [kWh/m ²]	52,6
Q _{H,W,p} [kWh/m ²]	277

Riqualificazione standard (RS)

Q _{H,nd} [kWh/m ²]	33,4
Q _{W,nd} [kWh/m ²]	18,2
Q _{H,p} [kWh/m ²]	41,1
Q _{W,p} [kWh/m ²]	29,0
Q _{H,W,p} [kWh/m ²]	70,1

Riqualificazione avanzata (RA)

Q _{H,nd} [kWh/m ²]	25,8
Q _{W,nd} [kWh/m ²]	18,2
Q _{H,p} [kWh/m ²]	28,0
Q _{W,p} [kWh/m ²]	14,6
Q _{H,W,p} [kWh/m ²]	42,6

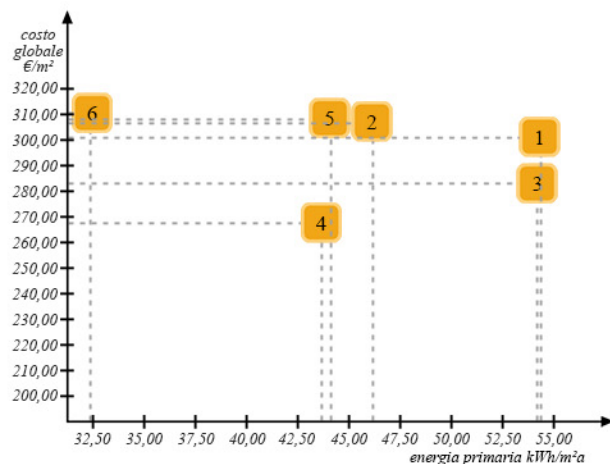


6.6 - I risultati del caso studio secondo la metodologia del Regolamento n. 244/2012

Prendendo in considerazione il tasso di attualizzazione del 4%, la seguente tabella riassume i risultati calcolati.

tipologia SCENARIO	fabbisogno energetico [kWh/m ² a]	costo globale [€/m ²]
SCENARIO 0	157,75	/
SCENARIO 1	54,66	300,44
SCENARIO 2	46,36	308,76
SCENARIO 3	54,50	283,18
SCENARIO 4	42,92	268,15
SCENARIO 5	43,80	309,20
SCENARIO 6	32,44	310,22

Le misure di efficientamento energetico consentono di risparmiare in termini assoluti di energia primaria dai 103 kWh/m² anno ai 125 kWh/m² anno.



Tab. 107 - riassunto dei risultati tecnico economici

Graf. 18 - determinazione degli scenari di interventi di prestazione energetica ottimale in funzione dei costi del condominio di via Don Rodrigo a Milano

La rappresentazione dell'insieme degli scenari disegnati nel grafico 18, mostra la visione completa dei risultati letti in termini di ottimalità energetica in funzione dei costi.

Gli interventi che compongono lo scenario di tipologia 6 risultano essere ottimali per il miglioramento della prestazione energetica, ma richiedono elevati costi di investimento.

La prestazione energetica viene migliorata anche con gli interventi che compongono gli scenari di tipologia 2 e di tipologia 5, ma gli alti costi di intervento risultano essere in linea con i costi che caratterizza lo scenario di tipologia 6.

Gli scenari di interventi di tipologia 1 e di tipologia 3 richiedono un elevato costo globale ed elevati consumi di energia e per questo risultano essere le scelte più svantaggiose.

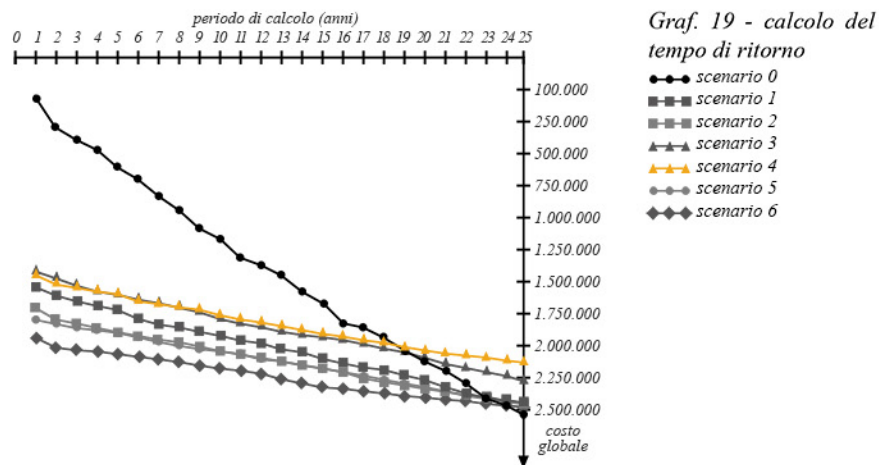
Si individua lo scenario di interventi di tipologia 4 come lo scenario più vantaggioso in quanto risulta essere caratterizzato da un livello di prestazione ottimale in funzione dei costi.

Il grafico 19 mette in evidenza i tempi di ritorno degli investimenti che caratterizzano gli scenari. Considerando che lo scenario 0, che descrive lo stato di fatto, non è caratterizzato dai costi per la manutenzione ordinaria (riparazioni, rinnovamento, e sostituzione di finiture), si nota come gli investimenti intorno ai 2.500.000 euro (investimenti che caratterizzano gli scenari di interventi di tipologia 1, 2, 5, e 6) avranno un guadagno solamente dopo il 23esimo ed il 24esimo anno.

Lo scenario di interventi di tipologia 3 caratterizzato da un costo globale di 2.259.741 euro, riceverà un guadagno dopo il 19esimo anno.

Lo scenario di intervento, che avrà un tempo di ritorno più lungo, sarà lo scenario di tipologia 4

che riceverà un guadagno dopo la metà del 18esimo anno con un costo globale di 2.139.827 euro.



Il confronto con i risultati che caratterizzano il *reference building*, sottolineano che la riqualificazione studiata per l'edificio in via Don Rodrigo si posiziona su un livello intermedio tra la riqualificazione standard e la riqualificazione avanzata effettuate sull'edificio di riferimento.

Il livello intermedio tra le riqualificazioni citate è dato prevalentemente dal fatto che sono stati eliminati gli interventi che riguardano gli impianti dell'edificio oggetto di studio. Infatti, come precedentemente specificato nel paragrafo 6.4.9, gli interventi per il miglioramento della prestazione energetica sono caratterizzati dall'isolamento dell'involucro, mentre sono stati esclusi gli interventi che riguardano l'impianto termico in quanto esso è stato recentemente modificato. L'impianto termico un tempo caratterizzato da due generatori di calore a gasolio, infatti, è stato modificato e l'edificio è oggi collegato al teleriscaldamento.

6.7 - I risultati del caso studio secondo la metodologia del Regolamento n. 244/2012 considerando le detrazioni fiscali del 50 e del 65%

Le verifiche del paragrafo precedente sono sviluppate senza considerare gli incentivi dettati dalla normativa vigente.

Esaminando lo scenario attuale delle detrazioni fiscali del 50% e del 65% definite dalla legge n° 190 del 23 dicembre 2014 (*Legge di stabilità 2015*) e dal *Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 11 marzo 2008*, si ricalcolano i costi globali.

Gli scenari di interventi di tipologia 1 e 3 sono caratterizzati da opere che rientrano negli interventi che possono essere detratti fiscalmente del 50%.

Gli scenari di interventi di tipologia 2, 4, 5 e 6 invece, sono studiati per caratterizzare l'involucro da trasmittanze limite che permettono le detrazioni fiscali del 65%.

zona climatica	strutture opache verticali	strutture opache orizzontali o inclinate di copertura	strutture opache orizzontali di pavimento	chiusure trasparenti compresse infissi	centrale termica dei vetri
D	0,29	0,26	0,34	2,40	2,00
E	0,27	0,24	0,30	2,20	1,80
F	0,26	0,23	0,28	2,00	1,60

Tab. 108 - trasmittanze limite per le detrazioni fiscali del 65%

Il calcolo del costo globale viene effettuato al lordo degli incentivi.

Nella seguente tabella si riassumono i costi degli investimenti per ogni tipologia di scenario di interventi caratterizzati dalle detrazioni del 50% e dalle detrazioni del 65%.

SCENARIO	spesa per interventi effettuati su aree comuni [€]*	limite spesa per interventi effettuati su aree comuni [€]	totale spesa detratta interventi effettuati su aree comuni [€]	spesa per interventi effettuati su ogni area privata [€]	limite spesa per interventi effettuati su ogni area privata [€]	totale spesa detratta interventi effettuati su ogni area privata [€]**
1	871.814,88	96.000	48.000	4.871,28	96.000	2.435,64
<i>investimento = 1.516.270,4 € - 48.000 € - (2.435,64 € x 104) = 1.214.963,84 €</i>						
2	908.869,04	96.000	62.400	6.195,24	96.000	4.026,91
<i>investimento = 1.708.491,6 € - 62.400 € - (4.026,91 € x 104) = 1.227.292,96 €</i>						
3	749.018,88	96.000	48.000	4.871,28	96.000	2.435,64
<i>investimento = 1.381.194,8 € - 48.000 € - (2.435,64 € x 104) = 1.079.888,24 €</i>						
4	671.944,04	96.000	62.400	6.195,24	96.000	4.026,91
<i>investimento = 1.447.874,1 € - 62.400 € - (4.026,91 € x 104) = 966.675,46 €</i>						
5	956.813,04	96.000	62.400	6.195,24	96.000	4.026,91
<i>investimento = 1.761.230 € - 62.400 € - (4.026,91 € x 104) = 1.280.031,36 €</i>						
6	1.105.843,1	96.000	62.400	6.777,10	96.000	4.405,12
<i>investimento = 1.952.611,8 € - 62.400 € - (4.405,12 € x 104) = 1.432.079,32 €</i>						

* comprende il costo della sostituzione dei serramenti della casa del custode

** totale unità abitative private: 104

Nelle tabelle seguenti, per ogni tipologia di scenario di interventi, vengono mostrate le valutazioni dei tre tassi di attualizzazione riguardanti la prospettiva finanziaria: 3%, 4% e 5%.

Tab. 109 - riassunto dei costi globali caratterizzati dalle detrazioni del 50 % e del 65%

P.F. (3%)	R _a (t)	SCENARI					
		1	2	3	4	5	6
invest. iniziale	1	1.214.964	1.227.293	1.079.888	966.675	1.280.031	1.432.079
costo energia anno 1	0,97	44.492	37.739	44.358	34.937	35.654	26.405
costo energia anno 2	0,94	44.060	37.373	43.927	34.597	35.308	26.148
costo energia anno 3	0,92	43.632	37.010	43.501	34.262	34.965	25.895
costo energia anno 4	0,89	43.208	36.650	43.078	33.929	34.625	25.643
costo energia anno 5	0,86	42.789	36.295	42.660	33.600	34.289	25.394
costo energia anno 6	0,84	42.373	35.942	42.246	33.273	33.956	25.148
costo energia anno 7	0,81	41.962	35.593	41.836	32.950	33.627	24.903
costo energia anno 8	0,79	41.555	35.248	41.430	32.630	33.300	24.662
costo energia anno 9	0,77	41.151	34.905	41.027	32.314	32.977	24.422
costo energia anno 10	0,74	40.752	34.567	40.629	32.000	32.657	24.185
costo energia anno 11	0,72	40.356	34.231	40.235	31.689	32.340	23.950
costo energia anno 12	0,70	39.964	33.899	39.844	31.381	32.026	23.718
costo energia anno 13	0,68	39.576	33.570	39.457	31.077	31.715	23.488
costo energia anno 14	0,66	39.192	33.244	39.074	30.775	31.407	23.259
costo energia anno 15	0,64	38.811	32.921	38.695	30.476	31.102	23.034
costo energia anno 16	0,62	38.435	32.601	38.319	30.180	30.800	22.810
costo energia anno 17	0,61	38.062	32.285	37.947	29.887	30.501	22.589
costo energia anno 18	0,59	37.692	31.971	37.579	29.597	30.205	22.369
costo energia anno 19	0,57	37.326	31.661	37.214	29.310	29.912	22.152
costo energia anno 20	0,55	36.964	31.354	36.852	29.025	29.621	21.937
costo energia anno 21	0,54	36.605	31.049	36.495	28.744	29.334	21.724
costo energia anno 22	0,52	36.249	30.748	36.140	28.464	29.049	21.513
costo energia anno 23	0,51	35.897	30.449	35.789	28.188	28.767	21.304
costo energia anno 24	0,49	35.549	30.154	35.442	27.914	28.487	21.097
costo energia anno 25	0,48	35.204	29.861	35.098	27.643	28.211	20.893
costo globale (VAN)		2.206.828	2.068.610	2.068.758	1.745.520	2.074.863	2.020.722

Tab. 110 - calcolo del costo globale (VAN) e dei flussi di cassa attualizzati - tasso di attualizzazione 3%

P.F. (4%)	R _d (i)	SCENARI					
		1	2	3	4	5	6
invest. iniziale	1	1.214.964	1.227.293	1.079.888	966.675	1.280.031	1.432.079
costo energia anno 1	0,96	44.064	37.376	43.931	34.601	35.311	26.151
costo energia anno 2	0,92	43.216	36.657	43.086	33.935	34.632	25.648
costo energia anno 3	0,89	42.385	35.952	42.258	33.283	33.966	25.155
costo energia anno 4	0,85	41.570	35.261	41.445	32.643	33.313	24.671
costo energia anno 5	0,82	40.771	34.583	40.648	32.015	32.672	24.197
costo energia anno 6	0,79	39.987	33.918	39.866	31.399	32.044	23.731
costo energia anno 7	0,76	39.218	33.266	39.100	30.795	31.428	23.275
costo energia anno 8	0,73	38.464	32.626	38.348	30.203	30.823	22.827
costo energia anno 9	0,70	37.724	31.998	37.610	29.622	30.230	22.388
costo energia anno 10	0,68	36.999	31.383	36.887	29.053	29.649	21.958
costo energia anno 11	0,65	36.287	30.780	36.178	28.494	29.079	21.535
costo energia anno 12	0,62	35.589	30.188	35.482	27.946	28.520	21.121
costo energia anno 13	0,60	34.905	29.607	34.800	27.409	27.971	20.715
costo energia anno 14	0,58	34.234	29.038	34.130	26.882	27.433	20.317
costo energia anno 15	0,56	33.575	28.479	33.474	26.365	26.906	19.926
costo energia anno 16	0,53	32.930	27.932	32.830	25.858	26.388	19.543
costo energia anno 17	0,51	32.296	27.394	32.199	25.360	25.881	19.167
costo energia anno 18	0,49	31.675	26.868	31.580	24.873	25.383	18.798
costo energia anno 19	0,47	31.066	26.351	30.973	24.394	24.895	18.437
costo energia anno 20	0,46	30.469	25.844	30.377	23.925	24.416	18.082
costo energia anno 21	0,44	29.883	25.347	29.793	23.465	23.947	17.735
costo energia anno 22	0,42	29.308	24.860	29.220	23.014	23.486	17.394
costo energia anno 23	0,41	28.744	24.382	28.658	22.571	23.035	17.058
costo energia anno 24	0,39	28.192	23.913	28.107	22.137	22.592	16.731
costo energia anno 25	0,38	27.649	23.453	27.566	21.711	22.157	16.409
costo globale (VAN)		2.096.163	1.974.748	1.958.435	1.658.628	1.986.188	1.955.050

Tab. 111 - calcolo del costo globale (VAN) e dei flussi di cassa attualizzati - tasso di attualizzazione 4%

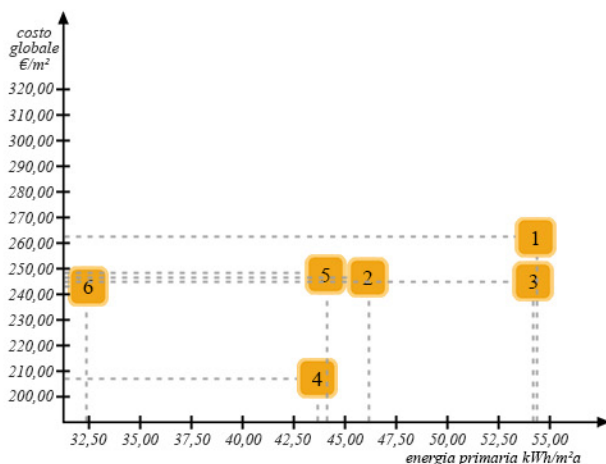
P.F. (5%)	R _d (i)	SCENARI					
		1	2	3	4	5	6
invest. iniziale	1	1.214.964	1.227.293	1.079.888	966.675	1.280.031	1.432.079
costo energia anno 1	0,95	43.644	37.020	43.513	34.271	34.975	25.902
costo energia anno 2	0,91	42.397	35.962	42.270	33.292	33.975	25.162
costo energia anno 3	0,86	41.186	34.935	41.062	32.341	33.005	24.443
costo energia anno 4	0,82	40.009	33.937	39.889	31.417	32.062	23.744
costo energia anno 5	0,78	38.866	32.967	38.749	30.519	31.146	23.066
costo energia anno 6	0,75	37.756	32.025	37.642	29.647	30.256	22.407
costo energia anno 7	0,71	36.677	31.110	36.566	28.800	29.391	21.767
costo energia anno 8	0,68	35.629	30.221	35.522	27.977	28.552	21.145
costo energia anno 9	0,64	34.611	29.358	34.507	27.178	27.736	20.541
costo energia anno 10	0,61	33.622	28.519	33.521	26.401	26.943	19.954
costo energia anno 11	0,58	32.661	27.704	32.563	25.647	26.174	19.384
costo energia anno 12	0,56	31.728	26.913	31.633	24.914	25.426	18.830
costo energia anno 13	0,53	30.822	26.144	30.729	24.202	24.699	18.292
costo energia anno 14	0,51	29.941	25.397	29.851	23.511	23.994	17.769
costo energia anno 15	0,48	29.086	24.671	28.998	22.839	23.308	17.262
costo energia anno 16	0,46	28.255	23.966	28.170	22.187	22.642	16.768
costo energia anno 17	0,44	27.447	23.282	27.365	21.553	21.995	16.289
costo energia anno 18	0,42	26.663	22.616	26.583	20.937	21.367	15.824
costo energia anno 19	0,40	25.901	21.970	25.823	20.339	20.756	15.372
costo energia anno 20	0,38	25.161	21.342	25.086	19.758	20.163	14.933
costo energia anno 21	0,36	24.442	20.733	24.369	19.193	19.587	14.506
costo energia anno 22	0,34	23.744	20.140	23.673	18.645	19.028	14.092
costo energia anno 23	0,33	23.066	19.565	22.996	18.112	18.484	13.689
costo energia anno 24	0,31	22.407	19.006	22.339	17.595	17.956	13.298
costo energia anno 25	0,30	21.766	18.463	21.701	17.092	17.443	12.918
costo globale (VAN)		2.002.452	1.895.261	1.865.006	1.585.043	1.911.092	1.899.435

Tab. 112 - calcolo del costo globale (VAN) e dei flussi di cassa attualizzati - tasso di attualizzazione 5%

Prendendo in considerazione il tasso di attualizzazione del 4%, la seguente tabella riassume i risultati pervenuti.

tipologia SCENARIO	fabbisogno energetico [kWh/m ² a]	costo globale [€/m ²]
SCENARIO 0	157,75	/
SCENARIO 1	54,66	262,68
SCENARIO 2	46,36	247,46
SCENARIO 3	54,50	245,42
SCENARIO 4	42,92	207,85
SCENARIO 5	43,80	248,90
SCENARIO 6	32,44	244,99

La rappresentazione dell'insieme degli scenari nel grafico seguente, mostra la visione completa dei risultati letti in termini di ottimalità energetica in funzione dei costi.



Graf. 20 - riassunto dei risultati tecnico economici

Graf. 21 - determinazione degli scenari di interventi di prestazione energetica ottimale in funzione dei costi del condominio di via Don Rodrigo a Milano considerando le detrazioni fiscali del 50% e del 65%

Il calcolo delle detrazioni fiscali ha portato ad avere risultati diversi rispetto a quelli precedenti.

temente calcolati.

Gli interventi caratterizzati dalle detrazioni fiscali del 50% (scenari di interventi di tipologia 1 e di tipologia 3) risultano essere le scelte più svantaggiose in quanto, sebbene le detrazioni permettono di abbassare i costi globali, esse richiedono elevati consumi di energia.

Gli scenari di interventi di tipologia 2, 4, 5, e 6 caratterizzati dalle detrazioni fiscali del 65% ricevono un notevole abbassamento dei costi.

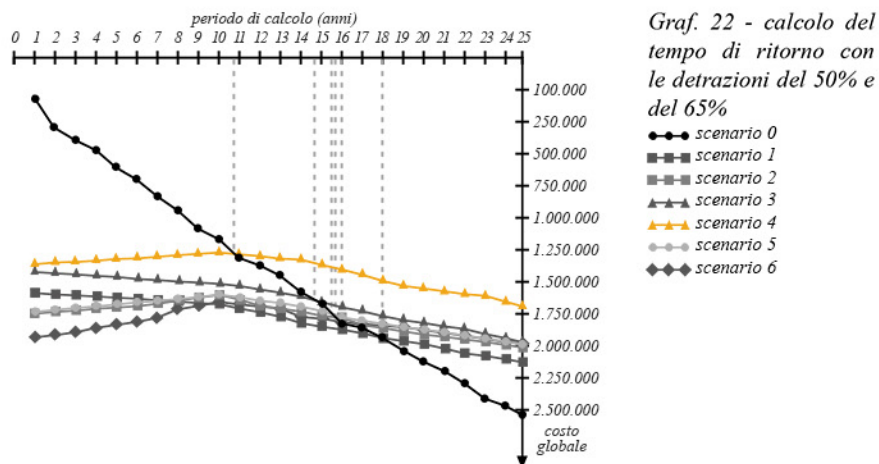
Le detrazioni al 65% hanno premiato l'investimento più efficiente dal punto di vista dell'efficienza energetica, in quanto lo scenario di interventi di tipologia 6 è caratterizzato da costi che rientrano nella media dei 245 euro/m² (rispetto ai 300 euro/m² non considerando le detrazioni). Nonostante ciò si sottolinea che lo scenario di tipologia 6 è caratterizzato da un eccessivo pacchetto di isolamento (dai 26 cm ai 36 cm) studiato solamente a fini teorici (per dimostrare l'effetto positivo delle detrazioni sugli interventi maggiormente efficienti) e non a fini pratici, in quanto l'applicazione di uno spessore così elevato di coibente porterebbe ad avere costi di manutenzione molto alti.

Anche in questo caso si individua lo scenario di interventi di tipologia 4 come lo scenario più vantaggioso.

Sebbene gli scenari di tipologia 2 e di tipologia 5 siano caratterizzati da costi di intervento più alti rispetto a quelli calcolati per lo scenario 4, gli scenari 2 e 5 permettono di avere maggiori vantaggi a livello di comfort. Infatti, come precedentemente analizzato nel paragrafo 5.1.1, la tecnica di isolamento a cappotto è la soluzione più efficace, grazie alla continuità delle lastre

isolanti che permettono di evitare ponti termici e grazie all'aumento dell'inerzia termica delle pareti. Al contrario, l'isolamento in intercapedine che caratterizza lo scenario di interventi di tipologia 4, non eliminerebbe totalmente i ponti termici causando i tipici problemi di muffa creata dalla condensazione.

Il grafico 22 mette in evidenza i tempi di ritorno degli investimenti che caratterizzano i sei scenari di interventi.



Considerando che lo scenario 0, che descrive lo stato di fatto, non è caratterizzato dai costi per la manutenzione straordinaria (riparazioni, rinnovamento, e sostituzione finiture), si nota come gli investimenti tra i 1.950.000 euro ed i 2.000.000 euro circa (investimenti che caratterizzano gli scenari di interventi di tipologia 1, 2, 3, 5, 6) avranno un guadagno dopo la fascia temporale che comprende la fine del 14esimo anno ed il 18esimo anno.

Lo scenario di interventi che avrà un tempo di ritorno più lungo, sarà lo scenario di tipologia

4 che riceverà un guadagno poco prima della fine dell'11esimo anno con un costo globale di 1.658.628 euro.

6.8 - Conclusioni

La procedura presentata identifica chiaramente le fasi effettuate che caratterizzano la metodologia descritta dal *Regolamento n. 244/2012*.

Lo studio svolto ha mostrato sei tipologie di scenario di interventi, ognuno caratterizzato da obiettivi diversi sviluppati secondo un chiaro riferimento ai limiti prestazionali dettati dalle normative vigenti.

In entrambe le verifiche presentate nei paragrafi 6.5 e 6.6 i risultati hanno rivelato che gli interventi che caratterizzano lo scenario di tipologia 4 sono quelli che compongono l'edificio ottimale in termini di prestazione energetica e costi.

Sebbene i risultati dimostrano che lo scenario di tipologia 4 sia la scelta più conveniente, si considerano vantaggiosi anche gli scenari 2 e 5, esaminando le diverse tipologie di tecnica di isolamento ed i relativi livelli di beneficio.

Lo studio ha permesso di dimostrare che il metodo è fortemente influenzato da fattori di natura economica, quali i mercati dei prodotti, i mercati dell'energia e la normativa sulle detrazioni fiscali che rendono variabili gli effetti applicativi.

In particolare, nelle verifiche svolte nel paragrafo 6.6, si dimostra che le detrazioni fiscali del 50% e del 65% influiscono fortemente sui costi globali degli scenari, definendo diversi tempi di ritorno degli investimenti.

Data l'intrinseca complessità di previsione sul

medio/lungo termine delle normative, e data l'influenza di componenti di mercato e geopolitiche estese su scala globale, che vanno oltre alla portata dell'azione strategica comunitaria, la relazione tra prestazione energetica e ottimalità dei costi è un parametro che evolve nel tempo.

BIBLIOGRAFIA

Riferimenti Legislativi europei

Direttiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 27 settembre 2001 sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità

Direttiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo ed del Consiglio, del 23 aprile 2009 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE

COMMISSIONE EUROPEA “*Libro verde - una strategia europea per un'energia sostenibile, competitiva e sicura*”, 29 novembre 2000

CONSIGLIO EUROPEO E PARLAMENTO EUROPEO, Comunicazione “*Una politica energetica per l'Europa*”, 10 gennaio 2007

Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo del Consiglio, del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia (*EPBD - Energy Performance of Building Directive*);

Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo del Consiglio, del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (*EPBD recast - Energy Performance of Building Directive recast*);

Regolamento delegato (UE) n. 244/2012 della Commissione del 16 gennaio 2012 che integra la *direttiva 2010/31/UE* del Parlamento Europeo e del Consiglio sulla prestazione energetica nell'edilizia istituendo un quadro metodologico comparativo per il calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli elementi edilizi;

Direttiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, del 25

ottobre 2012 sull'efficienza energetica.

Riferimenti Legislativi italiani

Legge ordinaria 373/76 del Parlamento, Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici;

Legge 10/91 della Repubblica Italiana del 9 gennaio 1991, Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso nazionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia;

Decreto del Presidente della Repubblica 412/1993 del 26 agosto 1993, Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della *Legge 10/91*;

UNI 10351/1994 del 31 marzo 1994, Materiali da costruzione. Conducibilità termica e permeabilità al vapore;

UNI 10355/1994 del maggio 1994, Murature e solai. Valori di resistenza termica e metodo di calcolo;

UNI 10339/1995 del giugno 1995, Impianti aeraulici a fine di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.

UNI EN ISO 6946 del settembre 1999, Componenti ed elementi per edilizia. Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo.

Decreto Legislativo 192/2005 del 19 agosto 2005 n.192, Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia;

Legge 296/2006 (Finanziaria 2007) del 27 dicembre 2006, Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato;

Decreto Legislativo 311/2006 del 29 dicembre 2006, Disposizioni correttive e integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005 n.192 recante l'attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia;

Legge 244/2007 (Finanziaria 2008) del 24 dicembre 2007, Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato;

Decreto Legislativo 11 marzo 2008, Attuazione dell'articolo 1, comma 24, lettera a) della legge 24 dicembre 2007, n. 244, per la definizione dei valori limite di fabbisogno di energia primaria annuo e di trasmittanza termica ai fini dell'applicazione dei commi 344 e 345 dell'articolo 1 della legge 27 dicembre 2006, n. 296;

Decreto Legislativo 115/2008 del 30 maggio 2008, Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE;

Decreto Ministeriale del 26 giugno 2009 n.158, Linee guida nazionali per la Certificazione energetica degli edifici;

Decreto Legislativo 59/2009 del 2 aprile 2009, Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettera a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della *direttiva 2002/91/CE* sul rendimento energetico in edilizia;

Legge 220/2010 (Legge di Stabilità 2011) del 13 dicembre 2010, Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato;

Legge 201/2011 del 6 dicembre 2011, Disposizioni urgenti per la crescita, l'equità e il consolidamento dei conti pubblici;

Legge 214/2011 (Manovra salva Italia) del 22 dicembre 2011, Conversione in legge, con modificazioni, del *decreto legge 6 dicembre 2011 n° 201* recante disposizioni urgenti per la crescita, l'equità e il consolidamento dei conti pubblici;

Decreto Legislativo 83/2012 del 22 giugno 2012, Misure urgenti per la crescita del Paese;

Legge 134/2012 del 7 agosto 2012, Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 22 giugno 2012 n° 83 recante misure urgenti per la crescita del Paese;

Decreto Legislativo 63/2013 del 4 giugno 2013, Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale;

Legge 147/2013 (Legge di Stabilità 2014) del 27 dicembre 2013, Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato;

Legge 190/2014 (Legge di Stabilità 2015) del 23 dicembre 2014, Disposizioni per la formazione del bilancio annuale e pluriennale dello Stato.

Riferimenti legislativi regione Lombardia

Legge Regionale 26/2003 del 16 dicembre 2003, Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche;

Legge Regionale 24/2006 del 11 dicembre 2006, Norme per la prevenzione e la riduzione delle emissioni in atmosfera a tutela della salute e dell'ambiente;

Deliberazione Giunta Regionale 8/5018 del 26 giugno 2007, Determinazioni inerenti la certificazione energetica degli edifici in attuazione del Decreto Legislativo 192/2005 e degli artt. 9 e 25, Legge Regionale 24/2006;

Deliberazione Giunta Regionale 8/5773 del 9 novembre 2007, Certifica-

zione energetica degli edifici, modifiche ed integrazioni alla Deliberazione Giunta Regionale 5018/2007;

Deliberazione Giunta Regionale 8/8745 del 22 dicembre 2008, Determinazioni in merito alle disposizioni per l'efficienza energetica in edilizia e per la certificazione energetica degli edifici;

Legge Regionale 7/2012 del 18 aprile 2012, Misure per la crescita, lo sviluppo e l'occupazione.

Pubblicazioni

BUTERA F.M., *"Architettura e ambiente - manuale per il controllo della qualità termica, luminosità e acustica"*, Etaslibri, Milano, 1995;

ESMOND R., *"Capire gli edifici: un approccio multidisciplinare: strutture, chiusure, impianti di climatizzazione, impianti di fornitura servizi, illuminazione, acustica, prevenzione incendi"*, Zanichelli, Bologna, 1990
VILLARINI M., D'ALESSANDRIS C., *"Impianti civili di condizionamento e climatizzazione"*, Maggioli, 2010;

CORGNATI S.P., FABRIZIO E., FILIPPI M., MONETTI V., *"Livelli di prestazione energetica ottimali per edifici ad energia quasi zero: creazione degli edifici di riferimento"*, Dipartimento di Energia (DENEG) del Politecnico di Torino, Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria, Forestale, Ambientale (DEIAFA) dell'Università degli Studi di Torino;

CORRADO V., PADUOS S., *"I livelli ottimali in funzione dei costi dei requisiti energetici ed edifici di riferimento"*, Ingegneri Torino - Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino - rivista di aggiornamento tecnico scientifico n. 2, 2012;

CORRADO V., BALLARINI I., PADUOS S., con un contributo di BECCHIO C., FABRIZIO E., FILIPPI M., MONETTI V., *"Sviluppo della metodologia comparativa cost-optimal secondo Direttiva 2010/31/UE"*,

Report ricerca di sistema elettrico, ENEA e Politecnico di Torino, settembre 2013;

CORRADO V., BALLARINI I., CORGNATI S.P., *“Building typology Brochure - Italy - Fascicolo sulla tipologia edilizia italiana”*, Dipartimento di Energia del Politecnico di Torino - gruppo TEBE, luglio 2014;

SPIEKMAN M., *“Comparison of energy performance requirements levels: possibilities and impossibilities”*, Summary Report, Report of ASIEPI, marzo 2010;

SPIEKMAN M., WESTERLAKEN N., *“Reference buildings for EP calculation studies”*, report of ASIEPI WP2, ottobre 2009.

SITOGRAFIA

www.asiepi.eu - *“Benchmarking - Intercomparison of requirements levels in Member States”*, maggio 2010;

www.buildingtypology.eu - *“Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stocks. Existent Experiences in European Countries and Common Approach”*, First TABULA Synthesis Report, giugno 2010;

www.cened.it - *“Requisiti minimi richiesti dalla DGR VIII/8745, ultimo aggiornamento DGR VIII/5018”*;

www.cti2000.it - *“Efficienza energetica e gestione dell’energia”*;

www.cti2000.it - *“Fonti energetiche: rinnovabili, tradizionali, secondarie”*;

www.ecofys.com - *“Role of building automation related to renewable energy in nZEBs”*;

www.enea.it - *“Ricerca e sviluppo - efficienza energetica”*;

www.eniscuola.net - *“Energia ed ambiente”*;

www.episcope.eu - *“IEE project EPISCOPE”*;

www.nextville.it - *“Politiche regionali”*.