



Ricerca di Sistema elettrico

Sviluppo del codice di calcolo dinamico per la determinazione delle prestazioni estive ed invernali degli edifici

Giuliano Cammarata, Massimiliano Cammarata, Giacomo Capizzi



Dipartimento di Ingegneria Industriale
Università di Catania

SVILUPPO DEL CODICE DI CALCOLO DINAMICO PER LA DETERMINAZIONE DELLE PRESTAZIONI ESTIVE ED INVERNALI DEGLI EDIFICI

Giuliano Cammarata, Massimiliano Cammarata, Giacomo Capizzi (università di Catania, Dipartimento di Ingegneria Industriale)

Settembre 2015

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2014

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico

Obiettivo: Edifici pubblici tipo, Indici di benchmark di consumo per tipologie di edificio ad uso ufficio e scuole, applicabilità di tecnologie innovative e modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica. Sviluppo sistemi.

Responsabile del Progetto: Arch. Gaetano Fasano, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Sviluppo del codice di calcolo dinamico per la determinazione delle prestazioni estive e invernali degli edifici"

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Giovanni Puglisi

Responsabile scientifico UNICT: Prof. Ing. Giuliano Cammarata



Indice

SOMMARIO.....	11
1 INTRODUZIONE.....	13
1.1 CALCOLO DINAMICO DEL FABBISOGNO DI ENERGIA	15
1.2 EFFETTO DELLA VARIABILITÀ DELLE CONDIZIONI CLIMATICHE ESTERNE.....	15
1.3 METODOLOGIE DI SOLUZIONE DELLE EQUAZIONI DI BILANCIO ENERGETICO	16
1.4 OSSERVAZIONI SULLA NORMATIVA VIGENTE	16
2 MODELLO R5C1.....	18
2.1 DEFINIZIONE DELLE CONDUTTANZE, DELLA CAPACITÀ TERMICA E DEI FLUSSI TERMICI SCAMBIATI.....	19
2.1.1 <i>Conduttanza di ventilazione, H_{ve}</i>	19
2.1.2 <i>Conduttanza di trasmissione attraverso le finestre, $H_{tr,w}$</i>	20
2.1.3 <i>Conduttanza di trasmissione delle pareti opache, $H_{tr,op}$</i>	20
2.1.4 <i>Conduttanze di Accoppiamento $H_{tr,em}$ e $H_{tr,ms}$</i>	20
2.1.5 <i>Osservazione sulla Capacità Termica C_m</i>	21
2.1.6 <i>Coefficienti di scambio termico per le Conduttanze di Accoppiamento</i>	22
2.1.7 <i>Apporti Interni, Fint</i>	23
2.1.8 <i>Applicazione del Norma CTI 102 – GL 06</i>	23
2.1.8.1 Portate di Ventilazione e di infiltrazione	24
2.1.8.2 La ventilazione meccanica	25
2.1.8.3 Apporti termici interni	25
2.1.8.4 Condizioni interne di progetto.....	25
2.1.8.5 Profili di utenza	25
2.1.8.6 Profili dei dati Climatici	25
2.1.8.7 Apporti termici sensibili per persona.....	26
2.1.8.8 Produzione di Vapore Acqueo	27
2.1.8.9 Apporti per Illuminazione	27
2.1.8.10 Apporti da componenti e apparati	28
2.1.9 <i>Apporti solari, F_{sol}</i>	28
2.1.10 <i>Flusso di energia al nodo T_s</i>	29
2.1.11 <i>Flusso verso il nodo T_s</i>	29
2.1.12 <i>Flusso verso il nodo T_m</i>	29
2.1.13 <i>Osservazione su dati di input</i>	29
2.2 SOLUZIONE DEL MODELLO R5C1	30
2.2.1 <i>Modalità di utilizzo del modello R5C1</i>	30
2.2.1.1 Modalità diretta.....	30
2.2.1.2 Evoluzioni termiche dinamiche dell'edificio	30
2.2.1.3 Evoluzione Libera	30
2.2.1.4 Evoluzione con temperatura interna imposta	31
2.2.1.5 Evoluzione mista.....	31
2.2.1.6 Osservazione.....	31
3 BILANCIO DEL CALORE LATENTE	32
3.1 EQUAZIONE DI BILANCIO PER IL CALORE LATENTE.....	33
3.2 SOLUZIONE PER IL CALORE LATENTE AD X_a IMPOSTA.....	35
3.3 CONFRONTO CON I CODICI DI CALCOLO TRADIZIONALI	39
3.4 UTILIZZO DEL MODELLO R5C1 COMPLETO PER CALCOLARE I CARICHI TERMICI	40
3.5 UTILIZZO DEL MODELLO COMPLETO R5C1.....	42
4 INTERFACCIA PER MODALITÀ DI CALCOLO DIRETTA.....	45
4.1 IL FOGLIO DI CALCOLO	45

4.2	CALCOLO DELLE CONDUTTANZE E DELLA CAPACITÀ TERMICA	53
4.2.1	<i>Input dei dati geometrici e termofisici di involucro</i>	54
4.2.2	<i>Calcolo della Capacità Termica, Cm</i>	56
4.3	QUADRO DI CONTROLLO DEGLI IMPIANTI	59
4.3.1	<i>Osservazione sui parametri di controllo degli impianti</i>	65
4.4	CALCOLO DEI VETTORI DI INPUT PER IL MODELLO R5C1.....	65
4.4.1	<i>Osservazione sui vettori di ingresso</i>	69
4.5	MODALITÀ CON VMC E PORTATA COSTANTE	70
4.6	MODALITÀ CON VMC E PORTATA VARIABILE	71
4.7	MODALITÀ MULTI ROOM	73
4.8	CALCOLO ORARIO DEL CALORE LATENTE.....	73
4.8.1	<i>I dati di Input</i>	73
4.8.2	<i>I dati di Output</i>	73
5	CALCOLO AUTOMATIZZATO DEI BILANCI TERMICI	76
5.1	BILANCIO ANNUALE DI CALORE SENSIBILE	76
5.2	BILANCIO ANNUALE DEL CALORE TOTALE	78
5.3	IPOTESI DI CALCOLO PER GLI IMPIANTI.....	79
5.4	MODALITÀ OPERATIVE DEI FOGLIO DI CALCOLO.....	79
5.4.1	<i>Organizzazione del Foglio di calcolo</i>	79
5.4.2	<i>Precauzioni</i>	80
5.5	ESEMPI DI SIMULAZIONI NON STANDARD	80
5.5.1	<i>Caso 1 – Gradino di Irraggiamento solare</i>	80
5.5.2	<i>Caso 2 – Gradino di Temperatura</i>	81
5.5.3	<i>Caso 3 – Gradino di Umidità Relativa Esterna</i>	82
5.6	CONCLUSIONI SULL’USO DEL MODELLO	84
6	CONFRONTO FRA MODELLO STATICO E MODELLO R5C1	85
6.1	CASO 1 – EDIFICIO SITO A CATANIA	86
6.2	CASO 2 – EDIFICIO RESIDENZIALE ISOLATO SITO A MALETTO	92
6.2.1	<i>Edificio di Maletto simulato a Bologna</i>	97
6.3	CASO 3 - EDIFICIO NON RESIDENZIALE E VIZZINI.....	98
6.3.1	<i>Edificio di Vizzini simulato a Roma</i>	102
6.4	CASO 4 – LICEO A CALTAGIRONE	103
6.4.1	<i>Liceo di Caltagirone posto a Napoli</i>	107
6.5	CASO 5 – CENTRO SPORTIVO POLIFUNZIONALE A CALTAGIRONE.....	108
6.6	CASO 6 – ITC VE ORLANDO A VIZZINI.....	111
6.6.1	<i>Centro ITC VE di Vizzini posto a Roma</i>	113
6.7	CONCLUSIONI SUI CASI – ESEMPIO.....	114
7	CASO - ESEMPIO DI UN EDIFICIO MONITORIZZATO A TORINO.....	116
7.1	SOLUZIONE CON IMPIANTI ACCESI CON TEMPERATURA INTERNA A 20 °C	122
7.2	SOLUZIONE CON IMPIANTI ACCESI E TEMPERATURA ATTENUATA.....	127
7.3	CONCLUSIONI SUL CASO ESEMPIO DI TORINO	130
8	CONCLUSIONI.....	133
9	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	134
10	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	136
11	AUTORI.....	138
	Prof. Ing. Giuliano Cammarata	138
	Dott. Arch. Massimiliano Cammarata	138
	Prof. Ing. Giacomo Capizzi.....	138

Indice delle Figure

FIGURA 1: SUDDIVISIONE DELL'EUROPA IN TRE ZONE CLIMATICHE	17
FIGURA 2: MODELLO R5C1 PROPOSTO DALLA UNI EN 13790	19
FIGURA 3: ESEMPIO DI DEFINIZIONI DELLE SORGENTI INTERNE CON PROFILO D'USO ORARIO	23
FIGURA 4: PROFILO DI OCCUPAZIONE SETTIMANALE PER UN UFFICIO	26
FIGURA 5: PROFILO DI OCCUPAZIONE SETTIMANALE DI UNA SCUOLA	26
FIGURA 6: PROFILO DI OCCUPAZIONE SETTIMANALE DI UN CENTRO COMMERCIALE	26
FIGURA 7: PROFILO DI OCCUPAZIONE SETTIMANALE DI UN HOTEL	26
FIGURA 8: ANDAMENTO DELL'UMIDITÀ RELATIVA GIORNALIERA MEDIA MENSILE PER CATANIA	32
FIGURA 9: ANDAMENTO DELL'UMIDITÀ RELATIVA GIORNALIERA MEDIA MENSILE PER NAPOLI	33
FIGURA 10: ANDAMENTO DELL'UMIDITÀ RELATIVA GIORNALIERA MEDIA MENSILE PER ROMA	33
FIGURA 11: BILANCIO DELL'UMIDITÀ E DEL CALORE LATENTE	34
FIGURA 12: ANDAMENTO DELLE UMIDITÀ SPECIFICHE PER ROMA NEL MESE DI AGOSTO	36
FIGURA 13: FLUSSI TERMICI CALCOLATI PER L'EDIFICIO ESEMPIO PER IL MESE DI DICEMBRE A ROMA	38
FIGURA 14: FLUSSI TERMICI CALCOLATI PER L'EDIFICIO ESEMPIO PER IL MESE DI AGOSTO A ROMA	38
FIGURA 15: ANDAMENTO DELL'UMIDITÀ ESTERNA A ROMA NEL MESE DI AGOSTO	38
FIGURA 16: DATI ESTERNI DI PROGETTO PER CATANIA	39
FIGURA 17: ANDAMENTO TIPICO DEL CALORE LATENTE CALCOLATO CON TFM	40
FIGURA 18: ANDAMENTO DEI CARICHI TERMICI CALCOLATI PER LO STESSO EDIFICIO A CATANIA IN GIUGNO	40
FIGURA 19: SCHEMA LOGICO FUNZIONALE DEL FOGLIO DI CALCOLO	45
FIGURA 20: ORGANIZZAZIONE DELLE FASI DI INPUT E DI CALCOLO	46
FIGURA 21: FOGLIO EXCEL PER IL METODO R5C1 – VISTA GLOBALE	47
FIGURA 22: FOGLIO DI CALCOLO IN EXCEL – PRIMA PARTE PER L'INPUT DEI DATI RELATIVI ALL'INVOLUCRO	47
FIGURA 23: FOGLIO DI CALCOLO IN EXCEL – SECONDA PARTE PER IL CALCOLO DELLE TRASMITTANZE E PER LE IPOTESI DI CALCOLO	48
FIGURA 24: DATI ORARI DELL'UMIDITÀ RELATIVA ESTERNA PER ROMA – IGDG	52
FIGURA 25: VISUALIZZAZIONE IN FORMA GRAFICA DEI RISULTATI OTTENUTI	52
FIGURA 26: EDIFICIO CON QUATTRO AMBIENTI	53
FIGURA 27: EFFETTI DELL'ATTENUAZIONE NOTTURNA SUI FLUSSI TERMICI SCAMBIATI	64
FIGURA 28: MODELLO PER IL BILANCIO DEL CALORE LATENTE	65
FIGURA 29: ANDAMENTO DELLE TEMPERATURE CON ATTENUAZIONE NOTTURNA	69
FIGURA 30: ANDAMENTO DEI FLUSSI TERMICI CON VMC E PORTATA COSTANTE	71
FIGURA 31: ANDAMENTO DEI FLUSSI TERMICI CON VMC E PORTATA VARIABILE	73
FIGURA 32: DATI TERMO IGROMETRICI CALCOLATI	75
FIGURA 33: FLUSSI TERMICI - SENSIBILE, LATENTE E TOTALE	75
FIGURA 34: FOGLIO BILANCI	76
FIGURA 35: RISPOSTA AL GRADINO DI IRRAGGIAMENTO SOLARE	81
FIGURA 36: RISPOSTA AL GRADINO DI TEMPERATURA	82
FIGURA 37: RISPOSTA AL GRADINO DI UMIDITÀ RELATIVA	83
FIGURA 38: PALAZZINA RESIDENZIALE A CATANIA	86
FIGURA 39: OROGRAFIA ASSONOMETRICA DELLA PALAZZINA UFFICI	86
FIGURA 40: PIANTA DELLA PALAZZINA PER UFFICI A CATANIA	87
FIGURA 41: EDIFICIO RESIDENZIALE ISOLATO A MALETTO	92
FIGURA 42: PIANTA TIPO DELL'EDIFICIO ISOLATO A MALETTO	92
FIGURA 43: VISTA ASSONOMETRICA DELL'EDIFICIO ISOLATO A MALETTO	93
FIGURA 44: EDIFICIO NON RESIDENZIALE A VIZZINI	98
FIGURA 45: PLANIMETRIA DELL'EDIFICIO NON RESIDENZIALE A VIZZINI	98
FIGURA 46: PLANIMETRIA ASSONOMETRICA DELL'EDIFICIO NON RESIDENZIALE SITO A VIZZINI	99
FIGURA 47: PIANTA DEL LICEO A CALTAGIRONE	103
FIGURA 48: VOLUMETRIA DEI VARI PIANI DEL LICEO A CALTAGIRONE	104
FIGURA 49: PIANTA TIPO DELLA PALAZZINA ATC DI TORINO SUD	119
FIGURA 50: SEZIONI TIPO A DELLA PALAZZINA ATC DI TORINO SUD	120
FIGURA 51: DATI GIORNALIERI DEI CONSUMI ENERGETICI PER IL PERIODO MARZO – APRILE 2015	121
FIGURA 52: FLUSSI ENERGETICI A MARZO IN FUNZIONAMENTO NORMALE	123
FIGURA 53: FLUSSI TERMICI NEL MESE DI APRILE CON FUNZIONAMENTO NORMALE	124

FIGURA 54: ANDAMENTO DELL'UMIDITÀ RELATIVA ESTERNA A TORINO	126
FIGURA 55: FLUSSI ENERGETICI PER IMPIANTI ATTENUATI A MARZO	128
FIGURA 56: FLUSSI ENERGETICI PER IMPIANTI ATTENUATI AD APRILE	129

Indice delle Tabelle

TABELLA 1: VALORI DI DEFAULT PER IL CALCOLO DI A_M E DI C_M	21
TABELLA 2: CALORI DEGLI SPESSORI DI PENETRAZIONE PER VARI PERIODI	22
TABELLA 3: CLASSIFICAZIONE DELLE TIPOLOGIE DI VALUTAZIONE ENERGETICA	24
TABELLA 4: APPORTI TERMICI SENSIBILI PER LE PERSONE	27
TABELLA 5: APPORTO TERMICO LATENTE, W , PER PERSONA AL VARIARE DELL'ATTIVITÀ	27
TABELLA 6: EFFICIENZE LUMINOSE DEI VARI TIPI DI LAMPADRE	27
TABELLA 7: APPORTI PER ILLUMINAZIONE IN VARI CASI	27
TABELLA 8: POTENZA ASSORBITA, W , PER VARIE APPARECCHIATURE TECNICHE	28
TABELLA 9: POTENZE ASSORBITE DA COMPONENTI PER RESIDENZE	28
TABELLA 10: CALCOLO DEL CALORE LATENTE PER ROMA NEL MESE DI AGOSTO	35
TABELLA 11: UMIDITÀ MEDIA ORARIA MENSILE PER ROMA	36
TABELLA 12: DATI DI INPUT DELL'EDIFICIO ESEMPIO	37
TABELLA 13: VALORI DELLE CONDUTTANZE PER L'EDIFICIO ESEMPIO	37
TABELLA 14: VETTORI DI INPUT PER IL MODELLO PER L'EDIFICIO ESEMPIO	37
TABELLA 15: RIEPILOGO DEI CARICHI TERMICI ORARI PER IL MESE DI DICEMBRE	41
TABELLA 16: RIEPILOGO DEI CARICHI TERMICI ORARI PER IL MESE DI AGOSTO	41
TABELLA 17: BILANCI ANNUALI PER L'ESEMPIO SITO A ROMA	42
TABELLA 18: BILANCIO ENERGETICO MENSILE PER L'EDIFICIO ESEMPIO A NAPOLI	43
TABELLA 19: CALCOLO DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE PER CALORE SENSIBILE PER L'EDIFICIO ESEMPIO A NAPOLI	43
TABELLA 20: BILANCIO ENERGETICO MENSILE TOTALE PER L'EDIFICIO ESEMPIO A NAPOLI	43
TABELLA 21: CALCOLO DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE TOTALI PER L'EDIFICIO ESEMPIO A NAPOLI	44
TABELLA 22: FOGLIO DI CALCOLO IN EXCEL – TERZA PARTE PER IL CALCOLO DEI VETTORI DI INPUT	48
TABELLA 23: TABELLA CON GLI SVILUPPI DI CALCOLO DEL MODELLO R5C1 COMPLETO	49
TABELLA 24: FOGLIO DI CALCOLO IN EXCEL – QUARTA PARTE – VISUALIZZAZIONE DEI VETTORI DI OUTPUT	49
TABELLA 25: FOGLIO DI CALCOLO IN EXCEL – QUARTA PARTE – VISUALIZZAZIONE DEI VETTORI DI OUTPUT	50
TABELLA 26: DATI ORARI DELLA TEMPERATURA ESTERNA PER ROMA – IGDG	50
TABELLA 27: DATI ORARI DELL'IRRAGGIAMENTO SOLARE TOTALE ESTERNA PER ROMA – IGDG	51
TABELLA 28: DATI ORARI DELL'UMIDITÀ RELATIVA ESTERNA PER ROMA – IGDG	51
TABELLA 29: ZONA IN VERDE PER I DATI DI INPUT DELL'INVOLUCRO DELL'EDIFICIO	53
TABELLA 30: SEZIONE DI CALCOLO DELLE TRASMITTANZE DEL FOGLIO EXCEL	55
TABELLA 31: DATI SUPPLEMENTARI DI CALCOLO PER L'INPUT DATI	56
TABELLA 32: VISUALIZZAZIONE DELLA TRASMITTANZE CALCOLATE	56
TABELLA 33: COLONNA DEL NUMERO DI RICAMBI ORARI	57
TABELLA 34. ZONA DI CONTROLLO DEI PARAMETRI DI IMPIANTO	57
TABELLA 35: SELEZIONE DEI DATI PER VMC E NUMERO DI RICAMBI ORARI	57
TABELLA 36: CONDUTTANZE ED ALTRI DATI PER IL MODELLO	58
TABELLA 37: VALORI DI DEFAULT PER IL CALCOLO DI A_M E DI C_M	58
TABELLA 38: MENU A TENDINA PER LA SELEZIONE DELLA CLASSE DELL'EDIFICIO O PER IL CALCOLO MANUALE	58
TABELLA 39: VALORI DELLA CAPACITÀ TERMICA CALCOLATI PER STRATI DI 4 CM PER LE PARETI DELL'EDIFICIO	59
TABELLA 40: QUADRO DI CONTROLLO DEGLI IMPIANTI	60
TABELLA 41: ELENCO DELLE MACRO CHE È POSSIBILE LANCIARE	60
TABELLA 42: STATO DEGLI IMPIANTI AVVIATI	61
TABELLA 43: STATO DEGLI IMPIANTI SPENTI	61
TABELLA 44: STATO DEGLI IMPIANTI SPENTI	62
TABELLA 45: NUMERO DI RICAMBI ORARI	63
TABELLA 46: TEMPERATURE AMBIENTE CON ATTENUAZIONE	63
TABELLA 47: VALORI DELLA x_v CALCOLATI CON LA VARIABILE UM. ARIA. VENT.	64
TABELLA 48: ESEMPIO DI PREPARAZIONE DEL FILE DI INPUT: FASE DI SOSTITUZIONE DELLA VIRGOLA COL PUNTO	66
TABELLA 49: INDICAZIONE DELLA LATITUDINE DELLA LOCALITÀ CONSIDERATA	66
TABELLA 50: FOGLIO Rb CONTENETE I FATTORI SOLAR I	66
TABELLA 51: SELEZIONE DEL MESE DI CALCOLO	67
TABELLA 52: FATTORI R_{bk} PER IL CALCOLO DEL FLUSSO SOLARE NELLE PARETI PER ROMA	67
TABELLA 53: DATI PER IL CALCOLO DEL FLUSSO INTERNO	67

TABELLA 54: VETTORE F.INT NELLA PARTE TERZA DEL FOGLIO DI CALCOLO	68
TABELLA 55: SETTAGGIO DEI PARAMETRI PER VMC E T.MANDATA	68
TABELLA 56: VETTORI DI PREPARAZIONE DEI VETTORI DI INGRESSO	69
TABELLA 57: CONFRONTO DEI VETTORI DI INGRESSO SENZA E CON VMC	70
TABELLA 58: IMPOSTAZIONE DELLA VMC E DELLA TEMPERATURA T_{SUP}	70
TABELLA 59: PARTE DEL FOGLIO PER LA VMC	71
TABELLA 60: CONDUTTANZE DEL MODELLO CON $G_1=0$ PER PORTATA VMC VARIABILE	72
TABELLA 61: VETTORI DI INGRESSO CON LA QUINTA COLONNA PER G_1 .	72
TABELLA 62: VETTORI DI INPUT E DI OUTPUT PER IL BILANCIO DI CALORE LATENTE	74
TABELLA 63: VETTORI DI OUTPUT IN FORMA TABELLARE	74
TABELLA 64: BILANCIO ANNUALE DEL CALOR E SENSIBILE	76
TABELLA 65: INDICAZIONE DELLA LOCALITÀ E DELLA ZONA CLIMATICA	77
TABELLA 66: BILANCI GIORNALIERI E MENSILI	77
TABELLA 67: TABELLA DEI DATI UTILIZZATI PER IL CALCOLO DEI PARAMETRI DI INGRESSO	77
TABELLA 68: TABELLA DI RIEPILOGO DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA	78
TABELLA 69: VALORE DELL'ALTEZZA DI PIANO	78
TABELLA 70: TABELLA RELATIVA AI BILANCI DI ENERGIA TOTALE	78
TABELLA 71: FOGLIO BILANCI TOTALI	78
TABELLA 72: RIEPILOGO MENSILE DEI FLUSSI TOTALI	79
TABELLA 73: IPOTESI DI CALCOLO DEL CENTRO DI CONTROLLO	79
TABELLA 74: ORGANIZZAZIONE DI FOGLI DI CALCOLO	80
TABELLA 75: IPOTESI DI UN GRADINO DI IRRAGGIAMENTO SOLARE	81
TABELLA 76: VETTORI DI INGRESSO CON GRADINO DI TEMPERATURA	82
TABELLA 77: VETTORI DI UMIDITÀ RELATIVA CON GRADINO	83
TABELLA 78: DATI PER LE LOCALITÀ ESAMINATE	85
TABELLA 79: CENTRO DI CONTROLLO PER I CASI – ESEMPIO CONSIDERATI	86
TABELLA 80: DATI DELL'EDIFICIO PER UFFICI PER IL MODELLO R5C1	87
TABELLA 81: DATI DI INPUT DELLA PALAZZINA UFFICI A CATANIA	88
TABELLA 82: RIEPILOGO DELLE IPOTESI CALCOLO PER EDIFICIO PER UFFICI A CATANIA	89
TABELLA 83: BILANCIO ANNUALE DEL CARICO TERMICO SENSIBILE PER LA PALAZZINA UFFICI A CATANIA	89
TABELLA 84: CALCOLO DELL'ENERGIA PRIMARIA E DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA	89
TABELLA 85: RIEPILOGO DEI CALCOLI STATICI PER LA PALAZZINA UFFICI SITA A CATANIA	90
TABELLA 86: BILANCIO ANNUALE DEL CARICO TERMICO TOTALE PER LA PALAZZINA UFFICI A CATANIA	90
TABELLA 87: ORE DI ACCENSIONE DEGLI IMPIANTI PER CATANIA	91
TABELLA 88: CALCOLO DELL'ENERGIA PRIMARIA TOTALE E DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA	91
TABELLA 89: DATI DI INPUT DELL'EDIFICIO ISOLATO A MALETTO	93
TABELLA 90: CENTRO DI CONTROLLO PER EDIFICIO A MALETTO	94
TABELLA 91: CALCOLO ENERGETICI STATICI PER EDIFICIO ISOLATO A MALETTO	94
TABELLA 92: CALCOLO ENERGETICI PER CALORE SENSIBILE PER L'EDIFICIO ISOLATO A MALETTO	95
TABELLA 93: ENERGIA PRIMARIA E INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA PER EDIFICIO A MALETTO	95
TABELLA 94: BILANCIO ANNUALE DEL CALORE TOTALE PER L'EDIFICIO A MALETTO	96
TABELLA 95: BILANCIO ANNUALE DEL CALORE TOTALE PER EDIFICIO A MALETTO	96
TABELLA 96: ORE DI ACCENSIONE DEGLI IMPIANTI PER MALETTO	96
TABELLA 97: RISULTATI DEI CALCOLI STATICI DELL'EDIFICIO DI MALETTO POSTO A BOLOGNA	97
TABELLA 98: INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA SOLO CALORE SENSIBILE PER EDIFICIO DI MALETTO POSTO A BOLOGNA	97
TABELLA 99: INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA CALORE TOTALE PER EDIFICIO DI MALETTO POSTO A BOLOGNA	97
TABELLA 100: DATI DI INPUT DELL'EDIFICIO NON RESIDENZIALE SITO A VIZZINI	99
TABELLA 101: CALCOLI ENERGETICI STATICI PER L'EDIFICIO A VIZZINI	100
TABELLA 102: CENTRO DI CONTROLLO PER L'EDIFICIO NON RESIDENZIALE A VIZZINI	100
TABELLA 103: BILANCIO ANNUALE DEL CALORE SENSIBILE PER L'EDIFICIO A VIZZINI	101
TABELLA 104: CALCOLO DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA PER L'EDIFICIO A VIZZINI	101
TABELLA 105: BILANCIO ANNUALE DEL CALORE TOTALE PER L'EDIFICIO A VIZZINI	101
TABELLA 106: CALCOLO DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA CON CALORE TOTALE PER EDIFICIO A VIZZINI	102
TABELLA 107: ORE DI ACCENSIONE IMPIANTI PER VIZZINI	102
TABELLA 108: RISULTATI DEI CALCOLI STATICI DELL'EDIFICIO DI VIZZINI POSTO A ROMA	102
TABELLA 109: INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA SOLO CALORE SENSIBILE PER EDIFICIO DI VIZZINI POSTO A ROMA	103

TABELLA 110: INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA CON CALORE TOTALE PER EDIFICIO DI VIZZINI POSTO A ROMA	103
TABELLA 111: CENTRO DI CONTROLLO PER IL LICEO A CALTAGIRONE	104
TABELLA 112: DATI DI INPUT PER IL PER IL LICEO A CALTAGIRONE	104
TABELLA 113: RIEPILOGO DEI CALCOLO ENERGETICI STATICI PER IL LICEO A CALTAGIRONE	105
TABELLA 114: RIEPILOGO DEI BILANCI ANNUALI PER CALORE SENSIBILE PER IL LICEO A CALTAGIRONE	105
TABELLA 115: CALCOLO DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE DINAMICI PER IL LICEO A CALTAGIRONE	106
TABELLA 116: RIEPILOGO DEI BILANCI ANNUALI PER CALORE TOTALE PER IL LICEO A CALTAGIRONE	106
TABELLA 117: CALCOLO DEGLI INDICI DI PRESTAZIONE DINAMICI CON CALORE TOTALE PER IL LICEO A CALTAGIRONE	106
TABELLA 118: ORE DI ACCENSIONE DEGLI IMPIANTI A CALTAGIRONE	107
TABELLA 119: RISULTATI STATICI PER LICEO DI CALTAGIRONE POSTO A NAPOLI	108
TABELLA 120: INDICI DI PRESTAZIONE PER CALCOLO DINAMICO CON CALORE SENSIBILE PER LICEO CALTAGIRONE A NAPOLI	108
TABELLA 121: INDICI DI PRESTAZIONE PER CALCOLO DINAMICO CON CALORE TOTALE PER LICEO CALTAGIRONE A NAPOLI	108
TABELLA 122: RISULTATI DELLE VERIFICHE ENERGETICHE PER IL POLISPORTIVO A CALTAGIRONE	108
TABELLA 123: INPUT DEI DATI PER POLISPORTIVO A CALTAGIRONE	109
TABELLA 124: CENTRO DI CONTROLLO PER IL CENTRO POLISPORTIVO A CALTAGIRONE	109
TABELLA 125: BILANCI ANNUALI DEL CALORE SENSIBILE PER IL POLISPORTIVO A CALTAGIRONE	109
TABELLA 126: VERIFICHE ENERGETICHE CON CALORE SENSIBILE PER POLIFUNZIONALE A CALTAGIRONE	110
TABELLA 127: BILANCI ANNUALI DEL CALORE TOTALE PER IL POLISPORTIVO A CALTAGIRONE	110
TABELLA 128: VERIFICHE ENERGETICHE CON CALORE TOTALE PER POLIFUNZIONALE A CALTAGIRONE	110
TABELLA 129: ORE DI ACCENSIONE DEGLI IMPIANTI A CALTAGIRONE	111
TABELLA 130: DATI DI INPUT PER ITC A VIZZINI	111
TABELLA 131: CENTRO DI CONTROLLO PER ITC A VIZZINI	112
TABELLA 132: RIEPILOGO DEI CALCOLO ENERGETICI STATICI PER ITC A VIZZINI	112
TABELLA 133: BILANCI ANNUALI CON CALORE SENSIBILE PER ITC A VIZZINI	112
TABELLA 134: VERIFICHE ENERGETICHE DINAMICHE CON CALORE SENSIBILE PER ITC A VIZZINI	113
TABELLA 135: BILANCI ANNUALI CON CALORE TOTALE PER ITC A VIZZINI	113
TABELLA 136: VERIFICHE ENERGETICHE DINAMICHE CON CALORE TOTALE PER ITC A VIZZINI	113
TABELLA 137: RISULTATI DEI CALCI STATICI PER ITC DI VIZZINI POSTO A ROMA	114
TABELLA 138: INDICI PRESTAZIONALI DINAMICI CON CALORE SENSIBILE PER ITC DI VIZZINI POSTO A ROMA	114
TABELLA 139: INDICI PRESTAZIONALI DINAMICI CON CALORE TOTALE PER ITC DI VIZZINI POSTO A ROMA	114
TABELLA 140: CONFRONTO DEI RISULTATI OTTENUTI PER I CASI – ESEMPIO ANALIZZATI	115
TABELLA 141: DATI COSTRUTTIVI DELLA PALAZZINA 12 ATC TORINO SUD	117
TABELLA 142: TRASMITTANZA DELLA PARETE VERTICALE	117
TABELLA 143: TRASMITTANZA DEL SOLAIO DI CALPESTIO	118
TABELLA 144: TRASMITTANZA DEL SOLAIO DI COPERTURA	118
TABELLA 145: TRASMITTANZA DEL SOLAIO INTERMEDIO	118
TABELLA 146: DATI DI INPUT R5C1 PER LA PALAZZINA ATC TORINO SUD	120
TABELLA 147: ALTRI DI INPUT PER LA PALAZZINA A TORINO	120
TABELLA 148: CONSUMI GIORNALIERI DELLA PALAZZINA ATC NEL PERIODO MARZO – APRILE 2015	121
TABELLA 149: CENTRO DI CONTROLLO PER L’IPOTESI DI FUNZIONAMENTO NORMALE	122
TABELLA 150: FLUSSI ENERGETICI A MARZO PER FUNZIONAMENTO NORMALE	122
TABELLA 151: FLUSSI TERMICI AD APRILE CON FUNZIONAMENTO NORMALE	123
TABELLA 152: BILANCI ENERGETICI PER SOLO CALORE SENSIBILE IN FUNZIONAMENTO NORMALE	124
TABELLA 153: INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA PER CALORE SENSIBILE CON FUNZIONAMENTO NORMALE	124
TABELLA 154: BILANCI ENERGETICI CON CALORE TOTALE IN FUNZIONAMENTO NORMALE	125
TABELLA 155: INDICI ENERGETICI CALCOLATI CON IL CALORE TOTALE PER FUNZIONAMENTO NORMALE	125
TABELLA 156: ORE DI ACCENSIONE E DI SPEGNIMENTO DEGLI IMPIANTI	126
TABELLA 157: CENTRO DI CONTROLLO PER TEMPERATURA ATTENUATA	127
TABELLA 158: FLUSSI ENERGETICI PER IMPIANTI ATTENUATI A MARZO	127
TABELLA 159: FLUSSI ENERGETICI PER IMPIANTI ATTENUATI AD APRILE	128
TABELLA 160: BILANCI ENERGETICI ANNUALI CON CALORE SENSIBILE PER IMPIANTI ATTENUATI	129
TABELLA 161: INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA CON CALORE SENSIBILE PER IMPIANTI ATTENUATI	129
TABELLA 162: BILANCI ENERGETICI ANNUALI CON CALORE TOTALE PER IMPIANTI ATTENUATI	130
TABELLA 163: INDICI DI PRESTAZIONE ENERGETICA CON CALORE TOTALE PER IMPIANTI ATTENUATI	130
TABELLA 164: DATI CLIMATICI MEDI GIORNALIERI PER TORINO A MARZO 2015	131
TABELLA 165: GIORNI DI MASSIMO CONSUMO ENERGETICO	132

Sommario

I metodi di valutazione dei consumi energetici degli edifici pubblici sono spesso caratterizzati da modelli euristici che utilizzano di fogli elettronici di calcolo, opportunamente predisposti e personalizzati, che fanno riferimento quasi esclusivamente alle metodologie delle norme UNI TS 11300 e sue derivate di tipo statico. Tuttavia i metodi derivanti dall'applicazione dell'attuale complesso di norme e decreti, non considerando i nuovi decreti attuativi della L. 90/2013 che entreranno in vigore il giorno 01/10/2015, pongono alle base alcune ipotesi semplificative e limitative (quali ad esempio la costanza della temperatura interna per la presenza attiva degli impianti per tutto il giorno) che rendono i risultati ottenuti non sempre affidabili nelle valutazioni dei consumi energetici reali degli edifici e in special modo degli edifici pubblici che hanno specifiche peculiarità di utilizzo.

I modelli statici, infatti, non possono fare riferimento alla variabilità delle condizioni d'uso degli impianti o agli stili di vita all'interno degli edifici.

Il modello semplificato a cinque resistenze ed una capacità ($R5C1$), proposto dalla UNI EN 13790:2008, è stato già analizzato nella sua applicazione con solo calore sensibile ed è qui integrato con l'equazione di bilancio del calore latente al fine di realizzare un codice di calcolo dinamico completo, rapido e sufficientemente affidabile per il calcolo dell'energia primaria totale e dei consumi energetici negli edifici di qualsivoglia tipologia sia in condizioni invernali che estive.

Oltre al riscaldamento, si è focalizzata l'attenzione anche sul calcolo dei consumi energetici per il raffrescamento che pone, usualmente, problemi propri dell'analisi dinamica degli scambi energetici degli edifici e risulta più complesso rispetto al calcolo per il riscaldamento.

Il modello implementato può comunque essere utilizzato per calcolare correttamente i consumi energetici per uno o più periodi dell'anno e anche per l'intero anno mediante sequenze giornaliere multiple.

Lo strumento realizzato, attualmente principalmente in ambiente *Excel*[®], implementa il metodo di calcolo orario e può essere utilizzato per l'analisi *dinamica* dei carichi termici in qualsivoglia condizione di calcolo (sia estiva che invernale), oltre che il calcolo dei consumi energetici stagionali.

La scelta del foglio di calcolo è stata fatta per esaltare la facilità e la rapidità di utilizzo del metodo di calcolo proposto. In ogni caso il foglio di calcolo è da considerare come un *dimostratore* della fattibilità di un codice di calcolo più complesso per usi più estesi, eventualmente anche commerciali.

Il metodo di calcolo orario, inoltre, consente di ottenere risultati formalmente più corretti e con più informazioni rispetto ai calcoli cosiddetti *statici* derivanti dall'applicazione delle UNI TS 11300.

Anzi vengono in questa sede evidenziati i limiti di quest'ultima metodologia di calcolo anche ai fini della valutazione dei consumi energetici reali degli edifici. A questo scopo il programma in Excel consente di effettuare bilanci energetici annuali dell'energia di involucro, suddivisi per i mesi invernali e per i mesi estivi. In questo modo è possibile calcolare anche l'energia primaria stagionale, assegnata l'efficienza globale di impianto, in modo decisamente più evoluto ed affidabile rispetto ai metodi statici.

E' infatti nota la frequente incongruenza dei valori predetti dai metodi statici rispetto a quelli dinamici e, ancor di più, rispetto ai valori effettivamente rilevati dei consumi energetici, ad esempio con audit energetici. I metodi statici quasi sempre trascurano gli effetti degli scambi di calore latenti che, in certe condizioni e per alcune località, possono essere significativi e non trascurabili.

Riferito al giorno medio mensile (metodo proposto dalla UNI EN 13790), il metodo proposto consente di ottenere con relativa facilità risultati dinamici di grande interesse e con informazioni anche sulla variabilità oraria delle grandezze calcolate (temperatura di superficie, temperatura di massa e flussi termici sensibili e latenti).

Il metodo proposto consente di tenere in conto anche della nuova Proposta di Norma del CT n. 102 sul "*Calcolo del comportamento degli edifici in regime termico non stazionario*". In particolare è possibile

assegnare i profili d'uso sia dei carichi interni che dell'utilizzo degli impianti in conformità alla proposta di norma suddetta.

Il modello *R5C1* con soluzione oraria richiede, fra i dati di input, anche diverse serie temporali orarie di alcuni vettori di calcolo (flussi solari, temperatura esterna, umidità specifica esterna o umidità relativa, temperatura di ventilazione, ...). Questi dati possono essere reperiti dai data base climatici internazionali o ricostruiti con metodi di *detrending*, (*Detailed Simulation Tools, DST*), a partire dai dati medi giornalieri mensili, quali quelli forniti dalla UNI 10349 o da altri data base, quale l'IGDG.

Con il modello completo, *R5C1* calore sensibile + calore latente, si dispone di uno strumento di calcolo completo sia per i bilanci termici (mensili, stagionali ed annuali) che per la determinazione dei carichi termici stagionali.

Oltre allo sviluppo del modello completo si sono svolte alcune comparazioni per edifici reali. I risultati ottenuti, considerando la scarsa qualità dei dati disponibili, mostrano una generalizzata sottostima degli indici energetici calcolati con i metodi statici rispetto ai risultati ottenuti con il metodo dinamico *R5C1*. Inoltre considerando anche il calore latente si osserva che i bilanci energetici invernali ed estivi risentono molto degli effetti dell'umidità relativa esterna.

In alcuni casi, laddove l'umidità esterna scende al di sotto del 50% (valore imposto per l'umidità interna) si ha una diminuzione del carico totale mentre si ha l'opposto nel caso in cui l'umidità esterna superi il 50%.

Nelle condizioni estive il calore latente porta ad un incremento del carico totale.

Infine si è effettuato uno studio più approfondito su un caso reale (palazzina sita a Torino) per il quale sono disponibili i dati di consumo reali per un mese (periodo marzo – aprile 2015). I risultati ottenuti, pur in mancanza di dati sui profili d'uso sia degli impianti che dei carichi interni, sono in buon accordi con i dati sperimentali, anche in considerazione del periodo invernale particolarmente rigido avuto nel 2015.

1 Introduzione

Il problema del calcolo del fabbisogno di energia primaria, ai sensi delle direttive europee e dei decreti attuativi vigenti, è solitamente effettuato con metodi definiti *statici*, cioè riferentesi alle condizioni di calcolo medie giornaliere.

La normativa esistente, vedi le UNI TS 11300:2014, nelle sue parti pertinenti al calcolo dei fabbisogni energetici di riscaldamento e di condizionamento, definiscono una procedura semplificata e fittizia che non tiene conto delle reali condizioni dinamiche di variazione dei carichi termici. Quest'aspetto sarà meglio evidenziato nei capitoli successivi.

Le ipotesi di base per l'applicazione delle procedure indicate dalle UNI TS 11300 sono principalmente:

- *la costanza della temperatura interna dell'edificio*
- *la presenza durante tutto il giorno degli impianti di climatizzazione.*

Inoltre il calcolo energetico medio giornaliero, per ciascun mese del periodo di riscaldamento o di raffrescamento, è effettuato considerando le differenze di temperatura fra quella interna di *set point* e quella media esterna.

Anche l'irraggiamento solare è riferito alla media giornaliera mensile e non ad una reale variabilità oraria.

Il risultato di questi calcoli, usualmente definiti *statici*, è chiaramente fittizio: esso può essere utile per la caratterizzazione e la certificazione energetica ma porta quasi sempre a risultati spesso inesatti per la *valutazione dei consumi energetici reali* in molti casi diversificati per zona climatica, tipologia costruttiva e profilo d'uso sia delle sorgenti interne che degli impianti.

Detta incongruenza è ancora più influente nel caso di valutazioni dei consumi energetici per edifici pubblici sia in condizioni invernali (*riscaldamento*) che estive (*raffrescamento*).

Quest'ultimo caso risulta essere più critico in quanto il metodo statico indicato dalla UNI TS 11300:2014 appare meno affidabile a causa dei profili d'uso degli impianti e dei carichi interni non del tutto aderenti alle ipotesi di calcolo sopra citate.

In realtà le condizioni esterne variabili, sia per la temperatura che per l'irraggiamento e l'umidità relativa, richiedono, più correttamente, un calcolo completo (flussi di calore sensibile e latente) in transitorio termico della risposta dell'edificio.

Esistono in letteratura vari metodi di calcolo già da tempo utilizzati per il calcolo in condizioni dinamiche dei fabbisogni energetici degli edifici.

In particolare, l'ASHRAE ha già proposto con l'ASHRAE Handbook 1997, il metodo *TFM* (*Transfer Function Method*) e di recente, con l'ASHRAE Handbook 2009, il metodo *HB* (*Heat Balance*) o il metodo più semplificato *RTS* (*Radiative Time Series*).

I metodi *HB* e *RTS* non sono ancora stati implementati in programmi commerciali disponibili in Italia, tranne alcuni sviluppi proprietari (vedi codice *ODESSE* sviluppato dall'Enea).

Inoltre, è disponibile il software libero *ENERGY PLUS*[®], del *DOE* (*Department of Energy degli USA*) che implementa il metodo *TFM* con numerose caratteristiche (quali l'interazione edificio – impianto e i profili d'uso) che lo rendono un software di riferimento. Esso risulta, tuttavia, complesso da utilizzare e dispendioso in termini di potenza di calcolo e di tempi di elaborazione totali. Unitamente a questo software, infatti, sono disponibili tools¹ particolari per il pre-processor e per il post-processor ad *ENERGY PLUS*[®], quali, ad esempio, *DESIGN BUILDER*[®].

¹ *ENERGY PLUS*[®] ha una struttura tipica dei grandi codici di calcolo degli anni 'settanta. Si hanno tre sezioni fondamentali definite *Preprocessor* per l'input dei dati, *Processor* per il calcolo vero e proprio e *Postprocessor* per la visualizzazione dei dati di

Va qui osservato che molto spesso i metodi adottati per la soluzione dei sistemi di equazioni differenziali derivanti dai bilanci energetici dei componenti degli edifici (pareti ed aria interna) sono derivati dalla *Teoria dei Sistemi* e fanno uso di trasformate di Laplace e di z-Trasformate per eventi discreti².

Tali metodi sono suddivisi, a seconda della conoscenza del modello fisico del sistema, in:

- **Black-box:** il sistema (cioè la zona termica in studio) è del tutto sconosciuto (scatola nera) e allora si utilizza un metodo del tutto generico che correla le variabili di uscita con quelle di ingresso in una serie temporale spesso complessa e funzione anche di tutti gli ingressi. In pratica il sistema è visto come un quadripolo equivalente e si considerano le variabili di ingresso (T_i e Q_i) e le variabili di uscita (T_u e Q_u) correlate da sviluppi in serie. Questo metodo, ad esempio, è utilizzato dal TFM che correla i vari fattori alle grandezze dei passi temporali precedenti, così come anche dal metodo RTS pur con numero di addendi pari a 24, come sarà illustrato più avanti;
- **Gray-box:** il sistema è parzialmente conosciuto (scatola grigia) e cioè si hanno le equazioni descrittive di alcuni aspetti del modello. In questo caso si cerca di utilizzare il modello noto per le variabili ad esso correlate e si trattano con il metodo del tipo black-box le altre incognite. In parte il metodo RTS utilizza questo criterio per le serie radiative;
- **White-box:** il modello da studiare è perfettamente descritto da equazioni funzionali note (scatola bianca, ad esempio le equazioni differenziali conseguenti ai bilanci energetici dei componenti dell'edificio) e quindi si utilizzano queste per correlare le variabili di uscita con quelle di ingresso. Ad esempio il metodo Heat Balance (HB) parte dalle equazioni di bilancio energetico delle superfici esterna ed interna delle pareti e dal bilancio dell'aria interna alla zona climatica da analizzare.

Spesso, pur conoscendo in parte le equazioni costitutive del modello (gray-box), si utilizzano ancora metodi risolutivi di tipo sistemistico che, se da un lato forniscono una metodologia risolutiva deterministica del problema, dall'altro fanno perdere di vista l'aspetto termotecnico e termofisico tipico dello studio degli edifici. Si parla, infatti, di *zeri* e di *poli*, di *funzioni di trasferimento*, di *metodi discreti* di risoluzione, di *serie di fattori* ottenuti attraverso metodi matematici complessi e che spesso non consentono la percezione del problema termofisico (vedi le serie del metodo TFM o dello stesso metodo RTS).

La Norma UNI EN 13790:2008, "Prestazione energetica degli edifici: Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento ed i raffrescamento" si inserisce nel contesto sopra accennato suggerendo una metodologia di calcolo che essa stessa definisce *semplificata* e facente uso di un modello elettro-termico (*Thermal Networks*) con cinque resistenze ed una capacità (si chiamerà questo modello con la sigla *R5C1*). Tale modello iniziale consente di calcolare il flusso totale di involucro per la sola aliquota del calore sensibile. In questo studio si è completato il modello con l'introduzione dell'equazione di bilancio del calore latente. In questo modo è possibile effettuare il calcolo del calore totale (sensibile più latente) scambiato e quindi è possibile avere una valutazione dei consumi energetici più realistica ed aderente alle condizioni reali.

Si esaminerà nel prosieguo in dettaglio tale Norma allo scopo di avere una valutazione critica sull'utilizzo della stessa per le stime dei consumi energetici invernali ed estivi degli edifici e in special modo degli edifici pubblici.

I risultati ottenuti e illustrati nei successivi capitoli consentono di apprezzare la metodologia di calcolo proposta in questo studio che risulta, al tempo stesso, semplice e rapida rispetto a quanto ottenuto con codici di calcolo più sofisticati.

calcolo. ENERGY PLUS® sviluppa principalmente il *Processor* lasciando a Terze Parti la possibilità di sviluppare le altre due sezioni in modo più interattivo di quanto non faccia il programma principale.

² Si citano i volumi di riferimento: "Building Heat Transfer" di Morris G. Davies e "Modelling methods for energy in buildings" di C.P. Underwood e F.W.H Yik.

1.1 Calcolo dinamico del fabbisogno di energia

Tutte le normative europee ed italiane nell'ambito della direttiva *EPBD (Energy Performance Building Directive)* fanno riferimento ai fabbisogni energetici degli edifici e ai metodi per poterli calcolare.

Al fine dell'applicazione della direttiva 2002/91/CE, nonché della recente 2010/31/CE recepita con la L. 90/2013, e dei decreti di recepimento delle direttive, (per la direttiva 2002/91/Ce si ha il D.Lgs. 192/05 con i decreti attuativi DPR 59/09 e DM 06/09 mentre per la direttiva 2010/31/Ce si ha la L.90/2013 con i nuovi decreti attuativi DM 26/06/2015), è necessario calcolare in modo normalizzato l'energia primaria da fornire all'edificio per il riscaldamento e per raffrescamento.

Le varie norme emanate allo scopo, vedi le nuove UNI TS 11300:2014, forniscono le procedure operative dettagliate di tipo *statico* per effettuare tutti i calcoli e le verifiche richieste dai decreti applicativi. Tali procedure sono oggi disponibili in programmi commerciali certificati dal CTI.

Tuttavia, il calcolo dell'energia primaria per il raffrescamento, previsto dalla UNI TS11300/1/2 e 3, è allo stato attuale poco utilizzato al fine delle verifiche energetiche sia per la procedura semplificata utilizzata che per la minore diffusione degli impianti di condizionamento rispetto a quelli di riscaldamento.

Per l'applicazione delle norme sulla certificazione energetica (sia con le vecchie che con i nuovi decreti attuativi in vigore dal 01/10/2015) per gli edifici non pubblici non si hanno difficoltà di sorta disponendo di programmi e banche dati sperimentati sia a livello nazionale che regionale.

Considerata sia la natura di edifici pubblici che, spesso, la vetustà e quindi la scarsità di dati reperibili, si vuole qui esaminare la possibilità di disporre di una procedura rapida per la valutazione dell'energia primaria per il riscaldamento e per il condizionamento estivo e in genere per valutare i consumi energetici totali in modo più realistico dei metodi statici.

In questa relazione si studia la possibilità di utilizzare il modello semplificato, a cinque resistenze e una capacità, *R5C1*, indicato dalla Norma Internazionale UNI EN 13790:2008, con il metodo di calcolo orario, completo con l'equazione di bilancio termico del calore latente.

1.2 Effetto della variabilità delle condizioni climatiche esterne

Il raffrescamento o il condizionamento estivo presentano problematiche più complesse rispetto al riscaldamento invernale a causa della variabilità delle condizioni climatiche esterne (temperatura, irraggiamento solare ed umidità relativa) e per gli effetti non più trascurabili degli accumuli termici³.

A questi si aggiungono gli effetti degli scambi radiativi di alta lunghezza d'onda che si hanno fra le superfici interne delle pareti e l'aria ambiente. In pratica occorre descrivere gli effetti delle radiazioni solari e delle sorgenti interne sia sulle pareti esterne (ad esempio ricorrendo alla temperatura aria sole) che sulle pareti interne (effetto serra).

Si desidera qui esplicitare con maggior dettaglio quanto accennato scrivendo alcune semplici relazioni analitiche per i bilanci energetici per gli elementi costituenti gli ambienti.

³ In realtà si effettua il calcolo del carico di picco si suppongono valide le ipotesi di stazionarietà delle temperature esterne e si trascurano gli apporti gratuiti (solari ed interni). Se si effettua un calcolo dinamico, in cui le condizioni climatiche esterne sono variabili, allora si hanno le stesse problematiche esposte per la climatizzazione estiva. Infine si osserva che le equazioni differenziali qui scritte sono sempre riferite ad un modello a parametri concentrati e pertanto tutti i componenti dell'edificio (pareti, aria interna) hanno la stessa temperatura. Per uno studio completo occorre utilizzare codici di calcolo più complessi di tipo *CFD*.

1.3 Metodologie di soluzione delle equazioni di bilancio energetico

Le equazioni differenziali relative ai bilanci energetici per le pareti e per l'aria interna determinano sempre una risposta dell'edificio (quindi del sistema termico) di tipo transitorio, essendo continuamente variabili le condizioni climatiche esterne.

In questo caso giocano un ruolo fondamentale i parametri termofisici fondamentali degli edifici:

- *Capacità termica;*
- *Costante di tempo dell'edificio.*

In definitiva la conoscenza delle sole trasmittanze termiche delle pareti e delle superfici vetrate non può bastare per calcolare i carichi termici dinamici (quali quelli estivi) così come si fa per i carichi termici invernali di picco.

Oltre ai metodi cosiddetti approssimati, come il metodo *Carrier*, sono disponibili metodi di calcolo più raffinati che possono fornire, se correttamente utilizzati, molte informazioni e risultati più affidabili.

Si è già detto che questi metodi, quali il *TFM* o l'*HB* o anche il *RTS*, fanno uso di concetti derivati dalla *Teoria dei Sistemi* e quindi tendenti a vedere l'edificio stesso come una scatola nera, *Black Box*, per la quale è possibile correlare le grandezze di uscita (flussi termici e temperature dei componenti edilizi) con quelle di ingresso (flussi solari e temperature esterne).

In qualche caso questa correlazione è di tipo fisico, cioè si utilizzano equazioni termofisiche note (modello *Gray Box*), e il metodo risolutivo è in qualche modo più agevole.

In altri casi, quando non si hanno riferimenti termofisici, si utilizzano metodi di calcolo numerici che fanno riferimento al quadripolo equivalente delle pareti (vedi Norma UNI EN 13786 sulle caratteristiche dinamiche delle pareti).

In questi ultimi decenni l'ASHARE prima e l'Unione Europea dopo hanno indicato metodi di calcolo dinamici che utilizzano metodi tipici della *Teoria dei Sistemi* e facenti ricorso alle funzioni di trasferimento e ai fattori di risposta.

Molto spesso questi metodi, pur se implementati correttamente mediante software commerciali, risultano ostici da comprendere a molti professionisti, specialmente se non in possesso delle necessarie conoscenze matematiche e sistemistiche di base.

In quest'ottica si deve vedere la proposta delle Norma UNI EN 13790:2008 per un modello completo (sensibile e latente) basato su analogie elettro-termiche, *Thermal Network*.

1.4 Osservazioni sulla Normativa Vigente

Le direttive EPBD europee fanno riferimento ad una suddivisione dell'Europa in tre zone climatiche. Come indicato in Figura 2. L'Italia appartiene principalmente a due zone climatiche:

- *Clima medio (Average)*
- *Clima Caldo (Warm).*

Gran parte dell'Europa continentale appartiene al clima freddo (*Cold*) con caratteristiche di temperatura e irraggiamento ben diverse da quelle italiane.

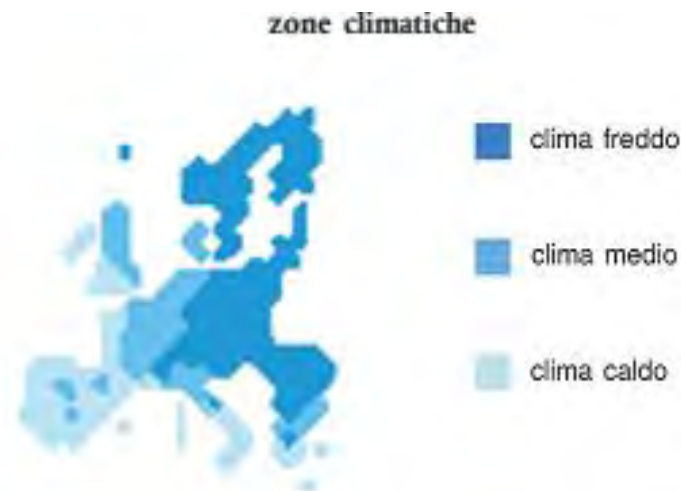


Figura 1: Suddivisione dell'Europa in tre zone climatiche

La maggior parte delle norme europee inerenti l'*EPBD (Energy Performance Building Directive)* sono di provenienza nord europea, dove si hanno condizioni climatiche ben diverse da quelle italiane. Ne deriva che spesso le ipotesi assunte alla base delle procedure di calcolo indicate da quelle norme sono fatte (più o meno inconsciamente) per quelle condizioni e di conseguenza il semplice *porting* alle condizioni italiane può generare errori impliciti e concettuali.

In Italia, inoltre, abbiamo sei zone climatiche (dalla A alla F); in molte regioni si hanno spesso solo alcune zone climatiche mentre in altre si hanno molte zone climatiche (vedasi ad esempio la Sicilia che le ha tutte e sei). Ne segue che l'estensione di norme che hanno come riferimento le condizioni climatiche tipiche delle zone nord europee mal si presta per l'Italia.

In Sicilia nelle zone A e B (cioè isole e zone costiere) si ha un numero basso di gradi giorno (< 900) e il numero di ore di riscaldamento giornaliera consentite è otto, per una durata massima di 121 giorni del periodo di riscaldamento.

Per contro le zone F (ad esempio le zone etnee) non hanno limiti di accensione giornaliera né di mesi di riscaldamento, così come le zone alpine del Nord Italia.

Le norme di calcolo dell'energia primaria stagionale fanno riferimento alle UNI TS 11300:2014 che indicano il metodo medio mensile come unica metodologia di calcolo. Così facendo l'energia media giornaliera mensile è determinata proporzionalmente (tramite le conduttanze H_x) alla differenza di temperatura fra quella di set point interna (in inverno 20 °C) e quella media giornaliera mensile.

In questo modo si fanno due ipotesi fondamentali, per altro esplicitamente indicate dalle norme:

- *La temperatura interna è costante durante tutto il giorno e pari al valore di termostato;*
- *L'impianto di climatizzazione (di riscaldamento e di raffrescamento) è per conseguenza sempre acceso durante tutto il giorno.*

Pare ovvio che queste ipotesi sono coerenti per il clima *Cold* dell'Europa del Nord ma non per il clima *Warm* dell'Italia del Sud o per lo stesso clima *Average* del Nord Italia.

A seconda delle zone climatiche gli impianti possono essere spenti durante la notte ovvero si possono avere periodi di attenuazione della temperatura di set point, se questi sono brevi rispetto ai periodi di pieno riscaldamento. Le norme prevedono correzioni sia per l'attenuazione che per lo spegnimento degli impianti. Tuttavia il riferimento alla temperatura media esterna è certamente grossolano, In questo modo, ad esempio, non si tiene conto della variabilità statistica della stessa temperatura esterna. Si può avere, infatti, la stessa temperatura media con oscillazioni termiche fra il valore minimo e massimo molto diverse.

Così, ad esempio, Palermo e Catania hanno temperature medie molto prossime ma, a causa della presenza dell'Etna, le oscillazioni termiche diurne sono molto diverse.

2 Modello R5C1

La Norma UNI EN 13790:2008 indica un modello di edificio detto “a cinque resistenze ed una capacità”, *R5C1*⁴, rappresentato in figura, valido per un edificio isolato. La presenza di zone limitrofe costituenti diverse zone termiche è stata in questa prima fase di studio trascurata. L’obiettivo principale è stato quello di predisporre una metodologia di calcolo rapida ed affidabile.

Tale modello *R5C1*, fra i tanti presenti in letteratura (vedi *Bibliografia*), risulta mediamente complesso presentando sia le conduttanze termiche che la capacità termica dell’edificio.

Il fatto che sia presente una sola capacità termica, pur rappresentando una semplificazione di calcolo notevole, riduce notevolmente la complessità degli scambi termici radiativi all’interno dell’edificio.

Infatti questi scambi avvengono sia con l’aria e le suppellettili presenti all’interno che con le masse delle pareti interne.

Al fine di tenere conto di questi scambi termici radiativi, il modello propone alcune conduttanze, dette di *accoppiamento* e discusse più avanti, fra i nodi interni (temperatura delle superfici, temperatura delle masse e temperatura dell’aria) che costituiscono il punto di maggior delicatezza e criticità del modello stesso.

Del resto il problema di una cavità radiativa non si risolve definendo tre conduttanze lineari di accoppiamento ma in modo più complesso e articolato.

Lo sviluppo analitico che qui si presenta è relativo ad un edificio rappresentato come *zona unica* e quindi senza scambi con zone limitrofe a temperature interne diverse.

Si osservi che questa non è una limitazione del modello ma solo una semplificazione necessaria per potere testare il modello in modo semplice e diretto. Nulla vieta che il modello possa essere generalizzato per considerare tutti i casi possibili.

Con riferimento alla figura si ha il seguente simbolismo:

- T_{sup} Temperatura dell’aria di ventilazione, °C;
- T_e Temperatura dell’aria esterna, °C;
- T_{si} Temperatura superficiale interna, °C;
- T_m Temperatura di massa delle pareti opache, °C;
- T_{air} Temperatura dell’aria interna, °C
- F_m Aliquota del flusso solare ed interno che arriva alle pareti, W;
- F_{si} Aliquota del flusso solare ed interno che arriva alle superficie delle pareti interne, W;
- F_{air} Aliquota del flusso interno che arriva all’aria ambiente, W.

Quanto sopra indicato vale per il modello orario semplificato. La norma prevede di utilizzare lo stesso circuito equivalente per il modello medio mensile. Tuttavia in questa sede si presenterà solo il modello orario implementato su foglio di calcolo in Excel.

Nel modello *R5C1* originale si hanno due potenziali esterni (T_{sup} e T_e) e tre flussi F_m , F_{si} ed F_{air} . Le incognite risultano essere le tre temperature T_m , T_{si} e T_{air} e il flusso totale $F_{HC,nd}$.

⁴ Si osserva che il modello *R5C1* è del tipo a *parametri concentrati (Lumped parameters, LP)* per cui tutti gli effetti dovuti alle dimensioni superficiali dei componenti edilizi non sono considerati. Per una corretta valutazione del comportamento termico degli edifici occorrerebbe uno studio completo di *Computer Fluid Dynamics (CFD)* di grande complessità sia analitica che di calcolo. Tale procedura, inoltre, presenterebbe notevoli difficoltà sia procedurali che di calcolo in quanto si richiedono codici di calcolo complessi e costosi e grandi risorse computazionali. In ogni caso non è possibile alcun confronto fra il modello qui proposto e il modello completo *CFD*.

In pratica ai nodi T_{si} , T_{air} e T_m (segnati in rosso in quanto incognite del problema del modello *R5C1*) arrivano aliquote di energia proveniente dalla radiazione solare, F_{sol} e dalle sorgenti interne, F_{int} .
Le intensità di questi flussi energetici dipendono dagli scambi radiativi ad alta lunghezza d'onda fra le pareti e fra queste e l'aria ambiente.

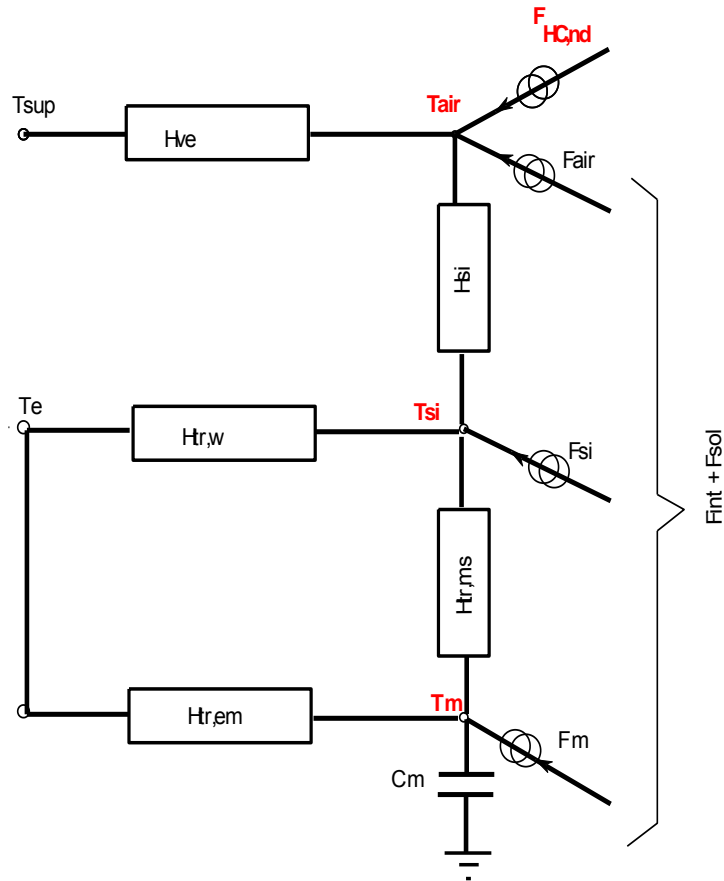


Figura 2: Modello R5C1 proposto dalla UNI EN 13790

La norma UNI EN 13790 propone direttamente le relazioni di calcolo delle conduttanze di accoppiamento, fra l'altro non fornendone alcuna giustificazione analitica.

2.1 Definizione delle Conduttanze, della Capacità Termica e dei Flussi termici scambiati

Le conduttanze e la capacità termica presenti in figura sono definite nella Norma UNI EN 13790. Si riportano qui di seguito le definizioni generali.

Per i casi particolari si rimanda alla suddetta norma.

2.1.1 Conduttanza di ventilazione, H_{ve}

La conduttanza di ventilazione è definita dalla relazione:

$$H_{ve} = \rho_a c_a \sum b_{ve,k} q_{ve,k,mn}$$

ove:

- H_{ve} conduttanza di ventilazione, W/K;
- $\rho_a c_a$ capacità termica per unità di volume dell'aria di ventilazione, pari a 1200 J/(Km³);

- $b_{ve,k}$ *fattore correttivo che tiene conto della temperatura dell'aria di ventilazione per la zona k rispetto alla temperatura di alimentazione, T_{sup} ;*
- $q_{ve,k,mn}$ *portata di ventilazione per la zona k, m^3/s .*

La norma prevede correzioni nel caso di recupero di calore. Si rimanda ad essa per una descrizione dettagliata del calcolo di H_{ve} .

2.1.2 Conduttanza di trasmissione attraverso le finestre, $H_{tr,w}$

La definizione è data dalla relazione:

$$H_{tr,w} = b_{tr,w} \sum A_j U_{w_j}$$

ove si ha:

- $H_{tr,w}$ *conduttanza per le superfici vetrate, W/K;*
- $b_{tr,w}$ *fattore di correzione nel caso si abbia una differenza di temperatura diversa da quella di progetto $t_a - t_e$;*
- A_j *Area della superficie delle finestre, m^2 ;*
- U_{w_j} *Trasmittanza della generica finestra j, $W/(m^2K)$.*

2.1.3 Conduttanza di trasmissione delle pareti opache, $H_{tr,op}$

La trasmittanza delle pareti opache, corretta per i casi di differenza di temperatura diversa da quella di progetto, è data dalla relazione:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A$$

ove è:

- H_D *conduttanza per trasmissione diretta verso l'esterno, W/K;*
- H_g *conduttanza per trasmissione diretta verso il terreno, W/K;*
- H_U *conduttanza per trasmissione diretta verso ambienti non climatizzati, W/K;*
- H_A *conduttanza per trasmissione diretta verso edifici adiacenti, W/K.*

La generica forma di ciascuna delle suddette conduttanze è del tipo:

$$H_x = b_{tr,x} \left(\sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k + \sum_j \xi_j \right)$$

ove si ha:

- A_i *Area dell'elemento i della superficie dell'involucro, m^2 ;*
- U_i *Trasmittanza dell'elemento i, $W/(m^2K)$;*
- l_k *lunghezza del ponte termico lineare k, m;*
- ψ_k *Trasmittanza termica lineare del ponte termico k, W/m;*
- ξ_j *Trasmittanza termica puntuale del ponte termico puntuale j, W/K;*
- $b_{tr,x}$ *Fattore correttivo per differenze di temperatura non coincidente con quella di progetto.*

2.1.4 Conduttanze di Accoppiamento $H_{tr,em}$ e $H_{tr,ms}$

Al fine di tenere conto degli scambi radiativi di lunghezza d'onda lunga ($> 3 \mu m$) la Norma UNI EN 13790 prevede che la conduttanza delle pareti opache, $H_{tr,op}$, si suddivida in due parti.

Si osservi che la $H_{tr,op}$ dovrebbe collegare i nodi T_e e T_{si} se non si tenesse conto dello scambio radiativo di alta lunghezza d'onda.

La norma suggerisce il calcolo delle seguenti conduttanze:

$$H_{tr,ms} = h_{ms} A_m$$

ove:

- h_{ms} è il coefficiente di convezione termica che la Norma pone pari a $9.1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- A_m è l'area della massa efficace, m^2 .

La Norma UNI EN 13790 non specifica i motivi della scelta del coefficiente h_{ms} pari a $9.1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Questo dipende, fra l'altro, dalle caratteristiche delle pareti, dalla loro massa e dall'isolante eventualmente presente e dalle loro capacità di scambio radiativo oltre che dalle condizioni dello scambio (temperature in gioco).

Si riporta nelle formule sopra indicate il valore proposto apoditticamente dalla Norma ma si vedrà nel prosieguo, alla luce delle sperimentazioni fatte, come questo valore debba essere modificato per avere un corretto funzionamento del modello R5C1. L'area della massa efficace è data dalla relazione:

$$A_m = \frac{C_m^2}{\sum A_j \kappa_j^2}$$

ove:

- C_m è la capacità termica interna dell'edificio, J/K ;
- A_j è l'area dell'elemento j , m^2 ;
- κ_j è la capacità termica interna per unità di area dell'elemento j , in $\text{J}/(\text{m}^2\text{K})$.

Il valore di κ_j è definito nella UNI EM 13786 in modo analitico ma può anche essere determinato in modo forfettario mediante il Prospetto 19 della Norma UNI TS 11300/1.

La capacità termica di massa dell'intero edificio è data dalla relazione:

$$C_m = \sum \kappa_j A_j$$

La UNI EN 13790 indica anche un metodo semplificato, rivelatosi sufficientemente realistico nelle analisi effettuate nel presente lavoro, per calcolare A_m e C_m mediante la seguente tabella:

Classe	A_m	C_m
Molto leggera	$2.5 * A_f$	$80000 * A_f$
Leggera	$2.5 * A_f$	$110000 * A_f$
Media	$2.5 * A_f$	$165000 * A_f$
Pesante	$3.0 * A_f$	$260000 * A_f$
Molto pesante	$3.5 * A_f$	$370000 * A_f$

Tabella 1: Valori di default per il calcolo di A_m e di C_m

2.1.5 Osservazione sulla Capacità Termica C_m

E' opportuno osservare che la capacità termica di massa non è quella statica dell'edificio ma quella dinamica o efficace. Infatti a causa della conducibilità finita delle pareti interne la penetrazione dell'onda termica avviene con due fenomeni fondamentali: l'attenuazione e lo sfasamento, funzioni dello spesso di penetrazione.

In pratica, con riferimento alla frequenza giornaliera delle variazioni periodiche di temperatura interna, lo strato di pareti interessati all'accumulo energetico è molto limitato.

La EN ISO 13786 fornisce indicazioni sul metodo di calcolo delle capacità termiche di superficie delle pareti. Tuttavia si è potuto osservare che i risultati delle simulazioni sono stati più conformi a quelli ottenuti con simulazioni con il metodo TFM prendendo in considerazione uno spessore massimo di $0.04 \div 0,06 \text{ m}$ per ciascuna parete corrispondente ad una penetrazione con periodo di tempo dell'ordine dell'ora.

Nell'ipotesi di onde termiche sinusoidali, infatti, e con riferimento ad uno strato semi infinito, la profondità di penetrazione è data da:

$$\delta = \sqrt{\lambda T / \pi \rho c}$$

che per T= 3600 s e materiali tipici delle pareti moderne (mattoni forati, mattoni pieni, ...), vedi tabella seguente, porta ad avere valori dell'ordine di qualche centimetro, come ipotizzato.

Materiale	λ (W/(mK))	C (J/(kgK))	ρ (kg/m ³)	δ per T=3600 s (m)	δ per T=86400 s (m)
Mattone semipieno	0.36	850	1000	0.022	0.108
Isolante	0.04	680	50	0.037	0.180
Mattone vuoto	0.25	850	700	0.022	0.108

Tabella 2: Calori degli spessori di penetrazione per vari periodi

Per un periodo di un giorno (86400 s) si ha una profondità maggiore, dell'ordine della decina di centimetri. Per periodo stagionali, non calcolati nella tabella precedente, si hanno penetrazioni ancora maggiori. In quest'ultimo caso si hanno notevoli differenze fra le moderne murature (leggere e spesse 0,25- 0,35 m) e quelle degli edifici in muratura portante (spessori da 0,6 -1.5 m).

Ai fini dell'applicazione delle UNI TS 11300, per il calcolo dell'energia primaria stagionale e la certificazione energetica, il calcolo della capacità termica dinamica C_m non appare molto importante ed è possibile riferirsi a valori sintetici, come suggerito dalle stesse norme.

Nel caso del modello dinamico *R5C1*, proposto dalla UNI EN 13790, la capacità termica, C_m , è un componente essenziale della rete equivalente. Essa determina di fatto il transitorio termico e quindi la risposta stessa del sistema alle forzanti esterne.

Inoltre, come si vedrà più avanti con la risoluzione analitica del modello, la C_m è a denominatore dei termini di bilancio e quindi un valore elevato contribuisce a smorzare gli effetti di variazione delle grandezze calcolate e, viceversa, un valore troppo basso le esalta eccessivamente.

L'esperienza nell'utilizzo del modello consiglia di applicare i valori indicati in tabella precedente o di calcolare C_m con spessori di pareti variabili da 0.03 a 0,06 m.

Anche il ricorso ai metodi di calcolo indicati dalla UNI EN 13786 appaiono complessi e non giustificati per il modello *R5C1*. Del resto le ipotesi, ivi considerate, di parete indefinita ed isotermica riconducibile ad un quadripolo equivalente è accademica e le complessità di calcolo appaiono superflui.

2.1.6 Coefficienti di scambio termico per le Conduttanze di Accoppiamento

La conduttanza di accoppiamento $H_{tr,em}$ è definita dalla relazione:

$$H_{tr,em} = \frac{1}{\frac{1}{H_{tr,op}} - \frac{1}{H_{tr,ms}}}$$

con il simbolismo sopra descritto. In pratica $H_{tr,em}$ è ottenuta dal parallelo fra $H_{tr,op}$ e $-H_{tr,ms}$.

Infine la trasmittanza di accoppiamento fra il nodo T_s e T_m è data da $H_{tr,is}$ definita dalla relazione:

$$H_{tr,is} = h_{is} A_{tot}$$

ove:

- h_{is} è il coefficiente di scambio termico fra i due nodi T_s e T_m , W/(m²K);
- A_{tot} è l'area di tutte le superfici che si affacciano sulla zona dell'edificio, m².

Il coefficiente h_{is} è definito dalla Norma pari a 3.45 W/(m²K).

Si osserva, anche con riferimento agli scambi interni indicati in Figura 7, che la superficie A_{tot} è riferita a tutte le superfici interne dell'edificio (o dell'ambiente nel caso di calcolo di tipo *multi room*) e non alle sole superfici di scambio termico verso l'esterno, come normalmente si calcola con le UNI TS 11300 (superfici

esterne del volume lordo riscaldato). In pratica occorre tenere in conto tutte le superfici che effettuano scambi radiativi con l'aria ambiente (*cavità radiativa*).

2.1.7 Apporti Interni, Fint

Gli apporti interni sono dati, in termini di flusso termico in W, da tutte le sorgenti interne comprendenti persone, lampade, motori e recuperi energetici degli impianti attivi (riscaldamento o raffreddamento, ventilazione e ACS).

La Norma indica dettagliatamente come effettuare il calcolo di questi flussi. Ad essa si rimanda per la formulazione completa.

Si osserva come la formulazione di F_{int} sia in genere di tipo statico (valore unico giornaliero) e quindi con un valore per il giorno medio del mese considerato nel calcolo stagionale.

Nel caso di un metodo di calcolo dinamico è possibile avere una formulazione oraria del flusso interno e cioè occorre tenere conto del profilo d'uso sia degli occupanti che delle varie sorgenti interne (ad esempio per l'ACS, l'illuminazione, per il recupero energetico dagli impianti, ...) come illustrato in Figura 3: Esempio di definizioni delle sorgenti interne con profilo d'uso orario.

Questo tipo di formulazione è tipica dei programmi di calcolo dei carichi termici estivi e caratterizzano la variabilità oraria delle sorgenti interne. Lo stesso criterio si deve adottare con il metodo orario qui proposto ed analizzato.

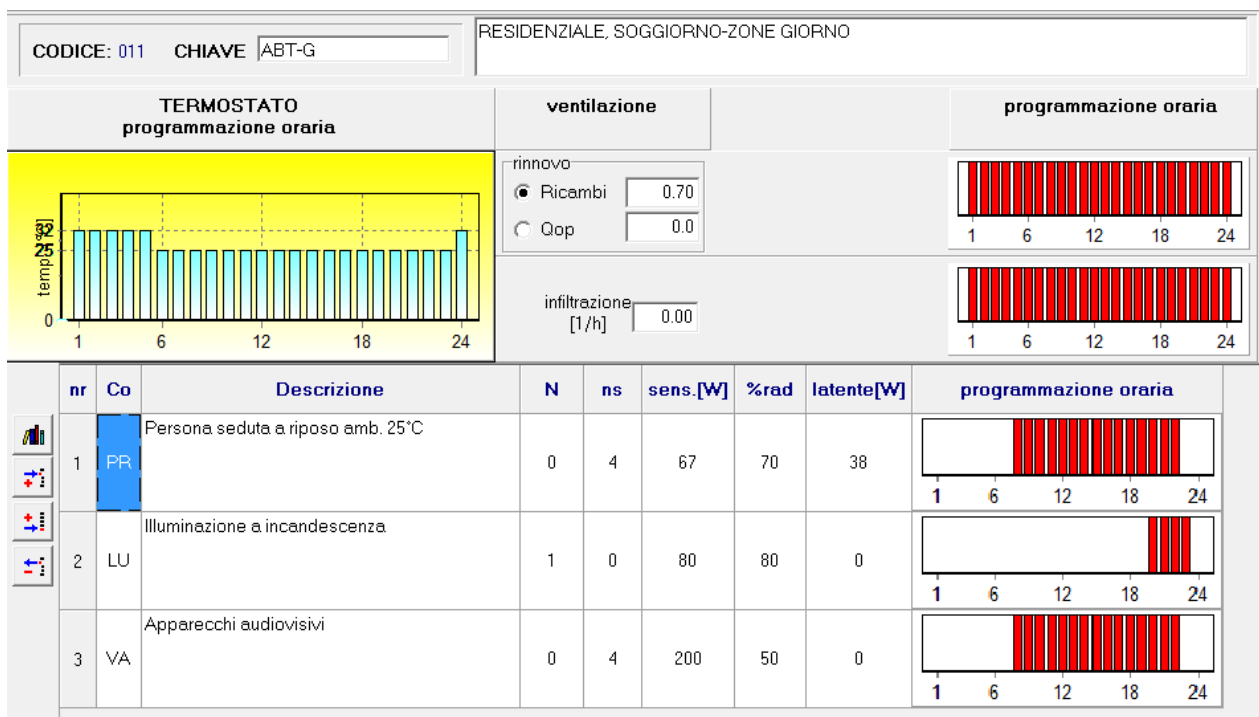


Figura 3: Esempio di definizioni delle sorgenti interne con profilo d'uso orario

2.1.8 Applicazione del Norma CTI 102 – GL 06

La Norma CTI 102 GL06, Draft, "Calcolo del Comportamento degli edifici in regime termico non stazionario" descrive le assunzioni di base, le condizioni al contorno, il profilo dei carichi per la corretta applicazione e per la validazione dei metodi per il calcolo sia delle prestazioni energetiche in regime dinamico degli edifici, sia della definizione dei carichi termici di progetto estivi ed invernali.

Le tipologie di valutazione energetica per applicazioni omogenee all'intero edificio sono descritte nella seguente tabella. In essa sono indicati i tre metodi descritti dalle norme europee:

- Design Rating;
- Asset Rating;

- Tailored Rating.

Il modello R5C1 si adatta a tutte e tre le tipologie di classificazione energetica degli edifici.

Tipo di valutazione	Dati di ingresso		
	Uso	Clima	Edificio
Sul Progetto (Design Rating)	Standard	Standard	Progetto
Standard (Asset Rating)	Standard	Standard	Reale

Tabella 3: Classificazione delle tipologie di valutazione energetica

I dati richiesti per il calcolo dinamico, indicati nel CTI 102, sono quelli indicati nella Norma UNI EN 13790:2008 e cioè:

- - profilo temporale dei dati climatici della località;
- - descrizione e definizione delle caratteristiche termofisiche degli elementi di involucro, inclusi i ponti termici (area e geometria, orientazioni, esposizione, condizioni al contorno, proprietà termofisiche degli elementi di involucro, proprietà ottiche dei sistemi vetrati e dei sistemi di ombreggiamento);
- - profili temporali dei valori delle temperature interne di zona di set point;
- - profilo temporale dei valori orari del contenuto igrometrico di zona di set point;
- - profili temporali dei tassi di ventilazione e infiltrazione;
- - profili temporali degli apporti termici interni radiativi e convettivi dovuti al sistema di illuminazione, agli occupanti e agli apparati interni

Per i dati climatici sono necessari, per data località, i seguenti dati con profilo orario:

- temperatura dell'aria esterna;
- intensità della radiazione solare (normale diretta e diffusa sull'orizzontale);
- valore orario della pressione parziale del vapore

La CTI 102 precede, giusta UNI EN ISO 6946, che si utilizzino i seguenti coefficienti di scambio termico:

- a) coefficiente di scambio termico convettivo superficiale:
 - superficie esterna: $h_{c,e} = 17,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
 - superficie interna non riscaldante o raffrescante: $h_{c,i} = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
 - superficie interna riscaldante o raffrescante:
 - verticale: $h_{c,i} = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
 - orizzontale (flusso ascendente) $h_{c,i} = 5,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
 - orizzontale (flusso discendente) $h_{c,i} = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
- b) coefficiente di scambio termico radiante (verso la volta celeste e i dintorni, ad elevata lunghezza d'onda):
 - superficie interna: $h_{r,i} = 5,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$
 - superficie esterna: $h_{r,j} = 5,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$

Nel caso si calcolino i coefficienti di scambio secondo quanto esposto in UNI EN ISO 6946 e in UNI EN ISO 10077-1, per il valore dell'emissività superficiale si fissa $\epsilon = 0,9$ per le superfici opache e $\epsilon = 0,837$ per le superfici trasparenti. Per la ventilazione e le infiltrazioni si prevede che l'aria esterna inviata in ambiente sia mediante ventilazione meccanica che grazie a infiltrazioni, produce dei carichi al sistema.

La ventilazione è intesa essere la portata di aria utilizzata per mantenere le condizioni di purezza e di qualità dell'ambiente interno; l'infiltrazione è definita come flussi d'aria incontrollati attraverso porte, finestre e murature.

2.1.8.1 Portate di Ventilazione e di infiltrazione

Le portate di ventilazione e di infiltrazioni sono calcolate sulla base di quanto esposto in UNI EN 15241 e UNI EN 15242.

Le infiltrazioni sono causate da una pressione dell'aria esterna superiore ai valori interni: la portata di aria infiltrata è dipendente dalla differenza di pressione tra gli ambienti, dal numero, dalla lunghezza e l'ampiezza delle fessure di porte e finestre. La portata di aria per infiltrazione può essere calcolata fornendo:

- - geometria delle sezioni di infiltrazione e funzione caratteristiche (portata d'aria in funzione della differenza di pressione) delle perdite di ciascuna di queste sezioni verso l'ambiente esterno dell'edificio e / o verso zone termiche adiacenti;
- - i coefficienti di perdita dovuti alla pressione del vento attraverso le superfici dell'edificio;
- - direttamente la portata infiltrata.

I dati cui sopra devono essere assunti.

2.1.8.2 La ventilazione meccanica

La valutazione delle portate di ventilazione meccanica devono essere ricavate sulla base delle caratteristiche del sistema di ventilazione forzata.

2.1.8.3 Apporti termici interni

Per il calcolo degli apporti termici interni, i dati di ingresso devono includere la porzione radiante e convettiva dei flussi termici generati da luci, persone, apparati presenti all'interno dell'ambiente.

La porzione assorbita contribuisce al riscaldamento o al raffrescamento ambientale con un ritardo temporale.

2.1.8.4 Condizioni interne di progetto

La condizione interna di progetto può essere rappresentata dalla temperatura dell'aria interna che il sistema di controllo mantiene entro i limiti imposti dal termostato, o dalla temperatura operante, nel caso in cui il sistema mantenga il controllo su tale parametro.

2.1.8.5 Profili di utenza

Sono definiti i profili con sequenza oraria, con valenza settimanale.

Sono utilizzabili per valutazioni standardizzate. La valutazione degli apporti viene effettuata fissando la destinazione d'uso, indicando il numero di occupanti il fabbricato, scegliendo il profilo di occupazione dello stesso, indicando il numero e la tipologia degli eventuali elementi che generano carichi interni.

2.1.8.6 Profili dei dati Climatici

I profili dei dati climatici sono ricavati secondo quanto proposto in UNI 10349_rev

I profili di seguito riportati sono da utilizzare nelle valutazioni di "Uso" standard (vedi introduzione, Tabella 1) nel caso di utilizzo per giorni infrasettimanali (lunedì - venerdì) e per il fine settimana (sabato e domenica, ove indicato). Nelle figure seguenti sono indicati i profili di occupazione standard per alcune tipologie di edifici.

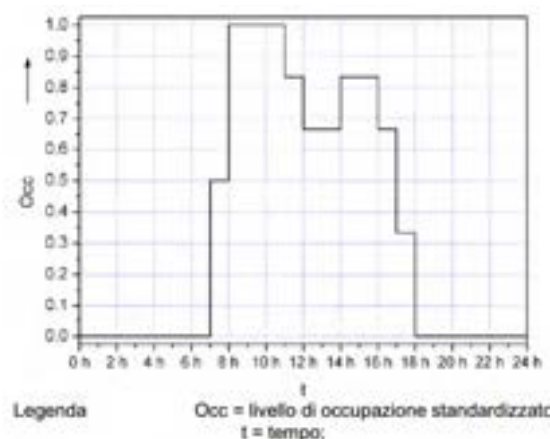


Figura 4: Profilo di occupazione settimanale per un ufficio

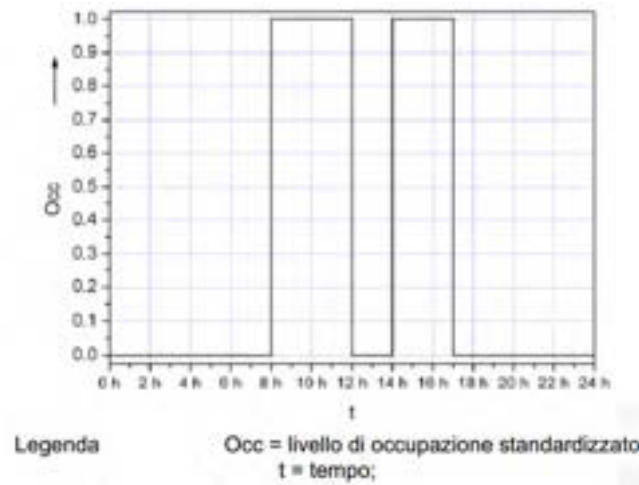


Figura 5: Profilo di occupazione settimanale di una scuola

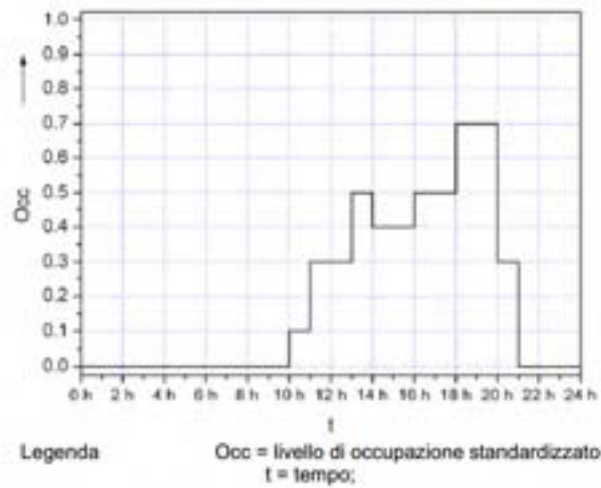


Figura 6: Profilo di occupazione settimanale di un centro commerciale

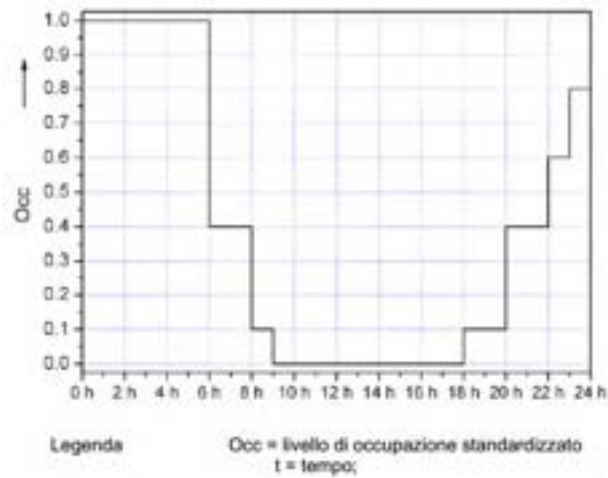


Figura 7: Profilo di occupazione settimanale di un hotel

2.1.8.7 Apporti termici sensibili per persona

La CTI 102 indica che siano assunti i seguenti apporti termici sensibili per le persone:

Tipo di attività	Temperatura a bulbo secco dell'ambiente					
	28 °C	27°C	26°C	24°C	22°C	20°C
Seduta	50	55	60	67	72	79
Lavoro leggero	50	55	60	70	78	84
Lavoro ufficio	50	56	60	70	78	86
Attività in piedi, camminata leggera	50	56	60	70	78	86
Lavoro moderato	55	60	68	80	90	98
Atletica (palestra)	132	138	144	154	170	188

Tabella 4: Apporti termici sensibili per le persone

2.1.8.8 Produzione di Vapore Acqueo

La produzione di vapore acqueo dovuta alla presenza di persone è valutato in funzione dell'occupazione e delle destinazioni d'uso. Si applica quanto indicato dalle UNI TS 11300/1:2014.

Tipo di attività	Temperatura a bulbo secco dell'ambiente					
	28 °C	27°C	26°C	24°C	22°C	20°C
Seduta	50	45	40	33	28	21
Lavoro leggero	70	65	60	50	42	36
Lavoro ufficio	80	74	70	60	52	44
Attività in piedi, camminata leggera	80	74	60	60	52	44
Lavoro moderato	105	100	92	80	70	62
Atletica (palestra)	298	292	286	276	260	242

Tabella 5: Apporto termico latente, W, per persona al variare dell'attività

La produzione di vapore per altre apparecchiature è funzione della tipologia delle stesse, dell'occupazione e della destinazione d'uso, giusto UNI TS 11300/1:2014.

2.1.8.9 Apporti per Illuminazione

E' indicato un prospetto per l'efficienza luminosa di diverse tipologie di lampade. L'andamento orario dell'apporto per illuminazione varia a seconda la destinazione d'uso dell'edificio, il livello di occupazione e la stagione.

Incandescenti	0 - 17 lm/ W
Alogene	12 - 22 lm/ W
Fluorescenti compatte	50 - 70 lm/ W
T12 fluorescenti	60 lm/ W
Vapori di Hg	25 - 60 lm/W
Na High pressure	50 - 140 lm/ W
LED commerciali	30 lm/ W
LED elevata prestazione	150 lm/ W

Tabella 6: Efficienze luminose dei vari tipi di lampade

Per le residenze la potenza assorbita media è di 43 W per appartamento con potenza di picco di 120 W. Nel caso di valutazione standard gli apporti forniti sono fissati di seguito e vanno applicati durante le ore di occupazione:

Uffici:	13 W/m ²	(ASHRAE: 11 W/m ²)
Scuole:	13 W/m ²	(ASHRAE: 13 W/m ²)
Centri commerciali:	15 W/m ²	(ASHRAE: 15 W/m ²)
Hotel:	10 W/m ²	(ASHRAE: 11 W/m ²)

Tabella 7: Apporti per illuminazione in vari casi

2.1.8.10 Apporti da componenti e apparati

Gli apporti dovuti a componenti ed apparati varia con il numero, la simultaneità e la potenza degli stessi. L'andamento orario dell'apporto dovuto a componenti e apparati varia secondo la destinazione d'uso dell'edificio e il livello di occupazione. Vale il seguente prospetto.

Apparecchio	Modalità di funzionamento			
	attivo	standby	sospeso	off
Desktop	55		25	1,5
Laptop	15		3	2
Monitor CRT	60 - 135	25 - 45	10 - 20	3 - 5
Monitor LCD	5 - 35	1,9 - 10	0,7 - 4	0,3 - 2
Workstations	110 - 160			
Server	125 - 2500			
Stampanti				
Laser - desktop	130 - 220	75 - 100	10 - 40	
Laser - office	300 - 550	160 - 275	70 - 125	
Fotocopiatrici				
< 12 cpm	780	55	2,2	1,1
12 - 30 cpm	1040	180	40	0,5
31 - 70 cpm	1350	400	70	0,6
> 70 cpm	2900	670	300	2,3
Scanner	150	15		
Fax	30 - 170	15 - 35		

Tabella 8: Potenza assorbita, W, per varie apparecchiature tecniche

Nel caso di residenze si propongono i seguenti valori_

Frigorifero:	potenza assorbita costante nel giorno: 57,0 W	
Lavabiancheria:	potenza assorbita media nel giorno: 28,5 W	
	potenza di picco $P_{peak} = 90$ W	ore 10,00
Lavastoviglie:	potenza assorbita media nel giorno: 46,4 W	
	potenza di picco $P_{peak} = 180$ W	ore 22,00
Apparecchi televisivi:	potenza assorbita media nel giorno: 14 W	
	potenza di picco $P_{peak} = 30$ W	ore 22,00
Personal Computer:	potenza assorbita media nel giorno: 14 W	
	potenza di picco $P_{peak} = 27$ W	ore 19,00
Videoregistratori:	potenza assorbita costante nel giorno: 8 W	

Tabella 9: Potenze assorbite da componenti per residenze

2.1.9 Apporti solari, F_{sol}

Il flusso solare, in W, è dato dalla relazione:

$$F_{sol} = F_{sh} A_{sol,k} I_{sol} - f_{rk} F_{r,k}$$

ove:

- F_{sol} Flusso solare totale, W;
- $A_{sol,k}$ area di captazione efficace della k.ma superficie, m^2 ;
- F_{sh} fattore di ombreggiamento della k.ma superficie;
- I_{sol} valore medio dell'irraggiamento solare sulla k.ma superficie, W;
- $F_{r,k}$ extra flusso ad alta lunghezza d'onda verso la volta celeste, W;
- $f_{r,k}$ fattore di vista fra l'elemento k e il cielo.

La Norma indica dettagliatamente come calcolare F_{rk} . Informazioni ancora più dettagliate sono disponibili nella UNI TS 11300 che, tuttavia, ha un approccio diverso portando il flusso solare sulle pareti opache a compensazione del flusso extra atmosferico di alta lunghezza d'onda.

Anche in questo caso occorre un profilo orario per rispondere alle esigenze di un calcolo dinamico. L'irraggiamento solare indicato nella precedente relazione è il valore medio giornaliero, come indicato dalla UNI 10349 o dalle tabelle Enea.

Tuttavia per un andamento orario dell'irraggiamento solare occorre avere le serie storiche dei valori medi orari giornalieri per ciascun mese. Tali dati possono essere reperiti in letteratura dai data base internazionali (ad esempio IGDG, o *Weather Data* di ENERGY PLUS®).

Nei casi in cui non si abbiano dati sperimentali per le località di riferimento si possono utilizzare metodi di *detrending* a partire da dati medi giornalieri, quali quelli forniti dalla UNI 10349 (vedi più avanti).

In assenza di dati orari statistici si possono implementare metodi di calcolo di *detrending* dai dati medi giornalieri più facilmente reperibili, vedi UNI 10349.

2.1.10 Flusso di energia al nodo Ts

Il flusso di energia interna verso il nodo T_s è dato dalla relazione:

$$F_{is} = 0.5 F_{int}$$

Con il simbolismo sopra indicato. Ne caso del metodo orario F_{is} non è un valore unico ma un vettore di dati orari che deve essere fornito al modello. E' anche possibile un calcolo automatico interno alle routine di calcolo.

2.1.11 Flusso verso il nodo Ts

E' dato dalla relazione:

$$F_{st} = \left(1 - \frac{A_m}{A_t} - \frac{H_{tr,w}}{9.1A_t} \right) [0.5F_{int} + 0.5F_{sol}]$$

Con il simbolismo già indicato. La Norma non fornisce alcuna giustificazione su questa definizione. Come per F_{is} , anche F_{st} e successivamente F_m , sono vettori orari.

2.1.12 Flusso verso il nodo Tm

E' data dalla relazione:

$$F_m = \frac{A_m}{A_t} (0.5F_{int} + 0.5F_{sol})$$

con il simbolismo sopra definito. F_m è un vettore orario.

2.1.13 Osservazione su dati di input

Da quanto indicato nel precedente paragrafo, il calcolo delle cinque resistenze, della capacità totale interna dell'edificio e dei tre flussi di energia verso i tre nodi incogniti richiede una notevole quantità di dati.

In particolare si richiedono:

- Per le pareti *dimensioni, U_v , b_{tr} , α , I_s*
- Per le finestre *dimensioni, U_v , b_{tr} , F_{sh} , I_s*
- Per i flussi solari *I_s , F_s su ogni orientamento, F_{rk} con il cielo;*
- Per i flussi interni *potenze interne e di recupero;*
- Per la capacità termica *capacità termiche di superficie di ciascuna parete.*

In definitiva, al fine di predisporre le conduttanze richieste dal modello R5C1, si richiedono gli stessi dati necessari per effettuare il calcolo con i metodi tradizionali, ad esempio applicando le UNI TS 11300/1 e 2 o con il metodo di calcolo alle funzioni di trasferimento TFM.

In più occorre fornire, essendo il modello di calcolo di tipo orario, i dati orari per la temperatura media esterna e per l'irraggiamento solare.

Più avanti, quando si presenterà il modello completo con l'equazione di bilancio per il calore latente, si parlerà anche di dati relativi alla distribuzione oraria dell'umidità esterna per la località considerata.

2.2 Soluzione del modello R5C1

La Norma UNI EN 13790 prevede che si possa utilizzare lo stesso modello di Figura 6 con più metodi di soluzione e precisamente:

- *Metodo di calcolo orario semplificato;*
- *Metodo mensile*

Nel primo caso l'input dei dati è orario e il modello tiene conto degli effetti di transitorio termico per effetto della capacità termica C_m .

Nel secondo caso l'input dei dati è riferito al mese e allora si richiede l'introduzione di fattori correttivi (detti *fattori di utilizzo*) che dipendono dalla costante di tempo dell'edificio.

Quest'ultimo metodo ricalca molto da vicino quanto specificato anche nelle UNI TS11300 per il calcolo dell'energia media stagionale.

Si ritiene che avere a disposizione un modello con la capacità termica C_m sia un'occasione per utilizzarlo con il metodo orario semplificato. In questo modo i transitori termici e gli effetti di accumulo sono tenuti automaticamente in conto.

In definitiva l'utilizzo del metodo mensile non appare congruente con il modello stesso. Di conseguenza si svilupperà solo questo metodo di calcolo.

2.2.1 Modalità di utilizzo del modello R5C1

Il modello R5C1 può essere utilizzato in due modalità fondamentali.

2.2.1.1 Modalità diretta

Si calcola la risposta dell'edificio alle sollecitazioni interne ed esterna e in particolare si calcolano le temperature T_{air} (che può anche essere imposta), $T_{s,r}$, T_m e il flusso termico scambiato $F_{HC,nd}$.

Il flusso termico scambiato con l'esterno è sempre una variabile dipendente ed è il principale dato di calcolo.

2.2.1.2 Evoluzioni termiche dinamiche dell'edificio

L'edificio ha diverse possibilità di evoluzione termica a seconda dei vincoli imposti alle variabili.

Lo stesso modello circuitale può essere utilizzato per trovare la risposta a diverse situazioni di calcolo.

2.2.1.3 Evoluzione Libera

Se si considera l'edificio sottoposto alle variazioni delle sole temperature esterna, T_e , e di alimentazione dell'aria di ventilazione, T_{sup} , oltre ai flussi di energia per sorgenti interne e solare, allora la temperatura interna, T_{air} , e le due temperature di superficie, $T_{s,r}$, e di massa, T_m , varieranno liberamente, come pure il flusso scambiato $F_{HC,nd}$.

E' questo il caso di evoluzione delle variabili dipendenti quando non si ha alcun intervento degli impianti di climatizzazione.

Un edificio lasciato a se stesso evolve liberamente in modo che le temperature interne sopra indicate portino ad bilanciamento totale dei flussi termici.

2.2.1.4 Evoluzione con temperatura interna imposta

E' questo il caso in cui gli impianti di climatizzazione sono attivi e, come conseguenza diretta, la temperatura interna, T_{air} , è mantenuta al valore di settaggio, T_{set} .

Si vuol dire che l'edificio è termostato al valore desiderato e gli impianti (regolazione compresa) forniscono l'energia necessaria, con il proprio segno, per mantenere la temperatura al valore desiderato.

In questo caso il flusso $F_{HC,nd}$ è quello necessario a mantenere le condizioni di termostato e quindi è il flusso termico di riscaldamento, nel caso invernale, o il flusso termico di raffrescamento (detto anche *extraction rate*), nel caso estivo.

Non si pensi che il segno del flusso termico $F_{HC,nd}$ sia determinato univocamente dalla stagione, cioè se si è in riscaldamento o in raffrescamento. In realtà i bilanci termici sono complessi e il segno del flusso è determinato dal bilancio netto fra energia entrante ed energia uscente dall'edificio.

In questo giocano un ruolo fondamentale le forzanti, cioè l'energia solare e l'energia interna (affollamento, lampade, motori, acqua calda sanitaria, ...) oltre ai valori dei potenziali esterni (T_{sup} e T_a).

2.2.1.5 Evoluzione mista

Se gli impianti non sono sempre attivi ma subiscono uno spegnimento programmato durante alcune ore del giorno o della notte allora l'edificio si evolve con risposta libera quando l'impianto di climatizzazione è spento e con risposta a temperatura imposta quando l'impianto di climatizzazione è attivo.

Un esempio si ha nelle zone climatiche dalla C alla E nelle quali si ha un numero di ore di funzionamento variabile dalle 10 alle 18 giornaliere e quindi si preferisce attenuare gli impianti piuttosto che spegnerli per evitare gli effetti dei transitori di accensione ed avere una risposta più rapida resettando la temperatura del termostato.

Tipica è la situazione invernale in cui la temperatura interna è fissata a 20 °C quando sono presenti gli occupanti e a 16-17 °C quando gli occupanti sono fuori casa.

Nel momento in cui il programmatore di ambiente cambia la temperatura di settaggio l'impianto ha una risposta molto più rapida che nel caso di impianti che partono dalla condizione di spegnimento totale.

Nelle zone climatiche più calde, A e B, solitamente il numero ridotto di ore di funzionamento (tipicamente 8 ore al giorno) porta allo spegnimento dell'impianto.

Può anche accadere che l'impianto venga acceso per alcune ore la mattina (ad esempio dalla 6 alle 8) e per alcune ore nella sera (ad esempio dalle 17 alle 22).

In questi casi l'evoluzione termica dell'edificio è mista nel senso che è libera quando l'impianto è spento e con temperatura imposta quando l'impianto è acceso.

2.2.1.6 Osservazione

La soluzione analitica del modello R5C1 nelle modalità diretta e inversa è stata descritta nella Relazione Tecnica del 2014 e ad essa si fa riferimento per ogni dettaglio.

Nell'ambito di questo lavoro si utilizzeranno le equazioni risoltrici già presentate alle quali si aggiungerà l'equazione di bilancio per il calore latente.

Il modello così ottenuto (R5C1 + Latente) è detto *modello R5C1 completo* e sarà implementato interamente con un foglio di calcolo in Excel ed utilizzato nel prosieguo per le verifiche termiche.

3 Bilancio del calore latente

La UNI ISO EN 13790 fa riferimento al solo calore sensibile e, almeno fino a quando non sono emesse le nuove norme UNI TS 11300:2014, tale calcolo è stato sufficiente per la certificazione energetica degli edifici. Le nuove UNI TS 11300:2014 prendono in considerazione anche il calore latente e pertanto si è effettuato un aggiornamento del modello R5C1 sopra esposto al fine di tenere conto anche del calore latente scambiato dall'edificio con l'ambiente esterno. Si osserva che in genere il calore latente viene calcolato con riferimento a condizioni climatiche esterne medie statistiche per ogni sito considerato.

La reperibilità di dati sperimentali sulla variazione dell'umidità relativa esterna non è agevole. Tuttavia alcuni data base, quali l'IGDG, riportano gli andamenti orari di questo parametro. In ogni caso considerare la variabilità oraria dell'umidità esterna può portare a risultati in alcuni casi non prevedibili nel calcolo del calore totale scambiato dagli edifici. Nelle figure seguenti si hanno i dati per l'u.r. di alcune città.

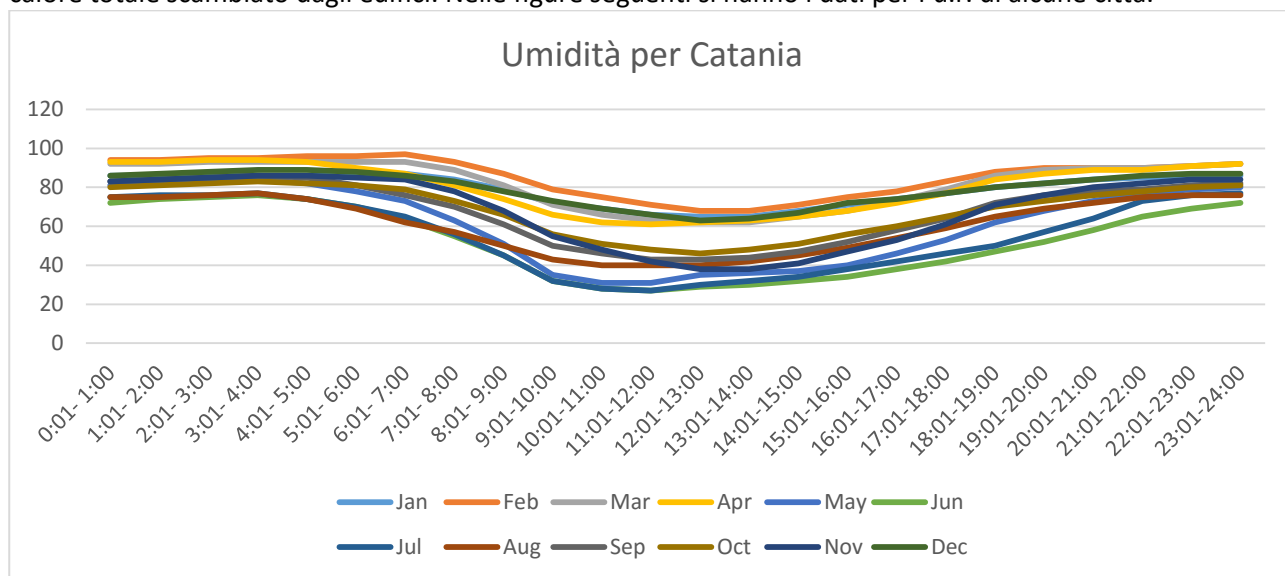


Figura 8: Andamento dell'umidità relativa giornaliera media mensile per Catania

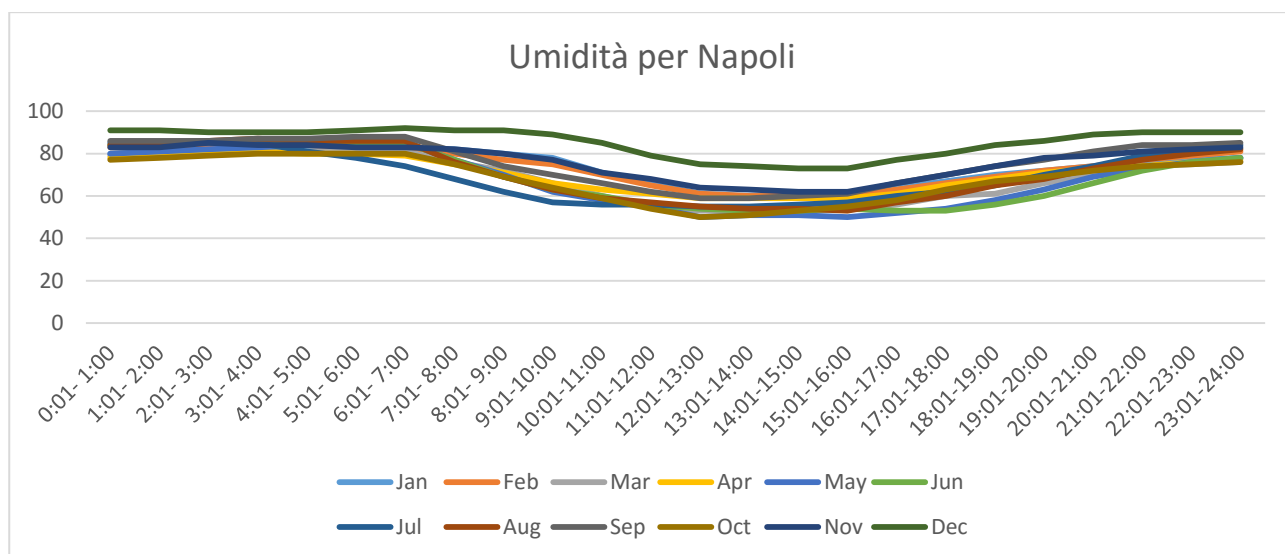


Figura 9: Andamento dell'umidità relativa giornaliera media mensile per Napoli

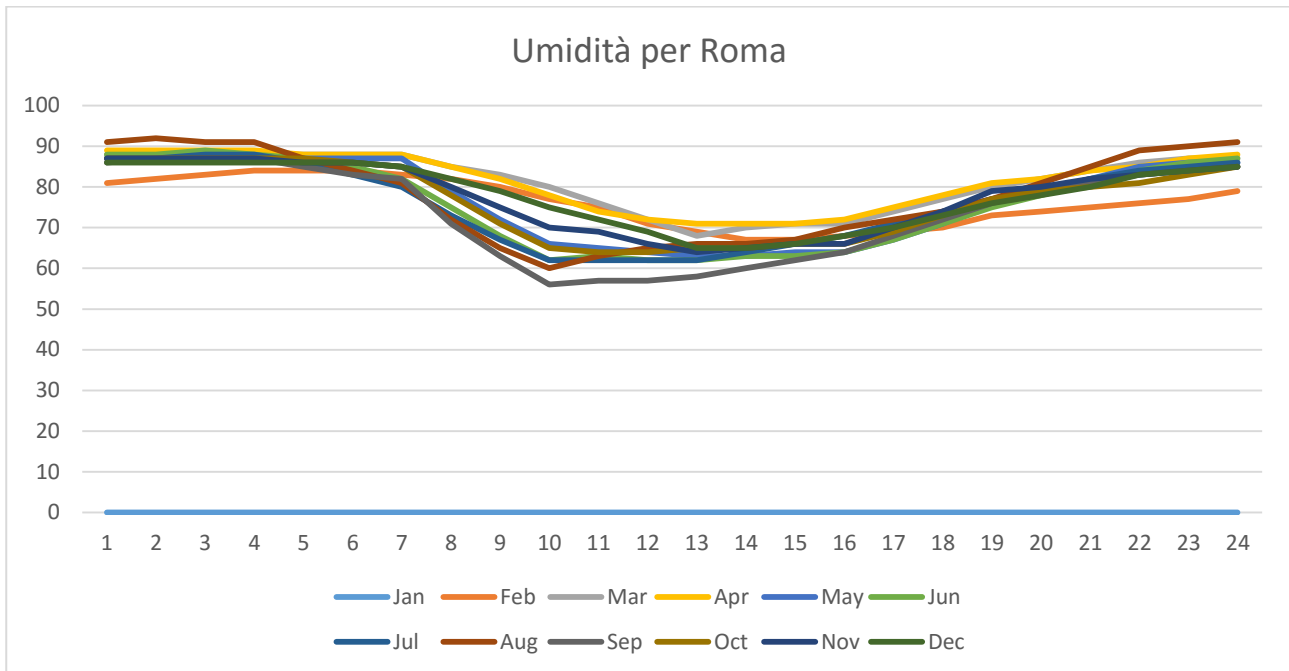


Figura 10: Andamento dell'umidità relativa giornaliera media mensile per Roma

Si osserva che per Catania l'u.r. scende al di sotto del 50% mentre per Napoli e Roma si mantiene sempre al di sopra del 50%. Questo ha effetto nei calcoli energetici in quanto se l'umidità specifica esterna è maggiore di quella interna allora si ha un carico latente positivi e viceversa.

3.1 Equazione di bilancio per il calore latente

Con riferimento alla Figura 11 e nell'ipotesi che le grandezze in gioco sia del tutto indipendenti e che non influenzino e non vengano influenzate da quelle del modello standard (cioè che valgano le ipotesi di linearità con sommatoria di effetti) è possibile scrivere la seguente equazione di bilancio per l'ambiente (con umidità specifica x_A):

$$Q_{L,x} = H_{v,x} (x_v - x_A) + H_{inf,x} (x_E - x_A) + Q_{x,i}$$

ove si è posto:

- $H_{v,x} = \sum nV_i \rho r$ Ammettenza latente di ventilazione, $W/(kg_v/kg_{as})$;
- $H_{inf,x} = \sum f_i L_i \rho$ Ammettenza latente per infiltrazione, $W/(kg_v/kg_{as})$;
- $Q_{x,i} = \sum N_i M_{x,i} + \sum W_{x,i}$ Calore latente interno, W .

Se si vuole esaminare l'evoluzione propria basta imporre $Q_{L,x}=0$ e pertanto si ricava:

$$x_A = \frac{Q_{x,i} + H_{v,x} x_v + H_{inf,x} x_E}{H_{v,x} + H_{inf,x}}$$

Se si desidera esaminare l'evoluzione ad x_A imposta allora si ha⁵:

⁵ Si osservi che il segno positivo del modello è per flusso uscente dal nodo A, diversamente dalla convenzione del modello R5C1 che vuole positivo il flusso $F_{HC,nd}$ entrante nel nodo A. Pertanto nel calcolo del calore totale occorre cambiare di segno al valore del calore latente sopra indicato.

$$Q_{L,x} = -(H_{v,x} + H_{inf,x})x_A + H_{v,x}x_v + H_{inf,x}x_E + Q_{x,i}$$

Nel caso in cui non si considerino le infiltrazioni ($H_{inf,x}=0$) si ottengono, per $Q_{L,x}=0$:

$$x_A = \frac{Q_{x,i} + H_{v,x}x_v}{H_{v,x}}$$

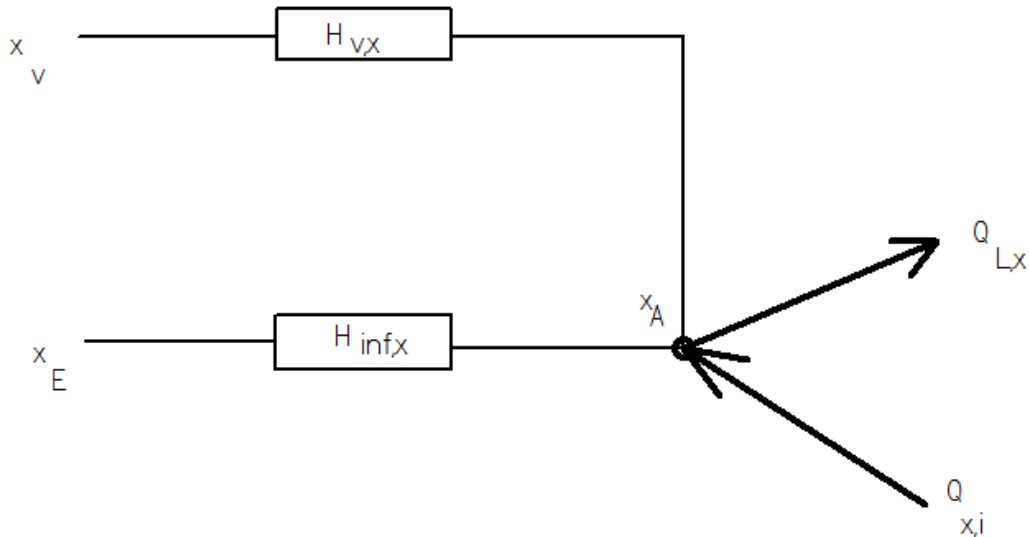


Figura 11: Bilancio dell'umidità e del calore latente

E per il caso ad x_A imposta:

$$Q_{L,x} = H_{v,x}(x_v - x_A) + Q_{x,i}$$

I dati meteorologici sono solitamente forniti in termini di umidità relativa φ e pertanto l'umidità specifica si ottiene dalla relazione psicrometrica:

$$x = 0.623 \frac{\varphi p_{vs}}{p_t - \varphi p_{vs}}$$

ove:

- p_{vs} è la pressione di saturazione, Pa;
- p_t è la pressione totale, Pa;
- φ è l'umidità relativa dell'aria (%).

Da quest'equazione è possibile anche calcolare l'umidità relativa dell'aria nota la pressione di saturazione:

$$\varphi = \frac{x p_{vs}}{0.623 p_{vs} + x p_{vs}}$$

Si ricordi che è possibile calcolare la pressione di saturazione, p_{vs} , nota la temperatura dell'aria, mediante l'equazione:

$$p_{vs} = 611.85 e^{\frac{17.50 \theta_{int}}{240.9 + \theta_{int}}}$$

con θ_{int} temperatura dell'aria (°C).

E' possibile utilizzare anche altre formulazioni equivalenti, tutte funzioni della sola temperatura interna.

La UNI TS 11300/1:2014 indica le seguenti relazioni:

$$p_{vs} = 610.5 e^{\frac{17.269 \theta_{int}}{\theta_{int} + 273.15}}$$

valida per $\theta_{\text{int}} \geq 0$ °C e:

$$p_{\text{vs}} = 610.5 e^{\frac{21.785\theta_{\text{int}}}{\theta_{\text{int}} + 265.5}}$$

per $\theta_{\text{int}} < 0$ °C.

L'ASHRAE propone la seguente relazione:

$$p_{\text{vs}} = e^{\left[65.81 - \frac{7066.27}{\theta_{\text{int}} + 273.15} - 5.976 \ln(\theta_{\text{int}} + 273.15) \right]}$$

Più complessa e precisa delle precedenti.

Va considerato che la precisione nei dati psicrometrici è sempre bassa e che l'eccesso di precisione dei calcoli non porta a risultati più precisi.

3.2 Soluzione per il calore latente ad x_a imposta

Le equazioni sopra scritte consentono di calcolare il flusso di calore latente da fornire (con il suo segno) all'ambiente nel caso ad x_a imposta o il valore di x_a nel caso di calore latente fornito pari a zero.

Nella tabella seguente si ha un esempio di applicazione del metodo indicato. Altri dettagli saranno forniti nel capitolo successivo relativa all'interfaccia del modello di calcolo tramite il foglio elettronico in Excel.

xA calcolata	fi.A	Umidità	Pvs.E	xE	Pvs.V	xV	pVs.A (Pa)	xA	rho.aria	Hv,x
kg.v/kg.as	%	%	Pa	kg.v/kg.as	Pa	kg.v/kg.as	Pa	kg.v/kg.as	kg/m³	kW/K
0.0107	50.00	86	2598.70	0.0142	2598.70	0.0149	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	87	2504.89	0.0139	2504.89	0.0144	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	87	2414.05	0.0134	2414.05	0.0138	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	87	2326.11	0.0129	2326.11	0.0133	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	85	2384.42	0.0129	2384.42	0.0137	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	83	2444.00	0.0129	2444.00	0.0140	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	82	2474.28	0.0129	2474.28	0.0142	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	71	2846.82	0.0129	2846.82	0.0164	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	63	3228.91	0.0129	3228.91	0.0186	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	56	3676.53	0.0131	3676.53	0.0213	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	57	3741.58	0.0136	3741.58	0.0217	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	57	3829.88	0.0139	3829.88	0.0222	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	58	3919.98	0.0145	3919.98	0.0228	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	60	3852.23	0.0147	3852.23	0.0224	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	62	3807.63	0.0151	3807.63	0.0221	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	64	3741.58	0.0153	3741.58	0.0217	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	68	3570.31	0.0155	3570.31	0.0207	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	72	3405.91	0.0157	3405.91	0.0197	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	76	3267.54	0.0159	3267.54	0.0189	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	79	3134.09	0.0158	3134.09	0.0181	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	81	3023.53	0.0156	3023.53	0.0174	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	83	2898.86	0.0154	2898.86	0.0167	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	84	2795.61	0.0150	2795.61	0.0161	3365.865	0.0107	1.34	123.0089
0.0107	50.00	85	2695.58	0.0146	2695.58	0.0155	3365.865	0.0107	1.34	123.0089

Tabella 10: Calcolo del calore latente per Roma nel mese di agosto

I dati di umidità sono ricavati dai data base internazionali. Per Roma sono riportati nella seguente tabella.

Hour	Average Hourly Relative Humidity %											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01- 1:00	80	83	79	78	80	84	85	84	86	77	83	91
1:01- 2:00	81	83	80	79	81	85	85	85	86	78	83	91
2:01- 3:00	82	84	80	80	82	86	85	86	86	79	85	90
3:01- 4:00	83	84	81	81	83	86	85	87	87	80	84	90
4:01- 5:00	83	84	81	80	84	85	81	86	87	80	84	90
5:01- 6:00	83	83	81	80	84	85	78	86	88	80	83	91
6:01- 7:00	83	83	81	79	85	85	74	86	88	80	83	92
7:01- 8:00	82	80	76	75	77	77	68	76	81	75	82	91
8:01- 9:00	80	77	72	71	70	69	62	69	74	69	80	91
9:01-10:00	78	75	66	66	62	63	57	63	70	64	77	89
10:01-11:00	71	70	60	63	58	60	56	59	66	59	71	85
11:01-12:00	66	65	55	61	55	56	56	57	62	54	68	79
12:01-13:00	61	61	53	59	50	54	55	55	59	50	64	75
13:01-14:00	60	60	53	59	51	53	55	54	59	51	63	74
14:01-15:00	60	60	53	59	51	53	56	54	60	53	62	73
15:01-16:00	61	60	54	59	50	54	57	53	61	55	62	73
16:01-17:00	64	63	56	61	52	53	60	57	66	58	66	77
17:01-18:00	67	66	60	65	54	53	62	60	70	63	70	80
18:01-19:00	70	69	61	68	58	56	65	65	74	67	74	84
19:01-20:00	72	72	66	71	63	60	70	68	77	69	78	86
20:01-21:00	74	74	70	73	69	66	74	73	81	72	79	89
21:01-22:00	76	77	74	74	73	72	79	77	84	74	81	90
22:01-23:00	77	79	75	76	76	76	81	80	84	75	82	90
23:01-24:00	78	81	76	77	78	78	84	82	85	76	83	90

Tabella 11: Umidità media oraria mensile per Roma

Gli andamenti delle umidità specifiche sono riportati, per il mese di agosto, nel seguente abaco.

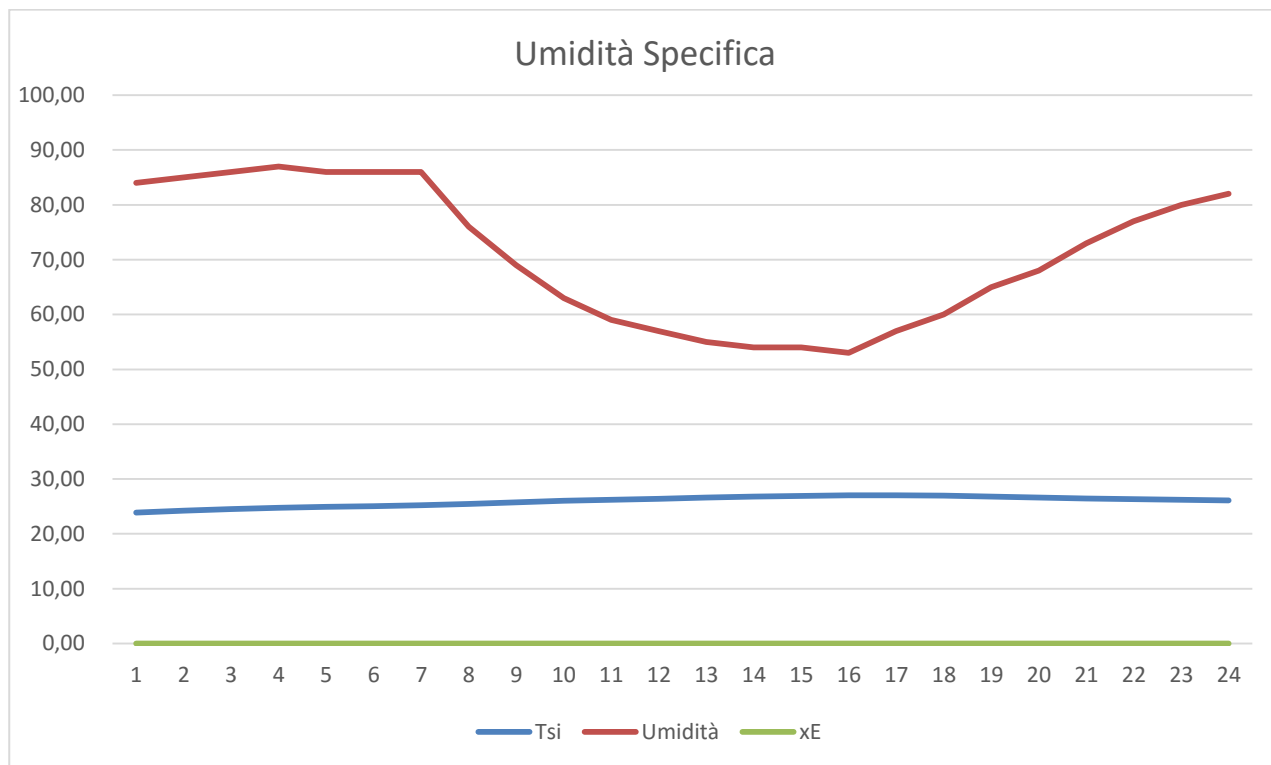


Figura 12: andamento delle umidità specifiche per Roma nel mese di agosto

Con riferimento ad un edificio di 10 x 10 x 3 m di dimensioni, posto a Roma, si ha la seguente tabella di dati per il mese di dicembre:

Parete	U	b.tr	S	a o g	Fsh	aU/he	Aeff	Beta	fkc	H.tr
Nord	0.38	1	30.00	0.5		0.008	0.23	1.57	0.500	11.40
Finestra	3.02	1	0.00	0.7	0.9		0.00	1.57	0.500	0.00
Sud	0.38	1	24.60	0.5		0.008	0.19	1.57	0.500	9.35
Finestra	3.02	1	5.40	0.7	0.9		2.72	1.57	0.500	16.31
Est	0.38	1	24.60	0.5		0.008	0.19	1.57	0.500	9.35
Finestra	3.02	1	5.40	0.7	0.9		2.72	1.57	0.500	16.31
Ovest	0.38	1	24.60	0.5		0.008	0.19	1.57	0.500	9.35
Finestra	3.02	1	5.40	0.7	0.9		2.72	1.57	0.500	16.31
Nord Est	0.38	1	0.00	0.5		0.008	0.00	1.57	0.500	0.00
Finestra	3.02	1	0.00	0.7	0.9		0.00	1.57	0.500	0.00
Nord Ovest	0.38	1	0.00	0.5		0.008	0.00	1.57	0.500	0.00
Finestra	3.02	1	0.00	0.7	0.9		0.00	1.57	0.500	0.00
Sud Est	0.38	1	0.00	0.5		0.008	0.00	1.57	0.500	0.00
Finestra	3.02	1	0.00	0.7	0.9		0.00	1.57	0.500	0.00
Sud Ovest	0.38	1	0.00	0.5		0.008	0.00	1.57	0.500	0.00
Finestra	3.02	1	0.00	0.7	0.9		0.00	1.57	0.500	0.00
Pavimento	0.41	0	100.00	0		0.000	0.00	0	1.000	0.00
Soffitto	0.31	1	100.00	0.6		0.023	2.09	0	1.000	31.00
Pareti Int.	0.74	0	120.00	0			120.00	0	1.000	88.80

Tabella 12: Dati di input dell'edificio esempio

Le conduttanze sono riportate in tabelle seguente.

G1=Hve	44.00
G2=Hw	48.92
G3=ht,em	173.01
G4=Ht,ms	2002.00
G5=Ht,is	1462.11
C	16.952.000
T	3600
Am	220.00
At	423.80
Asky	6.57

Tabella 13: Valori delle conduttanze per l'edificio esempio

I vettori di input per il modello R5C1 sono i seguenti.

Ora	Tsky	hr	I-sky	I.sol	F.int	F.sol	Te (°C)	Ta(°C)	Tvent (°C)	n	Imp-Avv
1	10.58	4.58	-14.56	0.0	418	95.65	7.4	20.00	17.00	0.5	1
2	10.58	4.57	-15.01	0.0	418	98.60	7.3	20.00	17.00	0.5	1
3	10.58	4.57	-15.91	0.0	418	104.50	7.1	20.00	17.00	0.5	1
4	10.58	4.57	-16.80	0.0	418	110.39	6.9	20.00	17.00	0.5	1
5	10.58	4.56	-17.25	0.0	418	113.33	6.8	20.00	17.00	0.5	1
6	10.58	4.56	-17.70	0.0	418	116.26	6.7	20.00	17.00	0.5	1
7	10.58	4.56	-17.70	0.0	418	116.26	6.7	20.00	17.00	0.5	1
8	10.58	4.58	-13.66	4.0	418	113.37	7.6	20.00	17.00	0.5	1
9	10.58	4.61	-9.12	59.0	418	360.97	8.6	20.00	17.00	0.5	1
10	10.58	4.63	-4.54	150.0	418	689.86	9.6	20.00	17.00	0.5	1
11	10.58	4.66	1.02	231.0	418	853.76	10.8	20.00	17.00	0.5	1
12	10.58	4.69	7.13	275.0	418	784.34	12.1	20.00	17.00	0.5	1
13	10.58	4.72	12.84	275.0	418	940.01	13.3	20.00	17.00	0.5	1
14	10.58	4.72	13.32	237.0	418	955.33	13.4	20.00	17.00	0.5	1
15	10.58	4.72	12.36	164.0	418	755.53	13.2	20.00	17.00	0.5	1
16	10.58	4.72	12.36	72.0	418	344.30	13.2	20.00	17.00	0.5	1
17	10.58	4.69	6.66	9.0	418	28.41	12.0	20.00	17.00	0.5	1
18	10.58	4.66	1.49	0.0	418	-9.77	10.9	20.00	17.00	0.5	1
19	10.58	4.64	-3.16	0.0	418	20.75	9.9	20.00	17.00	0.5	1
20	10.58	4.63	-5.46	0.0	418	35.89	9.4	20.00	17.00	0.5	1
21	10.58	4.61	-8.21	0.0	418	53.95	8.8	20.00	17.00	0.5	1
22	10.58	4.60	-10.94	0.0	418	71.90	8.2	20.00	17.00	0.5	1
23	10.58	4.59	-11.85	0.0	418	77.85	8.0	20.00	17.00	0.5	1
24	10.58	4.58	-13.21	0.0	418	86.76	7.7	20.00	17.00	0.5	1

Tabella 14: Vettori di input per il modello per l'edificio esempio

Infine l'andamento dei flussi termici scambiati sono riportati nella seguente figura.

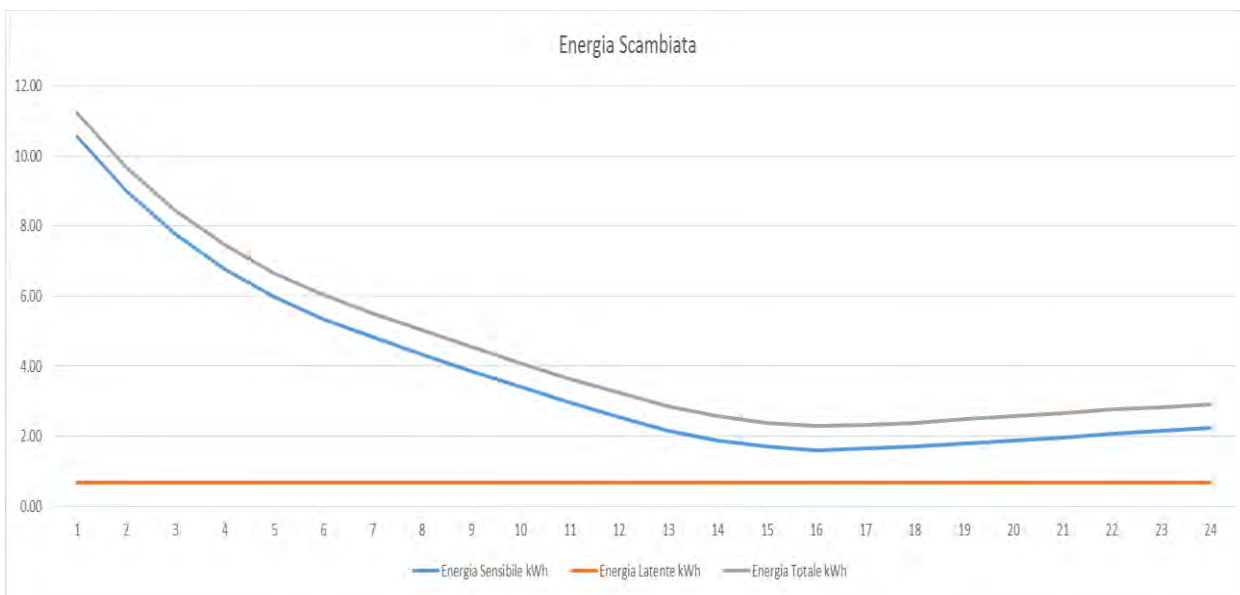


Figura 13: Flussi termici calcolati per l'edificio esempio per il mese di dicembre a Roma

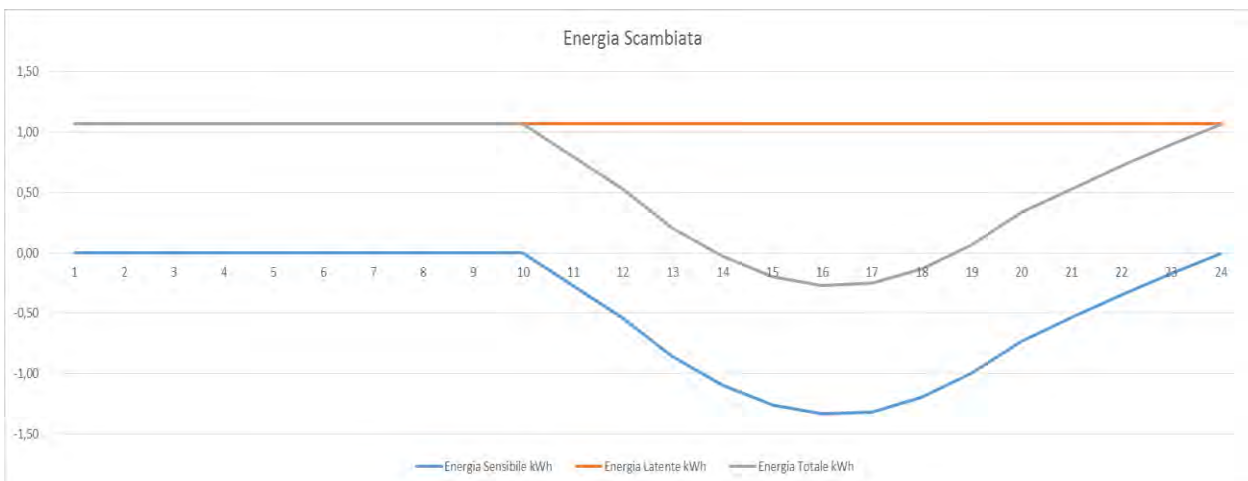


Figura 14: Flussi termici calcolati per l'edificio esempio per il mese di agosto a Roma

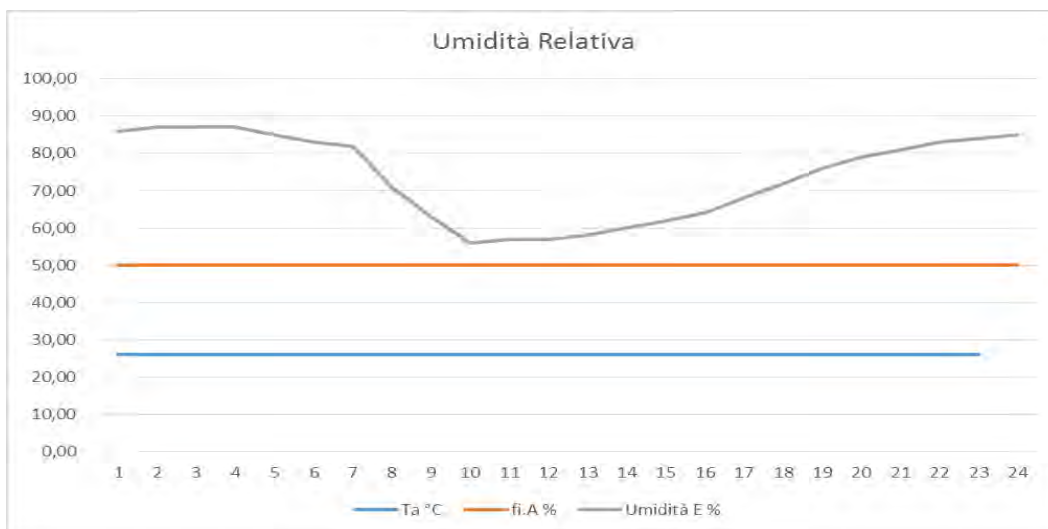


Figura 15: Andamento dell'umidità esterna a Roma nel mese di agosto

Si osservi come l'andamento orario dei flussi termici consente di avere anche l'andamento dei fabbisogni energetici (carichi termici) per il mese di agosto.

3.3 Confronto con i codici di calcolo tradizionali

Il modello R5C1 consente di avere risultati di calcolo fortemente caratterizzati dai dati meteorologici utilizzati. In particolare i dati reali per l'umidità esterna sono molto variabili in funzione del sito e del mese di riferimento, come si può osservare nelle figure precedenti per Catania, Napoli e Roma.

Il modello di calcolo del calore latente esposto nei paragrafi precedenti tiene conto esattamente dell'andamento dell'umidità specifica esterna e di quella interna e pertanto i risultati di calcolo sono consequenziali ai valori realmente assunti da queste grandezze.

I programmi di calcolo commerciali assumono condizioni esterne di progetto tali da assicurare le condizioni di calcolo più sfavorevoli e quindi a favore della sicurezza della progettazione.

Ad esempio in Figura 16 si hanno i dati utilizzati dal programma TFM⁶ per Catania. Si osservi come i valori indicati in tabella sono i valori medi giornalieri mensili, opportunamente maggiorati per tenere conto delle condizioni peggiori (ad esempio si ha 50% di u.r. nei mesi estivi per tener conto dei giorni con vento di scirocco che a Catania è caldo umido) se raffrontati con gli andamenti orari medi mensili precedenti.

Il calcolo del calore latente scambiato è conseguente con l'assunzione di φ costante e pari al valore indicato, per ciascun mese, in tabella e pertanto detto carico latente è costante (per l'aliquota dovuta all'aria di ventilazione) durante tutto il giorno, come si può osservare in Figura 17.

In questa figura si osserva che il calore latente calcolato varia solo per effetto della presenza delle persone durante le ore di lavoro.

I risultati di calcolo conseguenti al modello R5C1 sono in realtà molto diversi, come illustrato in figura seguente.

DATI CLIMATICI MENSILI												
	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Hbh	5.7	7.7	10.5	14.1	18.6	21.6	22.1	19.8	14.1	9.2	6.6	5.0
Hdh	3.3	4.2	5.5	6.6	6.9	6.6	6.1	5.6	5.4	4.5	3.4	3.0
Rif	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Te	10.7	11.2	12.9	15.5	19.1	23.5	26.5	26.5	24.1	19.9	15.9	12.3
Pv	901.0	1003.0	1056.0	1182.0	1536.0	1884.0	2015.0	2307.0	1968.0	1572.0	1274.0	1023.0
DTge	8.0	8.0	9.0	9.0	9.0	10.0	10.0	10.0	9.0	9.0	9.0	8.0
Tbse	8.0	10.0	12.0	18.0	20.0	32.0	33.5	34.0	30.0	20.0	18.0	12.0
URe	60.0	60.0	60.0	60.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	55.0	60.0	60.0

Figura 16: Dati esterni di progetto per Catania

⁶ Il programma TFM è distribuito dalla Watts Cazzaniga.

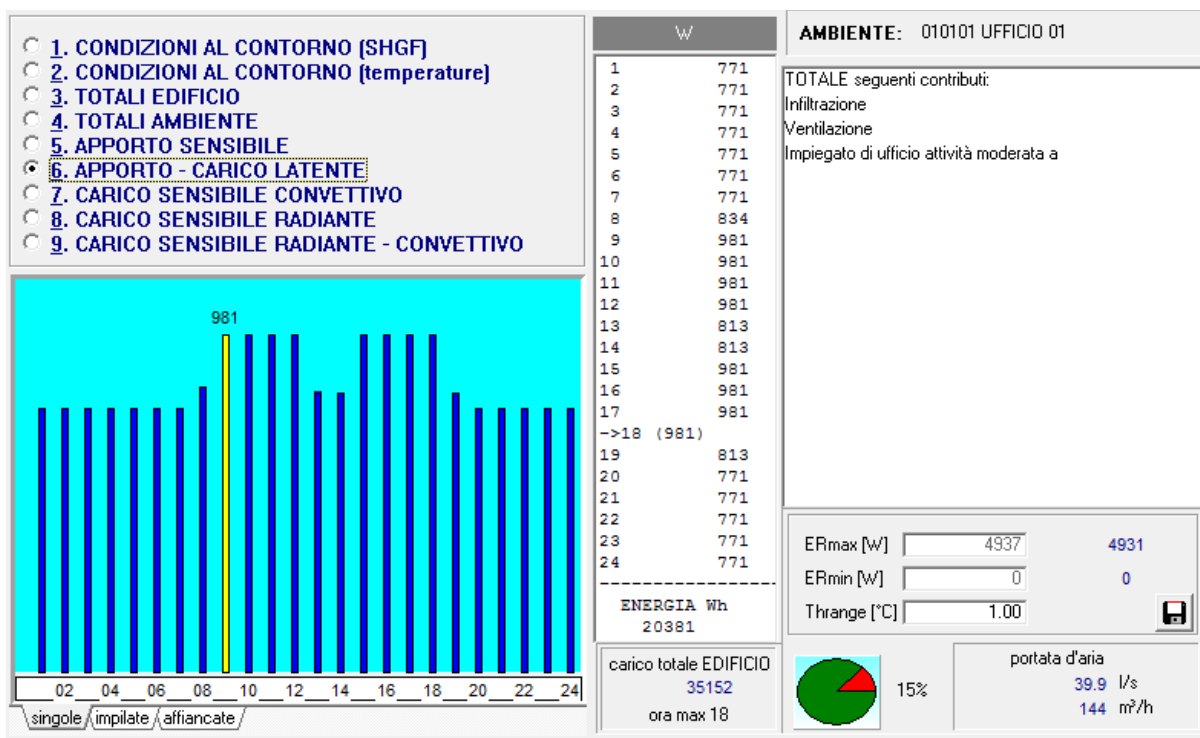


Figura 17: Andamento tipico del calore latente calcolato con TFM

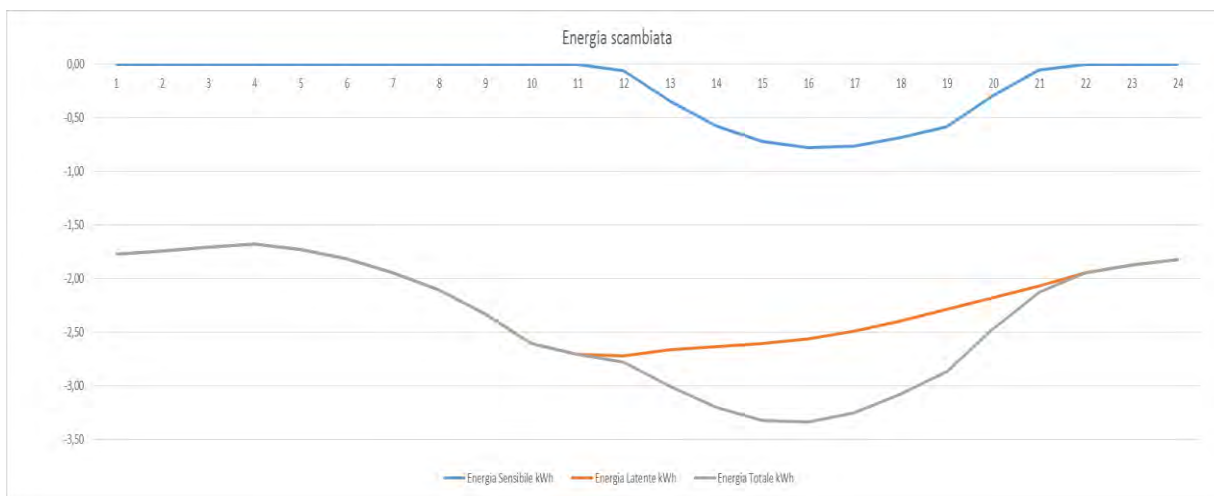


Figura 18: Andamento dei carichi termici calcolati per lo stesso edificio a Catania in giugno

Ne consegue che, se ai fini del calcolo del carico termico di progetto l’ipotesi di un valore costante ed opportunamente predisposto dell’umidità esterna è accettabile al fine di garantire le potenzialità delle macchine frigorifere, non è possibile amplificare la stima del calore latente ai fini del calcolo dei reali consumi energetici. Infine si osserva che anche nella stagione invernale si possono avere differenze sostanziali dei carichi termici totali per i siti aventi forti variabilità dell’umidità esterna.

3.4 Utilizzo del modello R5C1 completo per calcolare i carichi termici

Il modello completo R5C1 consente di calcolare in modo completo i carichi termici estivi ed invernali. Con riferimento all’esempio dell’edificio 10x10x3 posto a Roma si riportano di seguito gli andamenti dei carichi orari calcolati per i mesi di dicembre e di agosto.

kWh	kWh	kWh
10.55	0.68	11.23
8.99	0.68	9.68
7.76	0.68	8.44
6.77	0.68	7.45
5.98	0.68	6.66
5.35	0.68	6.03
4.83	0.68	5.51
4.34	0.68	5.02
3.86	0.68	4.55
3.40	0.68	4.08
2.96	0.68	3.64
2.56	0.68	3.24
2.16	0.68	2.84
1.88	0.68	2.57
1.71	0.68	2.39
1.60	0.68	2.28
1.64	0.68	2.32
1.71	0.68	2.39
1.80	0.68	2.49
1.88	0.68	2.56
1.97	0.68	2.66
2.08	0.68	2.76
2.15	0.68	2.83
2.23	0.68	2.91
90.18	kWh/giorno	106.56
2795.66	kWh/mese	3303.25
31.77	kWh/m ² /mese	37.54

Tabella 15: Riepilogo dei carichi termici orari per il mese di Dicembre

Il foglio di calcolo consente di selezionare facilmente il mese di calcolo e pertanto si può avere l'andamento del carico orario. Più in generale, sfruttando la possibilità di effettuare i bilanci annuali si possono avere i carichi termici mensili sia invernali che estivi. E' facile intuire che i valori indicati, kWh, corrispondano ai kW di carico per l'ora considerata. Si osserva che l'utilizzo del foglio è immediato e i tempi di calcolo del tutto trascurabili e questo consente di ottimizzare i calcoli con riferimento a diverse ipotesi, ad esempio considerando le opzioni di ventilazione meccanica controllata, VMC, portata variabile ed attenuazione notturna, come si illustrerà nel successivo capitolo.

Energia Sensibile	Energia Latente	Energia Totale
kWh	kWh	kWh
0.00	1.07	1.07
0.00	1.07	1.07
0.00	1.07	1.07
0.00	1.07	1.07
0.00	1.07	1.07
0.00	1.07	1.07
0.00	1.07	1.07
0.00	1.07	1.07
0.00	1.07	1.07
0.00	1.07	1.07
-0.27	1.07	0.80
-0.54	1.07	0.53
-0.86	1.07	0.21
-1.09	1.07	-0.03
-1.26	1.07	-0.20
-1.33	1.07	-0.27
-1.31	1.07	-0.25
-1.19	1.07	-0.13
-1.00	1.07	0.07
-0.73	1.07	0.33
-0.54	1.07	0.53
-0.35	1.07	0.72
-0.17	1.07	0.89
-0.01	1.07	1.06
-10.65	kWh/giorno	14.92
-330.13	kWh/mese	462.51
-3.75	kWh/m ² /mese	5.26

Tabella 16: Riepilogo dei carichi termici orari per il mese di Agosto

BILANCI ENERGETICI ANNUALI TOTALI E CALCOLO DI EP _{CI} e EP _{CE,inv} . ROMA											D		
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	
Ora	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
1	11.56	12.21	10.33	8.69	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	5.34	8.20	11.23	
2	9.96	10.52	8.94	7.51	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	4.63	7.08	9.68	
3	8.68	9.17	7.83	6.57	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	4.06	6.18	8.44	
4	7.65	8.10	6.95	5.82	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	3.61	5.46	7.45	
5	6.85	7.23	6.22	5.20	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	3.26	4.90	6.66	
6	6.20	6.54	5.64	4.70	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	2.96	4.45	6.03	
7	5.69	5.98	5.18	4.22	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	2.73	4.08	5.51	
8	5.24	5.42	4.63	3.63	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	2.36	3.70	5.02	
9	4.82	4.85	4.05	3.04	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.94	3.28	4.55	
10	4.39	4.31	3.50	2.47	1.07	1.07	1.05	1.07	1.07	1.53	2.88	4.08	
11	3.98	3.79	3.04	2.06	1.07	1.07	0.73	0.80	1.07	1.19	2.52	3.64	
12	3.62	3.32	2.66	1.74	1.07	1.07	0.51	0.53	1.07	0.89	2.21	3.24	
13	3.25	2.84	2.26	1.40	1.07	1.02	0.22	0.21	1.07	0.68	1.88	2.84	
14	2.99	2.51	1.97	1.13	1.07	0.75	-0.01	-0.03	0.98	0.68	1.66	2.57	
15	2.79	2.27	1.76	0.93	1.07	0.55	-0.18	-0.20	0.81	0.68	1.52	2.39	
16	2.68	2.11	1.62	0.81	1.07	0.44	-0.27	-0.27	0.73	0.68	1.46	2.28	
17	2.69	2.11	1.60	0.79	1.07	0.39	-0.32	-0.25	0.77	0.68	1.52	2.32	
18	2.72	2.21	1.70	0.87	1.07	0.43	-0.30	-0.13	0.91	0.68	1.59	2.39	
19	2.78	2.31	1.86	1.06	1.07	0.49	-0.24	0.07	1.07	0.68	1.67	2.49	
20	2.83	2.41	1.98	1.26	1.07	0.84	0.13	0.33	1.07	0.68	1.75	2.56	
21	2.88	2.52	2.09	1.42	1.07	1.07	0.40	0.53	1.07	0.78	1.83	2.66	
22	2.95	2.65	2.22	1.59	1.07	1.07	0.62	0.72	1.07	0.90	1.92	2.76	
23	3.01	2.78	2.33	1.74	1.07	1.07	0.81	0.89	1.07	1.01	2.01	2.83	
24	3.09	2.91	2.46	1.89	1.07	1.07	0.98	1.06	1.07	1.12	2.09	2.91	
	113.27	111.10	92.81	70.54	25.57	21.98	13.72	14.92	24.46	43.77	75.84	106.56	
	33.98	32.16	26.90	19.54	12.78	9.19	2.39	3.19	11.67	12.46	22.50	31.75	kWh/giorno
	1053.28	900.52	834.04	0.00	396.32	275.74	74.07	99.04	350.15	0.00	675.15	984.27	kWh/mese

Tabella 17: Bilanci annuali per l'esempio sito a Roma

3.5 Utilizzo del modello completo R5C1

E' possibile utilizzare il modello R5C1 per un uso avanzato sia per il calcolo dei consumi energetici che per lo studio dei trasduttori termici degli edifici. Un utilizzo particolare si ha quando il passo di calcolo è orario potendosi interpretare le curve dei flussi termici scambiati, F_{HC,N_d} , anche come carichi termici orari. In questo caso i risultati ottenuti sono di particolare pregio poiché sono presi in considerazione sia i profili d'uso interni che quelli degli impianti.

Ad esempio, supponendo di essere a Napoli e di disporre dei dati di temperatura, irraggiamento solare ed umidità relativa si può utilizzare il metodo R5C1 per calcolare i flussi energetici stagionali di involucro e, noti i rendimenti globali di impianto, anche gli indici di prestazione energetica EP_{CI} ed $EP_{CE,inv}$.

Si consideri ancora l'esempio di un edificio 10 x 10 x 3 m sito a Napoli. Imponendo il calcolo per tutti i mesi dell'anno si ha la tabella seguente valida per il solo calore sensibile. E' così possibile calcolare gli indici di prestazione energetica, come mostrato in tabella seguente.

Per lo stesso edificio è possibile calcolare i flussi energetici totali (sensibile più latente) a Napoli. Si ottengono i dati di tabella seguente. Da questi dati è possibile calcolare gli indici di prestazione globali, come mostrato in tabella seguente.

Si osservi come variano tali indici. Occorre tenere conto del calore latente può incrementare i valori degli indici di prestazione stagionali estivi e diminuire quelli invernali. Il modello R5C1 conferma la sua validità di calcolo, la sua flessibilità e la sua completezza nel valutare sia i consumi energetici che gli indici di prestazione energetici in modo più coerente con le ipotesi di utilizzo degli edifici.

BILANCI ENERGETICI ANNUALI E CALCOLO DI EP.CI e EP.CE													NAPOLI		C	
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	Imp. Acce	Imp. Acce		
Ora	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	Inverno	Estate		
1	6,85	7,01	6,45	3,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	4,08	6,77	0	0		
2	5,93	6,07	5,60	2,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	3,52	5,85	0	0		
3	5,19	5,32	4,91	2,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	3,08	5,12	0	0		
4	4,58	4,71	4,37	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	2,73	4,52	0	0		
5	4,09	4,20	3,93	2,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	2,46	4,03	0	0		
6	3,70	3,80	3,58	1,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	2,21	3,63	1	0		
7	6,45	6,52	6,34	4,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,27	5,09	6,38	1	0		
8	5,72	5,76	5,55	3,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,69	4,49	5,68	1	0		
9	5,09	5,07	4,80	3,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,11	3,90	5,05	0	1		
10	1,47	1,38	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	1,40	0	1		
11	1,33	1,24	0,81	0,00	0,00	0,00	-0,18	-0,18	0,00	0,00	0,17	1,27	0	1		
12	1,18	1,09	0,61	0,00	0,00	0,00	-0,46	-0,47	0,00	0,00	0,04	1,10	0	1		
13	0,99	0,92	0,41	0,00	0,00	0,00	-0,73	-0,75	0,00	0,00	0,00	0,94	0	1		
14	0,88	0,81	0,28	0,00	0,00	-0,07	-0,92	-0,96	0,00	0,00	0,00	0,83	0	1		
15	0,81	0,74	0,19	0,00	0,00	-0,23	-1,06	-1,10	0,00	0,00	0,00	0,77	0	1		
16	0,79	0,72	0,16	0,00	0,00	-0,35	-1,13	-1,19	-0,05	0,00	0,00	0,76	0	1		
17	0,86	0,78	0,21	0,00	0,00	-0,40	-1,11	-1,17	-0,02	0,00	0,00	0,81	0	1		
18	4,00	3,94	3,38	2,55	0,00	-0,40	-1,03	-1,08	0,00	1,65	3,06	3,94	1	1		
19	3,66	3,62	3,09	2,29	0,00	-0,32	-0,90	-0,94	0,00	1,39	2,76	3,61	1	1		
20	3,38	3,35	2,85	2,09	0,00	-0,14	-0,69	-0,79	0,00	1,19	2,53	3,37	1	1		
21	3,17	3,15	2,68	1,94	0,00	0,00	-0,50	-0,65	0,00	1,05	2,35	3,17	1	1		
22	3,00	3,01	2,57	1,84	0,00	0,00	-0,32	-0,50	0,00	0,96	2,22	3,02	1	0		
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,17	-0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0		
24	0,16	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,03	-0,20	0,00	0,00	0,00	0,17	0	0		
	73,28	73,42	63,82	37,96	0,00	-1,91	-9,23	-10,33	-0,08	15,92	44,97	72,18				

Tabella 18: Bilancio energetico mensile per l'edificio esempio a Napoli

33,08	33,16	30,05	21,26	0,00	-1,91	-8,71	-9,28	-0,08	12,42	24,71	32,79	kWh/giorno
1025,55	928,39	931,60	0,00	0,00	-57,30	-270,05	-287,60	-2,26	0,00	370,61	1016,59	kWh/mese
	QH	3902,14	kWh/anno			QC	-617,21	kWh/anno				
	EPci.inv	44,34	kWh/(m².anno)			Epce.inv	-7,01	kWh/(m².anno)				
	Af	88,00	m²									
	Eta	0,74										
	EPci	59,92	kWh/(m².anno)									

Tabella 19: Calcolo degli indici di prestazione per calore sensibile per l'edificio esempio a Napoli

BILANCI ENERGETICI ANNUALI TOTALI E CALCOLO DI EP.CI e EP.CE													NAPOLI		C	
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	Imp. Acce	Imp. Acce		
Ora	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	Inverno	Estate		
1	10,14	10,32	9,72	6,43	-0,10	-0,48	-0,79	-0,88	-0,52	3,00	7,13	10,06	0	0		
2	8,44	8,60	8,11	5,30	-0,08	-0,44	-0,76	-0,84	-0,49	2,40	5,88	8,36	0	0		
3	7,14	7,29	6,87	4,44	-0,04	-0,40	-0,72	-0,80	-0,45	1,93	4,94	7,07	0	0		
4	6,12	6,28	5,95	3,77	-0,03	-0,37	-0,66	-0,76	-0,43	1,59	4,23	6,06	0	0		
5	5,35	5,48	5,23	3,26	-0,02	-0,36	-0,75	-0,76	-0,41	1,33	3,70	5,29	0	0		
6	4,77	4,87	4,69	2,84	-0,01	-0,35	-0,84	-0,76	-0,41	1,13	3,25	4,69	1	0		
7	4,33	4,39	4,25	2,45	-0,01	-0,41	-0,95	-0,77	-0,41	0,99	2,92	4,24	1	0		
8	3,90	3,91	3,68	1,89	-0,17	-0,63	-1,13	-1,03	-0,57	0,54	2,62	3,86	1	0		
9	3,51	3,42	3,05	1,31	-0,37	-0,86	-1,33	-1,27	-0,76	-0,01	2,21	3,46	0	1		
10	3,13	2,95	2,40	0,77	-0,60	-1,01	-1,93	-1,80	-0,91	-0,58	1,75	3,04	0	1		
11	2,66	2,49	1,82	0,39	-0,70	-1,13	-2,36	-2,33	-1,03	-1,03	1,26	2,58	0	1		
12	2,23	2,08	1,36	0,05	-0,80	-1,30	-2,72	-2,70	-1,17	-1,17	0,82	2,12	0	1		
13	1,77	1,65	0,88	-0,33	-0,94	-1,75	-3,13	-3,17	-1,42	-1,30	0,40	1,71	0	1		
14	1,51	1,38	0,58	-0,58	-0,92	-2,15	-3,38	-3,47	-1,67	-1,28	0,15	1,43	0	1		
15	1,32	1,18	0,35	-0,71	-0,90	-2,35	-3,57	-3,67	-1,81	-1,26	-0,01	1,27	0	1		
16	1,24	1,09	0,24	-0,71	-1,08	-2,48	-3,64	-3,83	-1,84	-1,23	-0,05	1,23	0	1		
17	1,38	1,17	0,31	-0,65	-1,07	-2,51	-3,52	-3,65	-1,65	-1,10	0,10	1,33	1	1		
18	1,51	1,35	0,51	-0,59	-0,93	-2,44	-3,32	-3,35	-1,33	-0,98	0,33	1,44	1	1		
19	1,66	1,55	0,78	-0,31	-0,64	-2,19	-3,06	-2,96	-0,95	-0,87	0,54	1,61	1	1		
20	1,75	1,68	0,97	-0,03	-0,52	-1,67	-2,46	-2,54	-0,78	-0,81	0,72	1,76	1	1		
21	1,85	1,81	1,18	0,21	-0,39	-1,18	-1,97	-2,14	-0,71	-0,75	0,86	1,88	1	0		
22	1,94	1,95	1,38	0,43	-0,29	-0,74	-1,55	-1,79	-0,65	-0,65	1,00	1,99	1	0		
23	2,02	2,06	1,57	0,60	-0,24	-0,63	-1,24	-1,48	-0,60	-0,48	1,10	2,08	0	0		
24	2,13	2,18	1,72	0,76	-0,18	-0,55	-0,96	-1,19	-0,55	-0,34	1,19	2,16	0	0		
	81,82	81,11	67,59	31,00	-11,02	-28,38	-46,74	-47,92	-21,55	-0,96	47,03	80,73				

Tabella 20: Bilancio energetico mensile totale per l'edificio esempio a Napoli

23,08	22,68	17,74	6,24	-9,49	-21,85	-34,42	-34,72	-15,32	-2,51	12,35	22,80	kWh/giorno
715,42	635,04	549,97	0,00	-294,11	-655,46	-1066,99	-1076,47	-459,67	0,00	185,20	706,95	kWh/mese
	QH	2607,39	kWh/anno					QC	-3552,70	kWh/anno		
	EPci.inv	29,63	kWh/(m ² .anno)					Epce.inv	-40,37	kWh/(m ² .anno)		
	Af	88,00	m ²									
	Eta	0,74										
	EPci	40,04	kWh/(m ² .anno)									

Tabella 21: Calcolo degli indici di prestazione totali per l'edificio esempio a Napoli

4 Interfaccia per modalità di calcolo diretta

Allo scopo di verificare le routine di calcolo sia del modello *R5C1* originale che quello completo, sopra descritto, si è predisposto un opportuno foglio di calcolo in Excel. Nei paragrafi seguenti si presentano le modalità d'uso del foglio elettronico.

Nelle successiva figura si ha lo schema logico – funzionale del foglio di calcolo. Possiamo suddividere l'intero processo di calcolo in tre fasi:

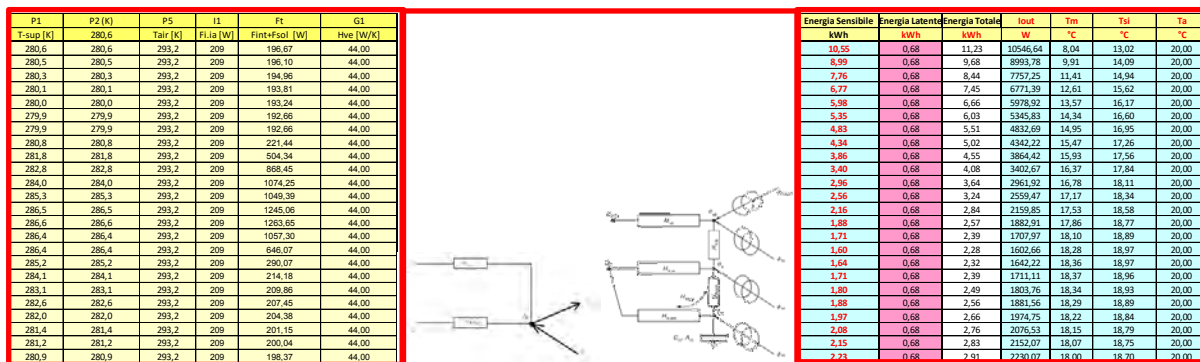


Figura 19: Schema logico funzionale del foglio di calcolo

- Fase di preparazione dei vettori di input;
- Fase di calcolo del modello *R5C1* completo;
- Fase di stampa e visualizzazione dei vettori di output.

Ciascuna delle tre fasi sarà descritta nei paragrafi seguenti. Le relazioni di calcolo sono in parte state descritte nella *Rapporto Tecnico del 2014* e parte nei precedenti capitoli per il calcolo del calore latente. Rispetto all'impostazione iniziale del modello *R5C1* con risoluzione oraria va ancora ricordato che il vettore di output è calcolato sequenzialmente, ora per ora, dal vettore di input e che l'unico legame logico fra i due vettori è il modello *R5C1* stesso.

4.1 Il foglio di calcolo

Le modalità diretta sono quelle indicate con *evoluzione libera*, *evoluzione con T_a imposta*, *evoluzione mista*. In queste modalità il flusso termico⁷ $F_{HC,nd}$ è sempre una grandezza calcolata in base alle ipotesi di funzionamento.

Il modello di calcolo attuale è stato implementato in modo prototipale ed è privo di interfaccia utente evoluta e pertanto occorre utilizzare alcune utility per poter utilizzare.

Si sono predisposte alcune routine di calcolo in *Excel*[®] che richiedono la preparazione dei dati di input separatamente, vedi Figura 20.

Si osservi che l'uso del foglio di calcolo qui proposto, se pur consente di avere i vantaggi tipici del foglio elettronico (interattività e velocità di soluzione), non consente di ottenere i vantaggi tipici di un programma elettronico ben strutturato.

⁷ Si ricorda che $F_{HC,nd}$ è il flusso di riscaldamento o raffrescamento *net delivered* e quindi di involucro. Nulla viene detto sul rendimento globale di impianto che dovrà essere calcolato separatamente dall'Utente per i bilanci globali di energia primaria.

Si vedrà, pertanto, che le i dati di input sono ridotti a poche righe e non consentono grandi diversificazioni delle strutture disperdenti. Le pareti e le aperture finestrate si considerano tutte omogenee per dato orientamento ma questo non è un limite del modello R5C1 ma solo dell'implementazione qui attuata del modello di calcolo.

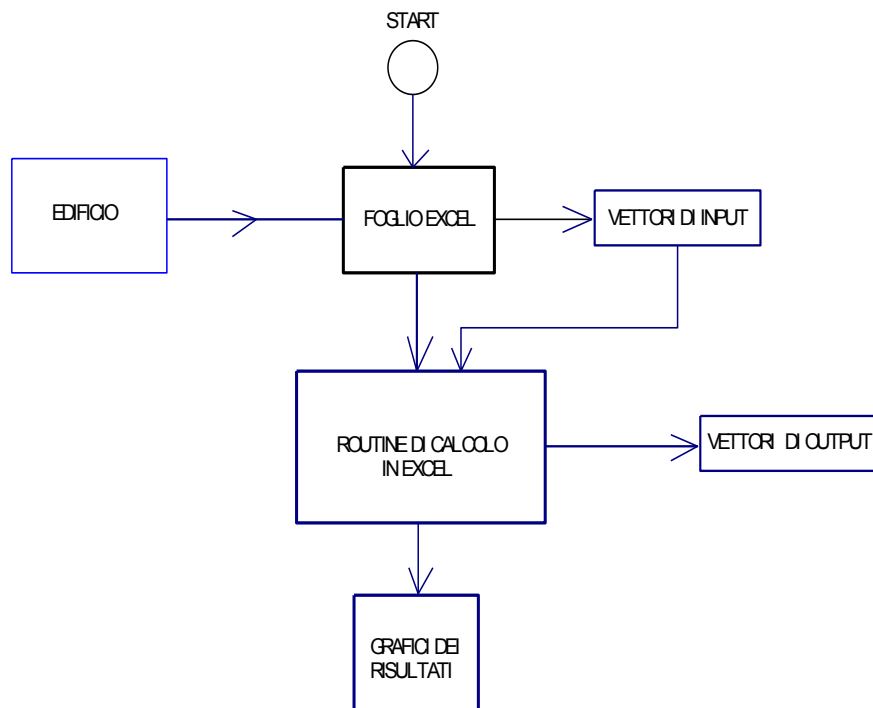


Figura 20: Organizzazione delle fasi di input e di calcolo

A questo scopo si è predisposto il foglio di calcolo in *Excel* che provvede a calcolare i valori delle conduttanze, della capacità termica C_m e i vettori di ingresso sopra specificati (I_1, T_{sup}, T_e).

Il foglio di calcolo appare come in Figura 21 nella sua interezza.

Esso può considerarsi suddiviso in quattro aree di calcolo ed una di visualizzazione grafica, come visualizzato in Figura 22, per la prima area, in Figura 23, per la seconda area, e così via per la terza area per la parte quarta relativa ai risultati di calcolo.

Alcuni dati relativi al calcolo dei vettori di ingresso sono illustrati nel metodo di calcolo per evoluzione libera, vedi più avanti. In ogni caso nella seconda area del foglio di calcolo sono presenti i dati delle forzanti esterne ($T_{sup}, T_e, I_{sol}, \dots$).

Le temperature esterne, l'irraggiamento solare e i valori dell'umidità esterna con passo orario sono desunte dal data base IGDG per Roma, vedi figure seguenti e Figura 24. Si ricordi che possono utilizzarsi anche altri data base purché riportino le grandezze indicate nel foglio di calcolo⁸.

Il foglio di calcolo consente di visualizzare anche in forma grafica i risultati vettoriali ottenuti, come illustrato in Figura 25.

Ciascuna zona e ciascuna fase dell'input verrà discussa in dettaglio nel prosieguo.

⁸ E' possibile anche utilizzare data base meno estesi dell'IDGW ed effettuare operazioni di detrending orario della radiazione solare e della temperatura esterna. Tuttavia questo metodo non funziona per l'andamento orario dell'umidità esterna.

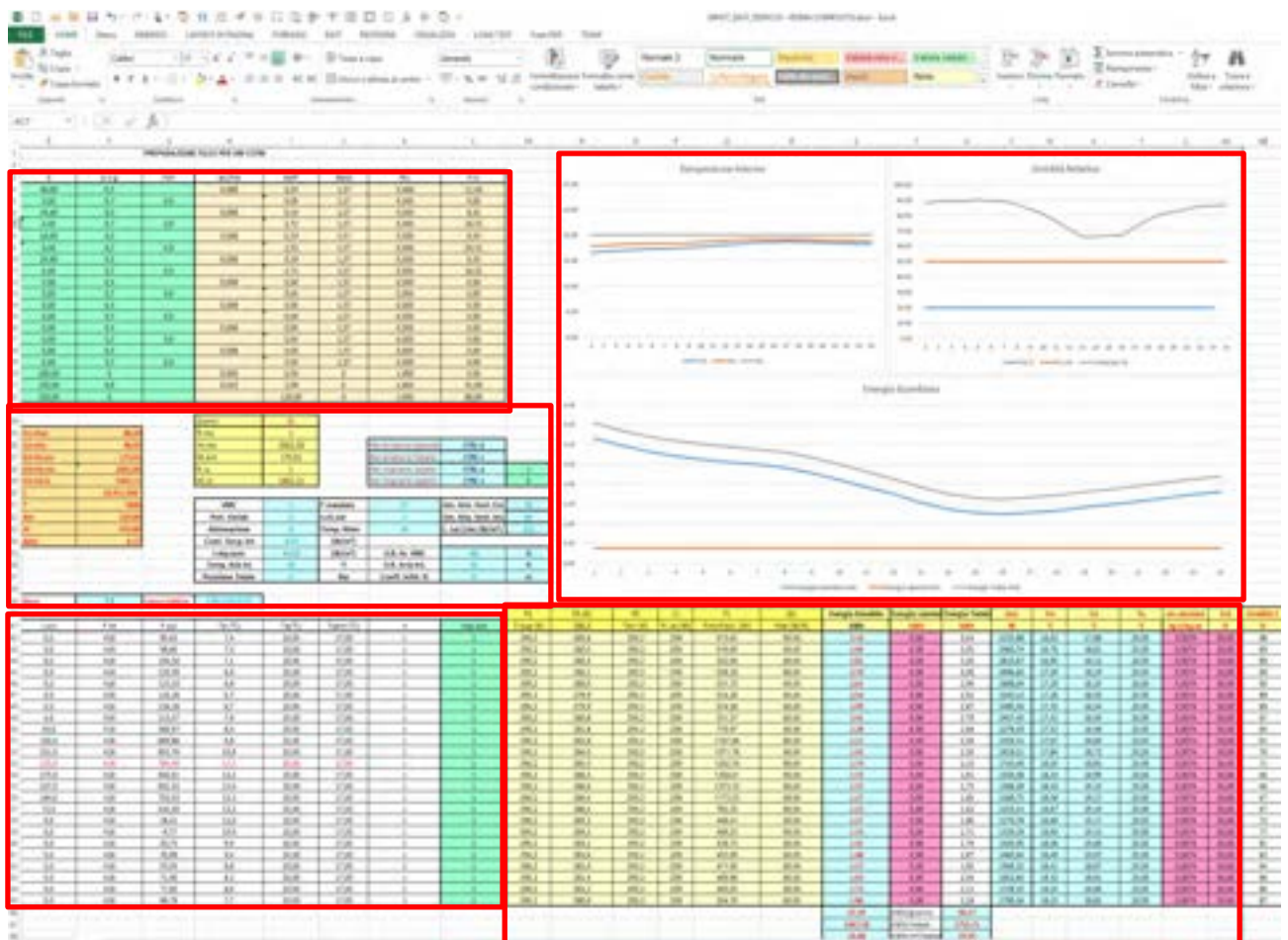


Figura 21: Foglio Excel per il metodo R5C1 – Vista globale

PREPARAZIONE FILES PER UNI 13790										
Parete	U	b.tr	S	a o g	Fsh	aU/he	Aeff	Beta	fkc	H.tr
Nord	0,38	1	30,00	0,5		0,008	0,23	1,57	0,500	11,40
Finestra	3,02	1	0,00	0,7	0,9		0,00	1,57	0,500	0,00
Sud	0,38	1	24,60	0,5		0,008	0,19	1,57	0,500	9,35
Finestra	3,02	1	5,40	0,7	0,9		2,72	1,57	0,500	16,31
Est	0,38	1	24,60	0,5		0,008	0,19	1,57	0,500	9,35
Finestra	3,02	1	5,40	0,7	0,9		2,72	1,57	0,500	16,31
Ovest	0,38	1	24,60	0,5		0,008	0,19	1,57	0,500	9,35
Finestra	3,02	1	5,40	0,7	0,9		2,72	1,57	0,500	16,31
Nord Est	0,38	1	0,00	0,5		0,008	0,00	1,57	0,500	0,00
Finestra	3,02	1	0,00	0,7	0,9		0,00	1,57	0,500	0,00
Nord Ovest	0,38	1	0,00	0,5		0,008	0,00	1,57	0,500	0,00
Finestra	3,02	1	0,00	0,7	0,9		0,00	1,57	0,500	0,00
Sud Est	0,38	1	0,00	0,5		0,008	0,00	1,57	0,500	0,00
Finestra	3,02	1	0,00	0,7	0,9		0,00	1,57	0,500	0,00
Sud Ovest	0,38	1	0,00	0,5		0,008	0,00	1,57	0,500	0,00
Finestra	3,02	1	0,00	0,7	0,9		0,00	1,57	0,500	0,00
Pavimento	0,41	0	100,00	0		0,000	0,00	0	1,000	0,00
Soffitto	0,31	1	100,00	0,6		0,023	2,09	0	1,000	31,00
Pareti Int.	0,74	0	120,00	0			120,00	0	1,000	88,80

Figura 22: Foglio di calcolo Excel – Prima Parte per l'input dei dati relativi all'involucro

H.altezza	3			Giorni	31					
n.ricambi/h	0,5			ft.ms	1	40				
Htot	119,37	G1=Hve	88,00	Ht,ms	2002,00	40	Per bilancio Sensibile	CTRL b		
Hw	48,92	G2=Hw	48,92	Ht,em	173,01		Per bilancio Totale	CTRL t		
Hpar	70,44	G3=ht,em	173,01	ft.is	1		Per impianti accesi	CTRL a	1	
Htr.op	159,24	G4=Ht,ms	2002,00	Ht.is	1462,11		Per Impianti spenti	CTRL s	0	
Sw	16,20	G5=Ht,is	1462,11							
Af	88,00	C	16.952.000	VMC	1	T mandata	17	Um. Aria. Vent. Est	70	
At	423,80	T	3600	Port. Variab	1	n.ric.var	1	Um. Aria. Vent. Inv	40	
Askv	6,57	Am	220,00	Attenuazione	0	Temp. Atten	16	C. Lat.S.Int (W/m²)	2,8	
Hve	88	At	423,80	Coef. Sorg. Int	4,75	[W/m²]				
Am	220	Askv	6,57	I-sky.nom	44,55	[W/m²]		U.R. Ar. VMC	40	%
				Temp. Aria Int	20	°C		U.R. Aria Int.	50	%
				Pressione Totale	1	Bar		Coeff. Infil. fl.	0	m
						12,000				
Località	ROMA	D	Mese	12	Classe Edificio	CALCOLATO				

Figura 23: Foglio di calcolo in Excel – Seconda Parte per il calcolo delle trasmittanze e per le ipotesi di calcolo

Ora	Tsky	hr	I-sky	I.sol	F.int	F.sol	Te (°C)	Ta(°C)	Tvent (°C)	n	Imp-Avv
1	10,58	4,58	-14,56	0,0	418	95,65	7,4	20,00	17,00	1	1
2	10,58	4,57	-15,01	0,0	418	98,60	7,3	20,00	17,00	1	1
3	10,58	4,57	-15,91	0,0	418	104,50	7,1	20,00	17,00	1	1
4	10,58	4,57	-16,80	0,0	418	110,39	6,9	20,00	17,00	1	1
5	10,58	4,56	-17,25	0,0	418	113,33	6,8	20,00	17,00	1	1
6	10,58	4,56	-17,70	0,0	418	116,26	6,7	20,00	17,00	1	1
7	10,58	4,56	-17,70	0,0	418	116,26	6,7	20,00	17,00	1	1
8	10,58	4,58	-13,66	4,0	418	113,37	7,6	20,00	17,00	1	1
9	10,58	4,61	-9,12	59,0	418	360,97	8,6	20,00	17,00	1	1
10	10,58	4,63	-4,54	150,0	418	689,86	9,6	20,00	17,00	1	1
11	10,58	4,66	1,02	231,0	418	853,76	10,8	20,00	17,00	1	1
12	10,58	4,69	7,13	275,0	418	784,34	12,1	20,00	17,00	1	1
13	10,58	4,72	12,84	275,0	418	940,01	13,3	20,00	17,00	1	1
14	10,58	4,72	13,32	237,0	418	955,33	13,4	20,00	17,00	1	1
15	10,58	4,72	12,36	164,0	418	755,53	13,2	20,00	17,00	1	1
16	10,58	4,72	12,36	72,0	418	344,30	13,2	20,00	17,00	1	1
17	10,58	4,69	6,66	9,0	418	28,41	12,0	20,00	17,00	1	1
18	10,58	4,66	1,49	0,0	418	-9,77	10,9	20,00	17,00	1	1
19	10,58	4,64	-3,16	0,0	418	20,75	9,9	20,00	17,00	1	1
20	10,58	4,63	-5,46	0,0	418	35,89	9,4	20,00	17,00	1	1
21	10,58	4,61	-8,21	0,0	418	53,95	8,8	20,00	17,00	1	1
22	10,58	4,60	-10,94	0,0	418	71,90	8,2	20,00	17,00	1	1
23	10,58	4,59	-11,85	0,0	418	77,85	8,0	20,00	17,00	1	1
24	10,58	4,58	-13,21	0,0	418	86,76	7,7	20,00	17,00	1	1

Tabella 22: Foglio di calcolo in Excel – Terza Parte per il calcolo dei vettori di input

I calcoli del modello R5C1 sono sviluppati secondo gli algoritmi già indicati nella Relazione del 2015. Essi sono riportati a partire dalla colonna AY fino alla colonna BK, a destra del foglio di calcolo, come dimostrato nella seguente tabella.

P3	P4	P5	Iout	I2	I3	A	B	C1	D	L	G
282,5	K	K	W	[W]	46,33653632			10,00	0,95	0,000029	0,007721
282,96	286,96	293,15	20727,25	-109,033778	-151,293589	0,000000	0,000000	123,854055	0,576432	0,000081	0,023413
284,59	287,89	293,15	17727,20	-111,252133	-154,371745	0,000000	0,000000	123,845326	0,576432	0,000081	0,023405
285,80	288,58	293,15	15534,37	-113,531648	-157,534764	0,000000	0,000000	123,836590	0,576432	0,000081	0,023397
286,68	289,08	293,15	13919,12	-115,081583	-159,685430	0,000000	0,000000	123,830762	0,576432	0,000081	0,023391
287,33	289,45	293,15	12746,34	-116,653151	-161,866113	0,000000	0,000000	123,824931	0,576432	0,000081	0,023386
287,79	289,71	293,15	11934,92	-119,046296	-165,186804	0,000000	0,000000	123,816181	0,576432	0,000081	0,023378
288,12	289,89	293,15	11386,47	-121,475941	-168,558143	0,000000	0,000000	123,807427	0,576432	0,000081	0,023370
288,41	290,10	293,15	10598,99	-10,491121	-14,557317	0,000000	0,000000	123,849127	0,576432	0,000081	0,023403
288,79	290,41	293,15	9399,28	374,288029	519,356298	0,000000	0,000000	123,943878	0,576432	0,000081	0,023469
289,31	290,83	293,15	7821,54	808,128704	1121,346931	0,000000	0,000000	124,058697	0,576432	0,000081	0,023552
289,92	291,26	293,15	6251,87	1168,880333	1621,920330	0,000000	0,000000	124,144885	0,576432	0,000081	0,023612
290,53	291,67	293,15	4780,78	1349,044828	1871,913805	0,000000	0,000000	124,203462	0,576432	0,000081	0,023657
291,10	292,03	293,15	3501,89	1298,800187	1802,195116	0,000000	0,000000	124,231184	0,576432	0,000081	0,023686
291,57	292,30	293,15	2582,57	1241,018921	1722,018722	0,000000	0,000000	124,232613	0,576432	0,000081	0,023690
291,89	292,45	293,15	2122,74	1020,752396	1416,380287	0,000000	0,000000	124,197353	0,576432	0,000081	0,023670
292,03	292,47	293,15	2152,30	618,721817	858,528854	0,000000	0,000000	124,128699	0,576432	0,000081	0,023628
291,99	292,35	293,15	2619,18	88,271655	122,484388	0,000000	0,000000	124,038781	0,576432	0,000081	0,023574
291,82	292,19	293,15	3254,48	-88,393008	-122,652775	0,000000	0,000000	123,983450	0,576432	0,000081	0,023533
291,56	292,00	293,15	4031,39	-91,920004	-127,546781	0,000000	0,000000	123,940726	0,576432	0,000081	0,023493
291,28	291,82	293,15	4717,99	-95,368805	-132,332283	0,000000	0,000000	123,917749	0,576432	0,000081	0,023472
291,01	291,65	293,15	5309,81	-97,989994	-135,969405	0,000000	0,000000	123,903332	0,576432	0,000081	0,023458
290,78	291,51	293,15	5798,33	-99,715874	-138,364209	0,000000	0,000000	123,894663	0,576432	0,000081	0,023450
290,58	291,38	293,15	6283,95	-102,822207	-142,674510	0,000000	0,000000	123,880187	0,576432	0,000081	0,023437
290,38	291,25	293,15	6750,48	-106,184280	-147,339670	0,000000	0,000000	123,865680	0,576432	0,000081	0,023424
			0,00	0,000000	0,000000			0,000000	0,576432	0,000081	0,000000

Tabella 23: Tabella con gli sviluppi di calcolo del modello R5C1 completo

P1	P2 (K)	P5	I1	Ft	G1	Energia Sensibile	Energia Latente	Energia Totale
T-sup [K]	290,2	Tair [K]	Fi.ia [W]	Fint+Fsol [W]	Hve [W/K]	kWh	kWh	kWh
290,2	280,6	293,2	209	513,65	88,00	3,16	0,38	3,54
290,2	280,5	293,2	209	516,60	88,00	2,96	0,38	3,35
290,2	280,3	293,2	209	522,50	88,00	2,81	0,38	3,20
290,2	280,1	293,2	209	528,39	88,00	2,70	0,38	3,08
290,2	280,0	293,2	209	531,33	88,00	2,61	0,38	2,99
290,2	279,9	293,2	209	534,26	88,00	2,54	0,38	2,92
290,2	279,9	293,2	209	534,26	88,00	2,49	0,38	2,87
290,2	280,8	293,2	209	531,37	88,00	2,41	0,38	2,79
290,2	281,8	293,2	209	778,97	88,00	2,28	0,38	2,66
290,2	282,8	293,2	209	1107,86	88,00	2,11	0,38	2,49
290,2	284,0	293,2	209	1271,76	88,00	1,92	0,38	2,30
290,2	285,3	293,2	209	1202,34	88,00	1,74	0,38	2,13
290,2	286,5	293,2	209	1358,01	88,00	1,53	0,38	1,91
290,2	286,6	293,2	209	1373,33	88,00	1,37	0,38	1,75
290,2	286,4	293,2	209	1173,53	88,00	1,27	0,38	1,65
290,2	286,4	293,2	209	762,30	88,00	1,23	0,38	1,62
290,2	285,2	293,2	209	446,41	88,00	1,27	0,38	1,66
290,2	284,1	293,2	209	408,23	88,00	1,33	0,38	1,71
290,2	283,1	293,2	209	438,75	88,00	1,41	0,38	1,79
290,2	282,6	293,2	209	453,89	88,00	1,48	0,38	1,87
290,2	282,0	293,2	209	471,95	88,00	1,57	0,38	1,95
290,2	281,4	293,2	209	489,90	88,00	1,65	0,38	2,04
290,2	281,2	293,2	209	495,85	88,00	1,73	0,38	2,11
290,2	280,9	293,2	209	504,76	88,00	1,80	0,38	2,18
						47,34	kWh/giorno	56,57
						1467,58	kWh/mese	1753,71
						16,68	kWh/m ² /me	19,93

Tabella 24: Foglio di calcolo in Excel – Quarta Parte – Visualizzazione dei vettori di output

lout	Tm	Tsi	Ta	xA calcolata	fi.A
W	°C	°C	°C	kg.v/kg.as	%
3155,68	16,53	17,88	20,00	0,0074	50,00
2960,74	16,76	18,01	20,00	0,0074	50,00
2810,67	16,95	18,12	20,00	0,0074	50,00
2696,60	17,09	18,19	20,00	0,0074	50,00
2608,04	17,20	18,25	20,00	0,0074	50,00
2540,13	17,28	18,30	20,00	0,0074	50,00
2485,39	17,35	18,34	20,00	0,0074	50,00
2407,40	17,42	18,39	20,00	0,0074	50,00
2276,59	17,52	18,48	20,00	0,0074	50,00
2105,41	17,67	18,60	20,00	0,0074	50,00
1919,51	17,84	18,72	20,00	0,0074	50,00
1740,49	18,03	18,85	20,00	0,0074	50,00
1530,38	18,24	18,99	20,00	0,0074	50,00
1366,28	18,43	19,10	20,00	0,0074	50,00
1268,75	18,58	19,17	20,00	0,0074	50,00
1233,14	18,67	19,19	20,00	0,0074	50,00
1270,78	18,69	19,17	20,00	0,0074	50,00
1329,29	18,65	19,13	20,00	0,0074	50,00
1405,90	18,58	19,08	20,00	0,0074	50,00
1483,64	18,49	19,02	20,00	0,0074	50,00
1566,22	18,41	18,97	20,00	0,0074	50,00
1652,60	18,32	18,91	20,00	0,0074	50,00
1728,33	18,23	18,86	20,00	0,0074	50,00
1799,34	18,15	18,81	20,00	0,0074	50,00

Tabella 25: Foglio di calcolo in Excel – Quarta Parte – Visualizzazione dei vettori di output

Temperature medio giornaliere mensili a Roma												
Time	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01- 1:00	7,00	6,20	8,50	10,50	13,90	18,00	21,90	21,70	19,20	14,60	11,10	7,4
1:01- 2:00	6,90	6,10	8,00	10,30	13,60	17,30	21,30	21,10	19,00	14,40	11,00	7,3
2:01- 3:00	6,70	5,90	7,60	10,00	13,20	16,70	20,80	20,50	18,70	14,20	10,80	7,1
3:01- 4:00	6,70	5,60	7,30	9,80	12,90	16,20	20,30	19,90	18,50	14,00	10,70	6,9
4:01- 5:00	6,40	5,60	7,40	9,90	13,50	17,00	20,40	20,30	18,30	13,90	10,50	6,8
5:01- 6:00	6,20	5,50	7,40	9,90	14,20	17,90	20,80	20,70	18,20	13,90	10,40	6,7
6:01- 7:00	6,10	5,50	7,10	10,10	14,90	18,90	21,40	20,90	18,10	13,80	10,30	6,7
7:01- 8:00	6,40	6,70	8,50	11,90	16,80	20,80	23,40	23,20	19,90	15,30	11,20	7,6
8:01- 9:00	6,90	7,90	10,00	13,70	18,70	22,40	25,30	25,30	21,70	16,80	12,30	8,6
9:01-10:00	7,80	9,10	11,60	15,50	20,60	24,00	27,00	27,50	23,60	18,30	13,30	9,6
10:01-11:00	8,80	10,60	12,60	15,90	20,80	24,40	27,10	27,80	24,10	19,20	14,20	10,8
11:01-12:00	9,90	12,10	13,50	16,40	21,10	24,80	27,30	28,20	24,50	20,20	15,10	12,1
12:01-13:00	10,90	13,60	14,30	16,80	21,50	25,20	27,50	28,60	24,80	21,10	16,10	13,3
13:01-14:00	11,00	13,40	14,20	16,80	21,40	25,10	27,30	28,30	24,80	20,80	16,10	13,4
14:01-15:00	11,10	13,20	14,00	16,70	21,30	25,00	27,10	28,10	24,70	20,50	15,90	13,2
15:01-16:00	11,10	13,30	14,00	16,60	21,20	24,90	26,80	27,80	24,60	20,60	15,80	13,2
16:01-17:00	10,40	12,30	13,30	15,90	20,50	24,20	26,40	27,00	23,80	19,60	15,00	12
17:01-18:00	9,80	11,40	12,50	15,20	19,90	23,40	26,00	26,20	23,10	18,70	14,20	10,9
18:01-19:00	9,10	10,50	11,80	14,50	19,10	22,90	25,50	25,50	22,30	17,70	13,40	9,9
19:01-20:00	8,60	9,80	11,30	13,70	18,30	21,80	24,70	24,80	21,90	17,10	13,00	9,4
20:01-21:00	8,30	9,20	10,80	13,00	17,50	20,90	24,00	24,20	21,50	16,50	12,50	8,8
21:01-22:00	7,90	8,30	10,20	12,20	16,60	19,90	23,30	23,50	21,00	16,00	12,00	8,2
22:01-23:00	7,60	7,70	9,70	11,70	15,80	19,30	22,90	22,90	20,40	15,50	11,60	8
23:01-24:00	7,10	7,10	9,10	11,10	14,90	18,70	22,40	22,30	19,70	15,10	11,20	7,7

Tabella 26: Dati orari della temperatura esterna per ROMA – IGDG

Time	Hourly Statistics for Global Horizontal Solar Radiation Wh/m ²											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01- 1:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
1:01- 2:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
2:01- 3:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
3:01- 4:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
4:01- 5:00	-	-	-	-	-	2,00	-	-	-	-	-	0
5:01- 6:00	-	-	-	5,00	26,00	36,00	25,00	7,00	1,00	-	-	0
6:01- 7:00	-	-	11,00	66,00	136,00	151,00	138,00	78,00	34,00	8,00	-	0
7:01- 8:00	3,00	18,00	102,00	203,00	292,00	313,00	308,00	233,00	170,00	85,00	25,00	4
8:01- 9:00	55,00	118,00	241,00	348,00	444,00	475,00	483,00	412,00	329,00	210,00	118,00	59
9:01-10:00	150,00	239,00	365,00	468,00	567,00	608,00	632,00	569,00	458,00	320,00	207,00	150
10:01-11:00	233,00	337,00	463,00	558,00	658,00	716,00	751,00	688,00	562,00	400,00	286,00	231
11:01-12:00	282,00	395,00	514,00	605,00	700,00	775,00	819,00	754,00	615,00	440,00	329,00	275
12:01-13:00	290,00	405,00	518,00	602,00	705,00	778,00	827,00	761,00	612,00	433,00	331,00	275
13:01-14:00	266,00	389,00	496,00	572,00	664,00	729,00	799,00	719,00	573,00	392,00	287,00	237
14:01-15:00	204,00	326,00	428,00	494,00	578,00	631,00	713,00	619,00	482,00	309,00	206,00	164
15:01-16:00	114,00	222,00	320,00	382,00	456,00	495,00	576,00	473,00	348,00	195,00	102,00	72
16:01-17:00	27,00	102,00	188,00	246,00	319,00	356,00	412,00	309,00	199,00	74,00	17,00	9
17:01-18:00	-	13,00	56,00	108,00	170,00	199,00	233,00	143,00	58,00	6,00	-	0
18:01-19:00	-	-	2,00	13,00	45,00	65,00	79,00	28,00	3,00	-	-	0
19:01-20:00	-	-	-	-	2,00	7,00	8,00	1,00	-	-	-	0
20:01-21:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
21:01-22:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
22:01-23:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
23:01-24:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

Tabella 27: Dati orari dell'irraggiamento solare totale esterna per ROMA – IGDG

Hour	Average Hourly Relative Humidity %											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01- 1:00	81	88	89	87	88	87	91	86	87	87	86	88
1:01- 2:00	82	88	89	87	88	87	92	87	87	87	86	89
2:01- 3:00	83	88	89	87	89	88	91	87	87	87	86	89
3:01- 4:00	84	88	89	87	88	88	91	87	87	87	86	89
4:01- 5:00	84	88	88	87	87	86	87	85	87	86	86	90
5:01- 6:00	84	88	88	87	85	83	84	83	86	86	86	89
6:01- 7:00	83	88	88	87	82	80	81	82	85	85	85	89
7:01- 8:00	82	85	85	79	75	73	72	71	78	80	82	87
8:01- 9:00	80	83	82	72	68	67	65	63	71	75	79	84
9:01-10:00	77	80	78	66	62	62	60	56	65	70	75	81
10:01-11:00	75	76	74	65	63	62	63	57	64	69	72	76
11:01-12:00	71	72	72	64	62	62	65	57	64	66	69	71
12:01-13:00	69	68	71	63	62	62	66	58	65	64	65	66
13:01-14:00	67	70	71	63	63	64	66	60	65	65	65	66
14:01-15:00	67	71	71	64	63	66	67	62	66	66	66	67
15:01-16:00	68	71	72	64	64	68	70	64	66	66	68	67
16:01-17:00	69	74	75	67	67	71	72	68	69	70	70	72
17:01-18:00	70	77	78	71	71	74	74	72	73	74	73	77
18:01-19:00	73	80	81	76	75	77	77	76	77	79	76	81
19:01-20:00	74	82	82	79	78	79	81	79	79	80	78	82
20:01-21:00	75	84	84	82	81	82	85	81	80	82	80	84
21:01-22:00	76	86	85	85	84	84	89	83	81	83	83	86
22:01-23:00	77	87	87	86	86	85	90	84	83	84	84	86
23:01-24:00	79	87	88	86	87	86	91	85	85	85	85	87

Tabella 28: Dati orari dell'umidità relativa esterna per ROMA – IGDG

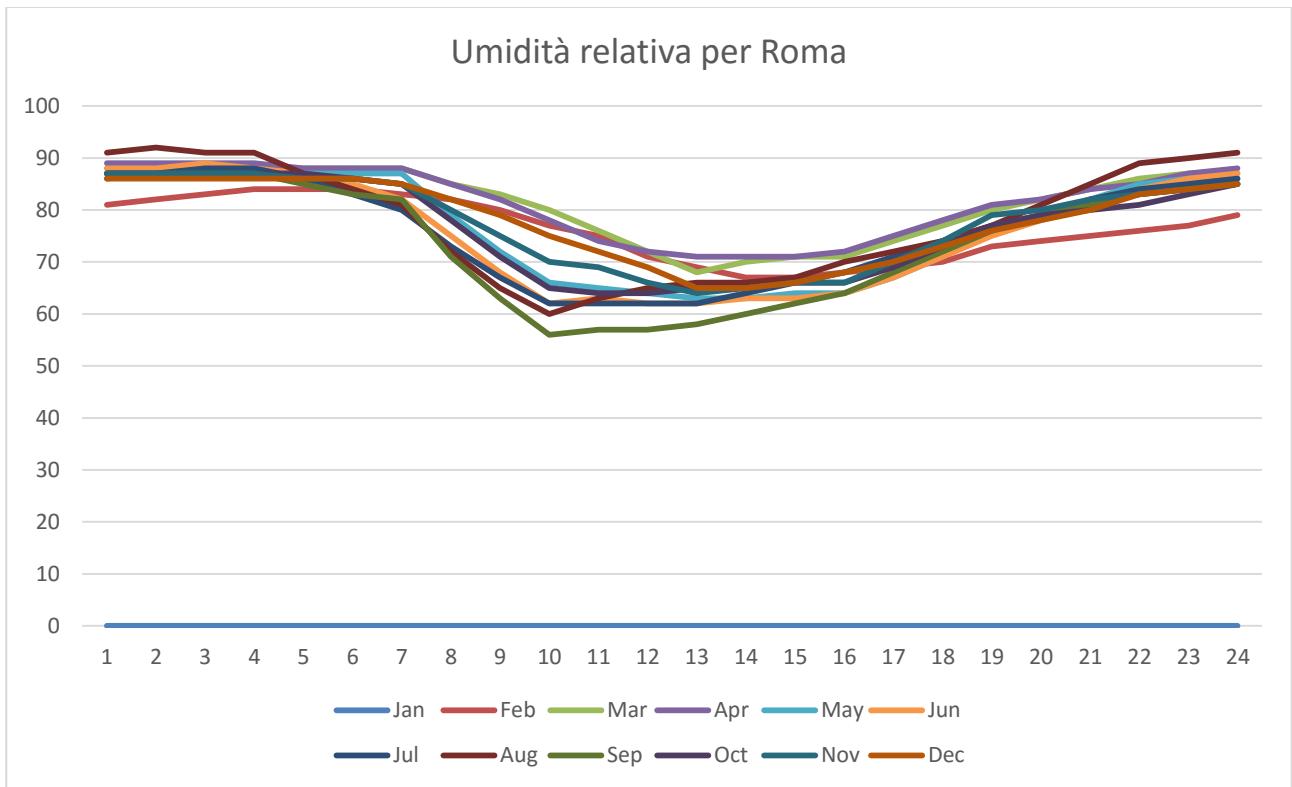


Figura 24: Dati orari dell'umidità relativa esterna per ROMA – IGDG

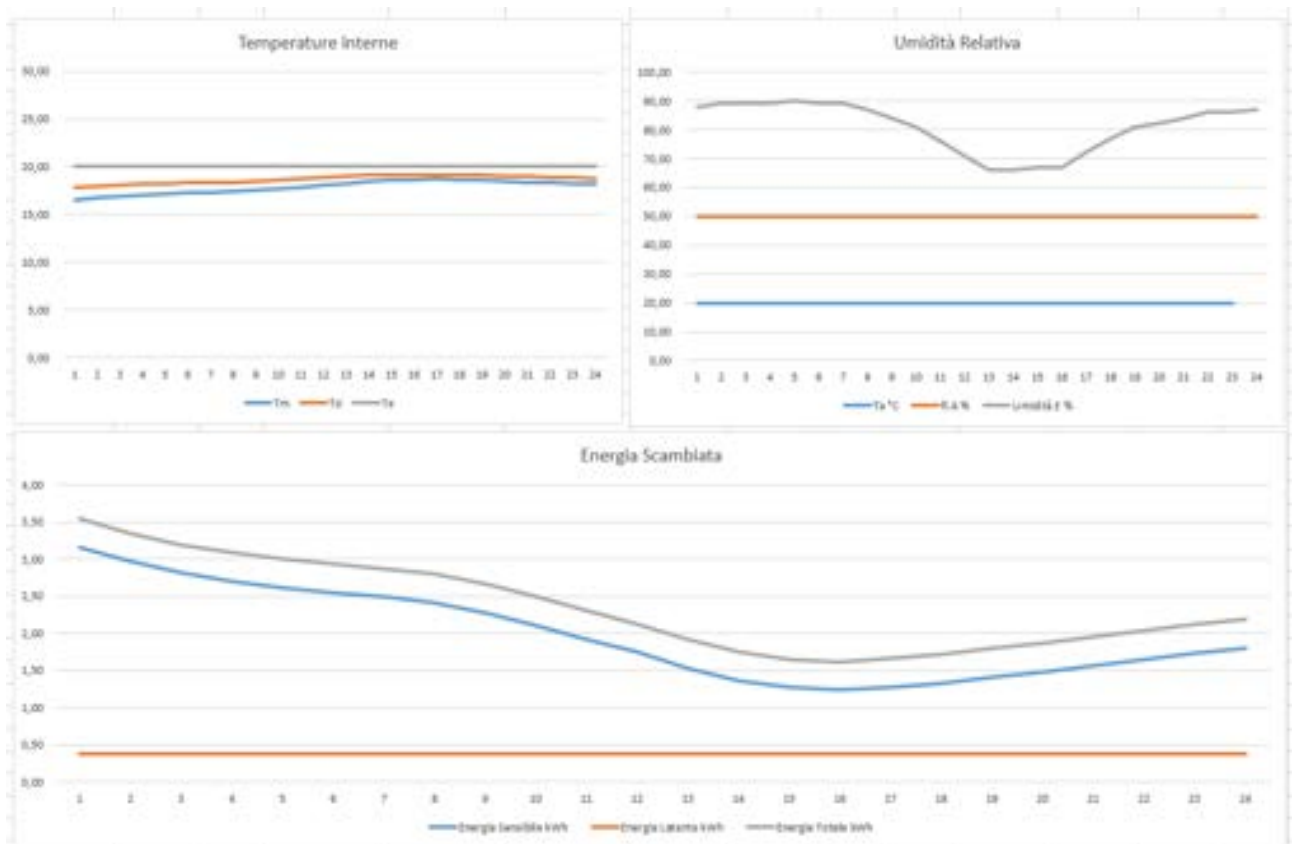


Figura 25: Visualizzazione in forma grafica dei risultati ottenuti

4.2 Calcolo delle Conduttanze e della capacità termica

Si consideri un edificio⁹ con quattro ambienti, Figura 26, formato da quattro ambienti identici in dimensioni (5 x 5 x 3 m) e i cui dati termofisici sono nel foglio di calcolo di Figura 22.

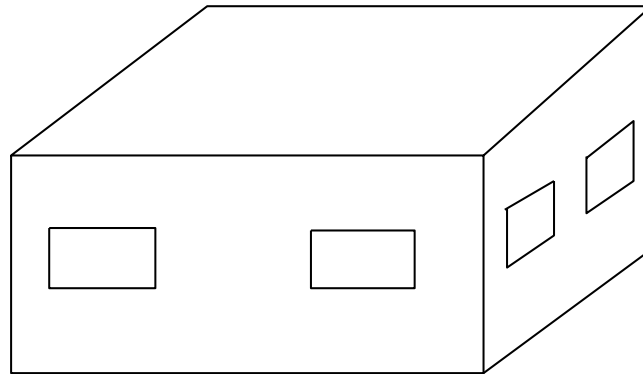


Figura 26: Edificio con quattro ambienti

La prima parte del foglio, Figura 22, richiede nella finestra principale i dati dimensionali delle pareti (superfici nette) e delle finestre, suddividendoli per le varie esposizioni.

Si richiedono anche i fattori¹⁰ b_{tr} , le trasmittanze U_j , il valore del fattore di assorbimento a o della fattore di trasmissione solare g per potere poi calcolare il rapporto aU/h_e e per il calcolo dell'area efficace, A_{eff} , per l'irraggiamento solare. I dati di input sono colorati in verde mentre quelli di output in marrone o in giallo.

Parete	U	b.tr	S	a o g	Fsh
Nord	0,38	1	30,00	0,5	
Finestra	3,02	1	0,00	0,7	0,9
Sud	0,38	1	24,60	0,5	
Finestra	3,02	1	5,40	0,7	0,9
Est	0,38	1	24,60	0,5	
Finestra	3,02	1	5,40	0,7	0,9
Ovest	0,38	1	24,60	0,5	
Finestra	3,02	1	5,40	0,7	0,9
Nord Est	0,38	1	0,00	0,5	
Finestra	3,02	1	0,00	0,7	0,9
Nord Ovest	0,38	1	0,00	0,5	
Finestra	3,02	1	0,00	0,7	0,9
Sud Est	0,38	1	0,00	0,5	
Finestra	3,02	1	0,00	0,7	0,9
Sud Ovest	0,38	1	0,00	0,5	
Finestra	3,02	1	0,00	0,7	0,9
Pavimento	0,41	0	100,00	0	
Soffitto	0,31	1	100,00	0,6	
Pareti Int.	0,74	0	120,00	0	

Tabella 29: Zona in verde per i dati di input dell'involucro dell'edificio

⁹ Inizialmente si sono considerati edifici molto semplici per poter effettuare anche un controllo manuale dei vari passi di calcolo. Nei successivi capitoli si prenderanno in considerazione edifici complessi realmente costruiti.

¹⁰ In questo caso questo fattore serve ad includere o escludere il componente dal calcolo.

4.2.1 Input dei dati geometrici e termofisici di involucro

Nella prima zona del foglio di calcolo è possibile inserire i dati geometrici e termofisici dei componenti dell'involucro. Considerata la natura dimostrativa del foglio di calcolo, si tratta di un input essenziale e volutamente semplice per fornire al modello i dati necessari per il calcolo delle trasmittanze termiche. Il foglio di calcolo prevede un input unico per l'intero edificio ed ha predisposte le righe per i componenti pareti e finestre nei vari orientamenti.

Occorre fornire le dimensioni totali delle varie pareti, **depurate** dalle superfici delle finestre che ad esse fanno capo. E' utile la possibilità di digitare l'input dei valori mediante formule, tipico di Excel.

Le trasmittanze possono essere calcolate manualmente o con altri programmi specifici. Il foglio di calcolo desidera il valore finale sul quale non effettua alcun controllo di congruità.

Si osservi che è importante definire la superficie delle pareti interne (doppia faccia per tenere conto di tutti gli ambienti interni) perché questa interviene negli scambi radiativi con le sorgenti interne e la radiazione solare.

Le colonne dei dati hanno il seguente significato:

- **U** trasmittanza termica del componente, W/(m².K). Questo valore deve essere calcolato separatamente dall'Utente secondo le norme vigenti;
- **b.tr** è il fattore di partecipazione previsto dalla UN EN 13790 per il metodo statico. In questo caso è utilizzato come selettore: assume il valore 1 se l'elemento partecipa al calcolo R5C1, 0 se non partecipa (come, ad esempio, il pavimento);
- **S** è la superficie utile totale dell'elemento, m². Nel caso di aperture è la superficie proiettata sul piano verticale degli infissi per l'orientamento considerato, nel caso di parete è la superficie netta depurata dalla superficie degli infissi;
- **a o g** è il fattore di assorbimento solare (lunghezza d'onda corta, < 3 μm) per le pareti opache mentre è il fatto g (trasmittanza solare globale) per le superfici trasparenti;
- **F_{sh}** fattore di shading per il componente considerato (vedi norma UNI EN 13790).

Si osservi che la sezione di input dei dati geometrici e di involucro è necessariamente limitata a poche righe. In pratica si ha una riga per le pareti ed una per le finestre per ciascuna esposizione. Ai fini della preparazione dei valori delle trasmittanze, come indicato nei precedenti paragrafi, il programma effettua un prodotto fra le varie colonne interessate. Il valore di H.tr, in particolare, per ciascuna riga, è ottenuto moltiplicando i dati delle colonne *U*, *b.tr* ed *S*. Ne consegue che se l'ipotesi di modello omogeneo¹¹ non è perseguibile allora si hanno due possibilità operative:

- Si calcola la *trasmittanza media delle pareti*, per data esposizione, con la relazione:

$$U_{medio.pareti} = \frac{\sum_{pareti} U_i \cdot S_i}{\sum_{pareti} S_i}$$

Analogamente per le finestre si calcola la trasmittanza media con la relazione:

$$U_{medio.finestre} = \frac{\sum_{finestre} U_i \cdot S_i}{\sum_{finestre} S_i}$$

Si digita la superficie netta, *S*, delle pareti o delle finestre, sempre per l'esposizione considerata.

- Si digita **1** nella colonna *U* e, sfruttando l'interattività di Excel, si digita nella colonna della superficie, *S*, la somma dei prodotti *U_i · S_i* di ciascuna parete (o finestra) per dato orientamento. Questo metodo consente, fra l'altro, di considerare anche i ponti termici sia per le pareti che per le finestre. In questo

¹¹ Si è detto che il foglio di calcolo fa riferimento ad un *modello omogeneo* dell'edificio nel quale tutte le pareti e le finestre di un orientamento hanno valori comuni delle trasmittanze termiche, *U*.

caso basta aggiungere alla somma $U_i S_i$ di ciascuna parete (o finestra) i prodotti $\sum_{\text{ponti termici}} \psi_i \cdot l_i$ dei ponti termici che si desidera considerare.

Il foglio di calcolo visualizza a destra della prima zona, in colore marrone, i risultati di calcolo:

- **aU/h_e** aliquota della radiazione solare;
- **A_{eff}** area effettiva, m²;
- **Beta** angolo formato rispetto al piano orizzontale, necessario per il calcolo del fattore di vista;
- **F_{kc}** fattore di vista del componente $(\frac{1 + \cos \beta}{2})$;
- **H.tr** trasmittanza globale per il componente considerato, W/K.

Sono questi i valori che sono utilizzati per calcolare i parametri di ingresso del foglio di calcolo R5C1, vedi tabella seguente:

aU/he	A _{eff}	Beta	f _{kc}	H.tr
0,027	11,02	1,57	0,500	459,11
	30,99	1,57	0,500	172,51
0,023	8,34	1,57	0,500	416,85
	43,38	1,57	0,500	241,43
0,023	14,05	1,57	0,500	702,36
	191,04	1,57	0,500	1063,35
0,023	16,29	1,57	0,500	814,56
	135,14	1,57	0,500	752,20
0,023	0,00	1,57	0,500	0,00
	0,00	1,57	0,500	0,00
0,023	0,00	1,57	0,500	0,00
	0,00	1,57	0,500	0,00
0,023	0,00	1,57	0,500	0,00
	0,00	1,57	0,500	0,00
0,023	0,00	1,57	0,500	0,00
	0,00	1,57	0,500	0,00
0,000	0,00	0	1,000	0,00
0,124	225,20	0	1,000	3336,30
	806,00	0	1,000	1209,00

Tabella 30: Sezione di calcolo delle trasmittanze del foglio Excel

Nella seconda zona del foglio di calcolo, vedi figura precedente, occorre digitare:

- **H.altezza** altezza totale dell'edificio, m;
- **N.ricambi/h** numero di ricambi orari in condizioni di assenza di VMC;

H.altezza	3
n.ricambi/h	0,5
Htot	119,37
Hw	48,92
Hpar	70,44
Htr.op	159,24
Sw	16,20
Af	88,00
At	423,80
Asky	6,57
Hve	44
Am	220

Tabella 31: Dati supplementari di calcolo per l'input dati

Si osservi che se la superficie del pavimento indicata tabella è quella totale per i vari piani allora **H.altezza** è l'altezza di piano. Così, ad esempio se si hanno tre piani, ciascuno di 100 m² e con altezza di 3 m, allora $S_{\text{pavimento}}$ è pari a 300 m² e **H.altezza** è 3 m.

Le trasmittanze e tutti gli altri dati di calcolo sono visualizzati nella parte centrale della seconda zona del foglio di calcolo:

H.altezza	3				Giorni	31
n.ricambi/h	0,5				ft.ms	1
		G1=Hve	88,00		Ht,ms	2002,00
		G2=Hw	48,92		Ht,em	173,01
Htot	119,37	G3=ht,em	173,01		ft.is	1
Hw	48,92	G4=Ht,ms	2002,00		Ht.is	1462,11
Hpar	70,44	G5=Ht,is	1462,11			
Htr.op	159,24	C	16.952.000		VMC	1
Sw	16,20	T	3600		Port. Variab	1
Af	88,00	Am	220,00		Attenuazione	0
At	423,80	At	423,80		Coef. Sorg. Int	4,75
Asky	6,57	Asky	6,57		I-sky.nom	44,55
Hve	88				Temp. Aria Int	20
Am	220				Pressione Totale	1

Tabella 32: Visualizzazione della trasmittanze calcolate

4.2.2 Calcolo della Capacità Termica, Cm

Ai fini del calcolo in transitorio, e per tenere conto anche della loro inerzia, occorre fornire anche i dati per le pareti interne, per il soffitto e per il pavimento.

Per pareti verticali e orizzontali viene calcolato l'angolo di inclinazione β e il fattore di vista parete – cielo, f_{kc} , infine il valore di H_{tr} per ciascun elemento.

I primi due valori della tabella precedente, colorati in celeste, indicano l'altezza dell'edificio e il numero di ricambi orari da considerare per il calcolo di Hve. Si ricorda che questo numero può essere variabile ora per ora, come indicato nella seguente tabella che visualizza parte della zona terza del foglio.

Tvent (°C)	n	Imp-Avv
21,90	0,5	1
21,30	0,5	1
20,80	0,5	1
20,30	0,5	1
20,40	0,5	1
20,80	0,5	1
21,40	0,5	1
23,40	0,5	1
25,30	0,5	1
27,00	0,5	1
27,10	0,5	1
27,30	0,5	1
27,50	0,5	1
27,30	0,5	1
27,10	0,5	1
26,80	0,5	1
26,40	0,5	1
26,00	0,5	1
25,50	0,5	1
24,70	0,5	1
24,00	0,5	1
23,30	0,5	1
22,90	0,5	1
22,40	0,5	1

Tabella 33: Colonna del numero di ricambi orari

Il foglio di calcolo pone il valore di n pari a quello posto nella tabella. L'Utente può variare questo valore ora per ora o selezionando il parametro di *Ventilazione Meccanica Controllata (VMC)* nella zona seconda del foglio di calcolo:

VMC	0
Port. Variab	1
Attenuazione	0
Coef. Sorg. Int	4,75
I-sky.nom	44,55
Temp. Aria Int	26
Pressione Totale	1

Tabella 34. Zona di controllo dei parametri di impianto

Come si vedrà più avanti, porre $G_1=H_{ve}=0$ (cioè si ha un impianto di VMC con portata variabile) equivale ad informare la routine di calcolo che questo dato non è costante ma che dovrà essere letto nell'ultima colonna del vettore di input, come visibile nella Figura 23.

Si osservi che se si pone $VMC=1$ e $Port.Variab=1$ il programma pone $n.ric.var$ in tutta la colonna di tabella precedente.

VMC	1	T mandata	17
Port. Variab	1	n.ric.var	1

Tabella 35: Selezione dei dati per VMC e numero di ricambi orari

Al di là degli automatismi è opportuno osservare che i valori nelle colonne della terza zona del foglio di calcolo, utilizzati per predisporre i vettori di input del metodo R5C1, possono essere comunque sovrascritti

dall'Utente con i valori considerati. Il programma non attua alcun controllo di congruità sui valori presenti in queste colonne.

Il foglio di calcolo determina i valori di input delle conduttanze del modello R5C1, come indicato in tabella:

G1=Hve	44,00
G2=Hw	48,92
G3=ht,em	173,01
G4=Ht,ms	2002,00
G5=Ht,is	1462,11
C	16.952.000
T	3600
Am	220,00
At	423,80
Asky	6,57

Tabella 36: Conduttanze ed altri dati per il modello

Il calcolo della capacità termica efficace, C_m , può essere fatto o tramite la colonna a destra del foglio di calcolo (viene utilizzato uno spessore di 4 cm di ciascuna parete) o tramite le indicazioni della UNI EN 13790 che riferisce il calcolo alla superficie del pavimento, A_f .

Classe	A_m	C_m
Molto leggera	$2.5 * A_f$	$80000 * A_f$
Leggera	$2.5 * A_f$	$110000 * A_f$
Media	$2.5 * A_f$	$165000 * A_f$
Pesante	$3.0 * A_f$	$260000 * A_f$
Molto pesante	$3.5 * A_f$	$370000 * A_f$

Tabella 37: Valori di default per il calcolo di A_m e di C_m

Per il calcolo della capacità termica il foglio di calcolo consente di scegliere il metodo con un menu a tendina, come illustrato in figura seguente.

Selezionando la voce **CALCOLATO** si utilizza la tabella di calcolo. Le selezioni diverse dalla **CALCOLATO** si riferiscono alla capacità termica calcolata con la tabella indicata della Norma UN EN 13790.

	Località	ROMA	D	Mese	7	Classe Edificio	CALCOLATO
Ora	Tsky	hr	I-sky	I.sol	F.int	F.sol	
1	14,28	5,04	38,36	0,0	418	-251,97	
2	13,91	5,01	37,01	0,0	418	-243,13	
3	13,59	4,99	35,98	0,0	418	-236,38	

Tabella 38: Menu a tendina per la selezione della classe dell'edificio o per il calcolo manuale

Densità	Ci	Cmi
1000	800	1200000
1400	800	
1000	800	984000
1400	800	
1000	800	984000
1400	800	
1000	800	984000
1400	800	
1000	800	0
1400	800	
1000	800	0
1400	800	
1000	800	0
1400	800	
1000	800	0
1400	800	
1000	800	4000000
1000	800	4000000
1000	800	4800000
		16.952.000

Tabella 39: Valori della Capacità termica calcolati per strati di 4 cm per le pareti dell'edificio

La tabella è posta in linea con la prima zona del foglio ma a destra dei grafici. L'Utente deve indicare i valori di **Densità** e di **Ci (calore specifico)** per ciascuna tipologia di elemento disperdente. Il programma considera solamente uno spessore di 5 cm come effettivamente partecipante al transitorio termico.

4.3 Quadro di Controllo degli impianti

Il foglio di calcolo *R5C1* è del tutto autonomo e può svolgere anche le funzioni di controllo degli impianti. In questo paragrafo si vedrà come selezionare le opzioni di calcolo per:

- Ventilazione Meccanica Controllata, VMC;
- Ventilazione con portata d'aria variabile;
- Attenuazione notturno.

Inoltre dal quadro di controllo è possibile lanciare alcune macro utili per il calcolo dei bilanci termici sensibili e totali annuali.

Nella parte seconda del foglio si ha il riquadro indicato nella figura seguente:

Giorni	31					
ft.ms	1					
Ht,ms	2002.00			Per bilancio Sensibile	CTRL b	
Ht,em	173.01			Per bilancio Totale	CTRL t	
ft.is	1			Per impianti accesi	CTRL a	1
Ht.is	1462.11			Per Impianti spenti	CTRL s	0
VMC	1	T mandata	17	Um. Aria. Vent. Est.	70	
Port. Variab	1	n.ric.var	1	Um. Aria. Vent. Inv.	40	
Attenuazione	0	Temp. Atten	16	C. Lat.S.Int (W/m ²)	2.8	
Coef. Sorg. Int	4.75	[W/m ²]				
I-sky.nom	44.55	[W/m ²]	U.R. Ar. VMC	70	%	
Temp. Aria Int	26	°C	U.R. Aria Int.	50	%	
Pressione Totale	1	Bar	Coeff. Infiltr. fL	0	m	

Tabella 40: Quadro di controllo degli impianti

Nella parte superiore a sinistra si hanno, in giallo, alcuni dati di controllo e in particolare:

- **Giorni** numero dei giorni del mese considerato;
- **Ft.ms** fattore correttivo per il calcolo delle trasmittanze di accoppiamento posto pari a 1 di default;
- **Ht.ms** Trasmittanza di accoppiamento;
- **Ht.em** Trasmittanza di accoppiamento;
- **Ft.is** Fattore correttivo posto pari a 1 di default;
- **Ht.is** Trasmittanza di accoppiamento;

Questi valori sono di calcolo e non debbono essere modificati in alcun modo.

- In alto a destra si ha un quadro di sintesi delle macro che è possibile lanciare:

Per bilancio Sensibile	CTRL b	
Per bilancio Totale	CTRL t	
Per impianti accesi	CTRL a	1
Per Impianti spenti	CTRL s	0

Tabella 41: Elenco delle Macro che è possibile lanciare

Si ha la seguente descrizione:

- **CTRL b** avvia una sequenza di calcolo per la valutazione annuale del calore sensibile scambiato, con il suo segno, dall'edificio. In pratica la macro setta il mese di calcolo da 1 (gennaio) a 12 (dicembre) e pone i risultati di calcolo dei flussi nel foglio **Bilanci**;
- **CTRL t** avvia una sequenza di calcolo per la valutazione annuale del calore totale (sensibile più latente) scambiato, con il suo segno, dall'edificio. In pratica la macro setta il mese di calcolo da 1 (gennaio) a 12 (dicembre) e pone i risultati di calcolo dei flussi nel foglio **Bilanci Totali**;
- **CTRL a** accende gli impianti per tutte le 24 ore del giorno di calcolo. In pratica pone il valore **1** nella colonna **Imp-avv** della zona terza del foglio.

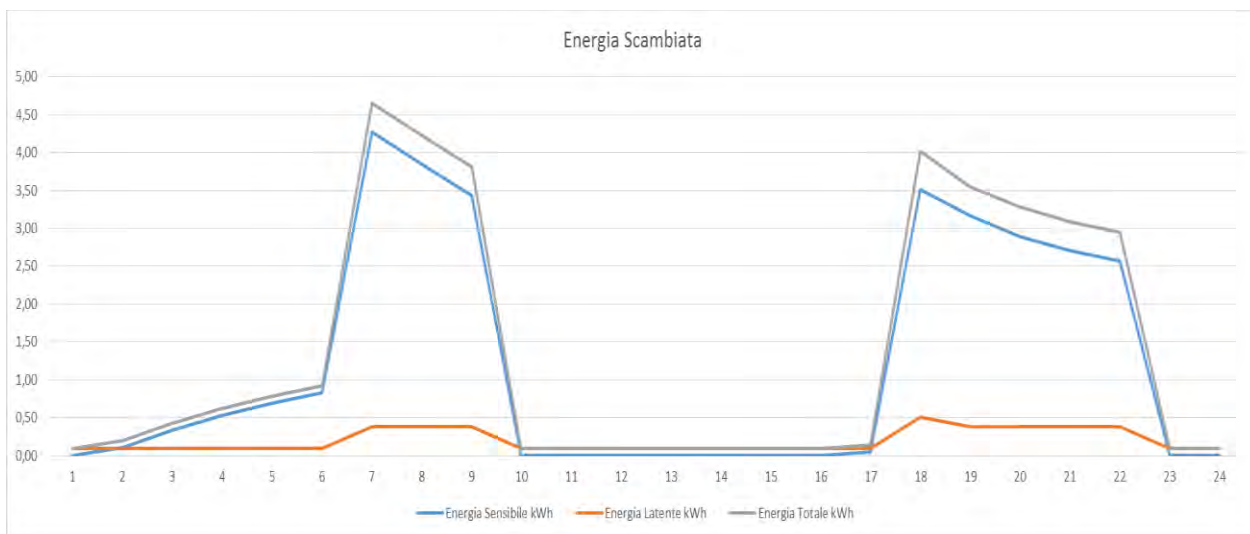


Figura 27: Effetti dell’attenuazione notturna sui flussi termici scambiati

- **I.sky.nom** valore del flusso specifico verso la volta celeste;
- **Temp.Aria.int** è posta pari a 20°C nei mesi invernali e 26 °C nei mesi estivi (vedi UNI TS 11300/1:2014);
- **Pressione Totale** è il valore della pressione totale atmosferica per la località considerata;
- **Um.aria.vent.Est** è il valore dell’umidità dell’aria di ventilazione nel periodo estivo, così come data dall’UTA o dal recuperatore di calore. Nel foglio di calcolo questo valore è assunto costante ma il vettore corrispondente, vedi tabella seguente, può essere impostato come si desidera:

Pvs.V	xV
Pa	kg.v/kg.as
2598,70	2504,8882
2504,89	0,0144
2414,05	0,0138
2326,11	0,0133
2384,42	0,0137
2444,00	0,0140
2474,28	0,0142
2846,82	0,0164
3228,91	0,0186
3676,53	0,0213
3741,58	0,0217
3829,88	0,0222
3919,98	0,0228
3852,23	0,0224
3807,63	0,0221
3741,58	0,0217
3570,31	0,0207
3405,91	0,0197
3267,54	0,0189
3134,09	0,0181
3023,53	0,0174
2898,86	0,0167
2795,61	0,0161
2695,58	0,0155

Tabella 47: Valori della x_v calcolati con la variabile Um. Aria. Vent.

- **Um.aria.vent.Inv** è il valore dell’umidità dell’aria di ventilazione nel periodo invernale, così come data dall’UTA o dal recuperatore di calore. Vale quanto detto per la variabile **Um. Aria. Vent. Est.**;
- **C.Lat.S.Int** è il valore dell’intensità di calore latente delle sorgenti interne.

Le succitate variabili tengono conto del modello per il bilancio del calore latente, dato in Figura 28, che si aggiunge al modello *R5C1* per il bilancio del calore sensibile del modello standard *R5C1*.

Si ricordi che il foglio di calcolo pone valori costanti per le 24 ore. L'Utente può sempre variare questi valori. Non è attuato alcun controllo sui valori digitati.

Le conseguenze delle scelte fatte con il centro di controllo degli impianti saranno visualizzate nel dettaglio nel prosieguo.

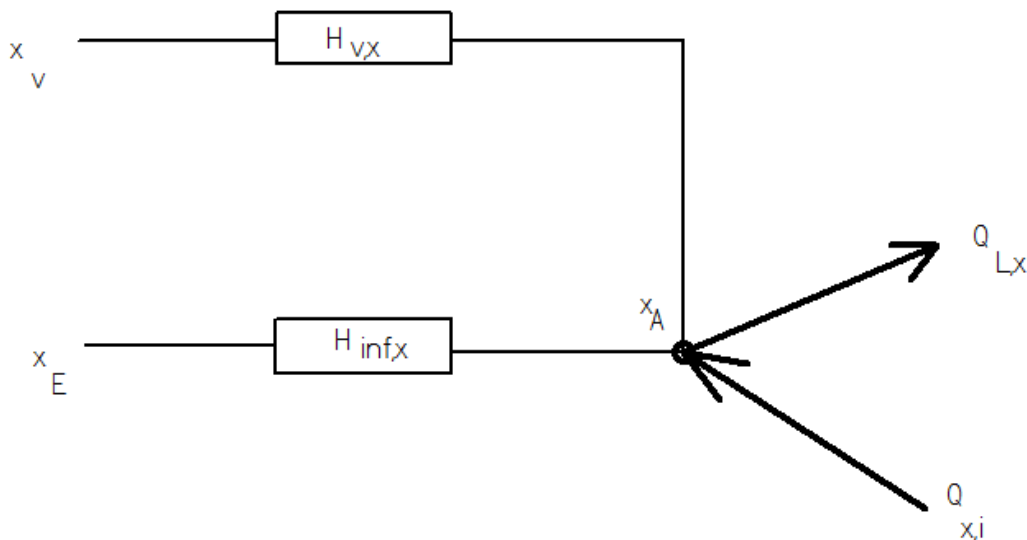


Figura 28: Modello per il bilancio del calore latente

4.3.1 Osservazione sui parametri di controllo degli impianti

L'utilizzo dei parametri di controllo degli impianti va fatto con attenzione, soprattutto se si effettua un bilancio annuale sia del calor sensibile che del calore latente.

Supporre, ad esempio, che ci sia un'attenuazione notturna nel calcolo del bilancio energetico (sensibile e/o totale) significa avere l'attenuazione notturna in tutti i giorni dei mesi invernali. In un calcolo annuale quest'ipotesi può portare a risultati imprecisi.

La stessa osservazione va fatta per la ventilazione meccanica controllata e per la portata variabile.

A meno che non sia certa la costanza delle ipotesi di funzionamento degli impianti il calcolo globale annuale dell'energia va fatto con le ipotesi comuni e sempre presenti.

4.4 Calcolo dei vettori di input per il modello *R5C1*

Il calcolo dei vettori di input al modello è predisposto con la terza parte del foglio Excel, vedi Figura 23. Vengono utilizzati i valori dell'irraggiamento solare orario, della temperatura esterna oraria e dell'umidità relativa oraria della località considerata (vedi figure seguenti). I dati esterni possono essere desunti da qualsivoglia data base. Quelli riportati nel foglio sono relativi al data base della IGDG.

I dati di input sono raggruppati in una zona segnata in giallo, come indicato in tabella seguente.

I vettori di ingresso variano con il mese di elaborazione scelto. Pertanto il foglio Excel legge i dati orari per la temperatura esterna e per la radiazione solare per il mese considerato, e per il sito in cui si trova l'edificio, in altre tabelle, come indicato nelle tabelle precedenti per la temperatura e per la radiazione solare media sul piano orizzontale.

P1	P2 (K)	P5	I1	Ft	G1
T-sup [K]	290,2	Tair [K]	Fi.ia [W]	Fint+Fsol [W]	Hve [W/K]
290,2	295,1	299,2	209	50,58	88,00
290,2	294,5	299,2	209	71,15	88,00
290,2	294,0	299,2	209	88,20	88,00
290,2	293,5	299,2	209	105,16	88,00
290,2	293,6	299,2	209	101,77	88,00
290,2	294,0	299,2	209	401,62	88,00
290,2	294,6	299,2	209	1173,75	88,00
290,2	296,6	299,2	209	1818,85	88,00
290,2	298,5	299,2	209	2395,92	88,00
290,2	300,2	299,2	209	2651,47	88,00
290,2	300,3	299,2	209	2664,41	88,00
290,2	300,5	299,2	209	2335,08	88,00
290,2	300,7	299,2	209	2932,98	88,00
290,2	300,5	299,2	209	3375,42	88,00
290,2	300,3	299,2	209	3504,75	88,00
290,2	300,0	299,2	209	3281,93	88,00
290,2	299,6	299,2	209	3194,29	88,00
290,2	299,2	299,2	209	2827,72	88,00
290,2	298,7	299,2	209	2632,51	88,00
290,2	297,9	299,2	209	359,96	88,00
290,2	297,2	299,2	209	-22,41	88,00
290,2	296,5	299,2	209	2,09	88,00
290,2	296,1	299,2	209	16,01	88,00
290,2	295,6	299,2	209	33,34	88,00

Tabella 48: Esempio di preparazione del file di input: fase di sostituzione della virgola col punto

Per calcolare il flusso solare nelle pareti e nelle finestre occorre calcolare il fattore R_{bk} (rapporto fra il flusso nella superficie considerata rispetto al il flusso orizzontale):

$$R_b = \frac{\cos \varphi - \beta \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi}{180} \omega_s \sin \varphi \sin \delta}$$

Tale valore è calcolato nel foglio di calcolo per la località considerata per i vari orientamenti. Si tenga presente che R_b dipende dai valori della latitudine (espressa in gradi sessadecimali) del luogo e pertanto questo dato deve essere correttamente indicato nella tabella del foglio R_b :

giorno	355	Latitudine	37,15	delta	-23,45
Mese	1	cos fi	0,80	cos delta	0,92
		sin fi	0,60	sen delta	-0,40

Tabella 49: Indicazione della latitudine della località considerata

I dati sono riportati in tabella per il mese di gennaio. La tabella è visibile nel foglio Rb:

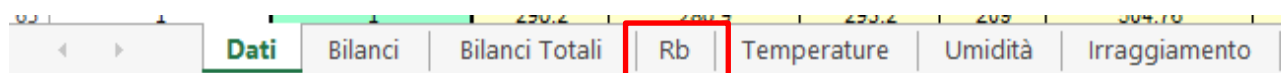


Tabella 50: Foglio Rb contenete i fattori solar i

Il foglio di calcolo dei vettori legge automaticamente per ciascun orientamento questi fattori per il calcolo del flusso solare, F_{sol} , necessario per calcolare i vettori $I_1(F_{ia})$ e $F_t(F_{sol} + F_{int})$.

Si osservi che in questa fase di preparazione dei vettori di input non si è automatizzata la selezione del mese e quindi i dati di calcolo per la radiazione solare e per la temperatura sono scelti in base al mese considerato, vedi tabella seguente.

Località	ROMA	D	Mese	7	Classe Edificio	CALCOLATO
----------	------	---	------	---	-----------------	-----------

Tabella 51: Selezione del mese di calcolo

GAMMA (°)	0	90	-90	180	0	135	-135	45	-45			giorno	355
beta Rad	1,5708	1,5708	1,5708	1,5708	1,5708	1,5708	1,5708	1,5708	1,5708			Mese	1
gamma Rad		1,5708	-1,5708	3,1416	0,0000	2,3562	-2,3562	0,7854	-0,7854	°			
Ora	Rb.Oriz	Rb.E	Rb.W	Rb.N	Rb.S	Rb.NE	Rb.NW	Rb.SE	Rb.SW	omega	cos omega	sen omega	sen omega
1,00	1,00000	0,58637	0,00000	0,00000	2,18052	0,00000	0,00000	1,95649	1,12724	15,00	0,9659	0,2588	0,2588
2,00	1,00000	1,36536	0,00000	0,00000	2,44861	0,00000	0,00000	2,69689	0,76597	30,00	0,8660	0,5000	0,5000
3,00	1,00000	2,86749	0,00000	0,00000	3,21197	0,00000	0,00000	4,29883	0,24358	45,00	0,7071	0,7071	0,7071
4,00	1,00000	9,54653	0,00000	0,00000	7,22791	1,63952	0,00000	11,86132	0,00000	60,00	0,5000	0,8660	0,8660
5,00	1,00000	0,00000	10,63708	5,47190	0,00000	0,00000	11,39077	0,00000	3,65234	75,00	0,2588	0,9659	0,9659
6,00	1,00000	0,00000	3,50132	1,14310	0,00000	0,00000	3,28410	0,00000	1,66752	90,00	0,0000	1,0000	1,0000
7,00	1,00000	0,00000	2,01065	0,32485	0,00000	0,00000	1,65145	0,00000	1,19204	105,00	-0,2588	0,9659	0,9659
8,00	1,00000	0,00000	1,30834	0,00000	0,00414	0,00000	0,92221	0,00000	0,92806	120,00	-0,5000	0,8660	0,8660
9,00	1,00000	0,00000	0,86464	0,00000	0,17009	0,00000	0,49112	0,00000	0,73167	135,00	-0,7071	0,7071	0,7071
10,00	1,00000	0,00000	0,53338	0,00000	0,26001	0,00000	0,19330	0,00000	0,56101	150,00	-0,8660	0,5000	0,5000
11,00	1,00000	0,00000	0,25560	0,00000	0,30566	0,00000	0,00000	0,03540	0,39687	165,00	-0,9659	0,2588	0,2588
12,00	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,31972	0,00000	0,00000	0,22608	0,22608	180,00	-1,0000	0,0000	0,0000
13,00	1,00000	0,25560	0,00000	0,00000	0,30566	0,00000	0,00000	0,39687	0,03540	195,00	-0,9659	-0,2588	-0,2588
14,00	1,00000	0,53338	0,00000	0,00000	0,26001	0,19330	0,00000	0,56101	0,00000	210,00	-0,8660	-0,5000	-0,5000
15,00	1,00000	0,86464	0,00000	0,00000	0,17009	0,49112	0,00000	0,73167	0,00000	225,00	-0,7071	-0,7071	-0,7071
16,00	1,00000	1,30834	0,00000	0,00000	0,00414	0,92221	0,00000	0,92806	0,00000	240,00	-0,5000	-0,8660	-0,8660
17,00	1,00000	2,01065	0,00000	0,32485	0,00000	1,65145	0,00000	1,19204	0,00000	255,00	-0,2588	-0,9659	-0,9659
18,00	1,00000	3,50132	0,00000	1,14310	0,00000	3,28410	0,00000	1,66752	0,00000	270,00	0,0000	-1,0000	-1,0000
19,00	1,00000	10,63708	0,00000	5,47190	0,00000	11,39077	0,00000	3,65234	0,00000	285,00	0,2588	-0,9659	-0,9659
20,00	1,00000	0,00000	9,54653	0,00000	7,22791	0,00000	1,63952	0,00000	11,86132	300,00	0,5000	-0,8660	-0,8660
21,00	1,00000	0,00000	2,86749	0,00000	3,21197	0,00000	0,00000	0,24358	4,29883	315,00	0,7071	-0,7071	-0,7071
22,00	1,00000	0,00000	1,36536	0,00000	2,44861	0,00000	0,00000	0,76597	2,69689	330,00	0,8660	-0,5000	-0,5000
23,00	1,00000	0,00000	0,58637	0,00000	2,18052	0,00000	0,00000	1,12724	1,95649	345,00	0,9659	-0,2588	-0,2588
24,00	1,00000	0,00000	0,00000	0,00000	2,10882	0,00000	0,00000	1,49116	1,49116	360,00	1,0000	0,0000	0,0000

Tabella 52: Fattori R_{bk} per il calcolo del flusso solare nelle pareti per Roma

A questo punto occorre digitare la colonna del flusso interno ottenuto dal prodotto del *Coef.Sorg.Int* per la superficie A_f (vedi tabella precedente, in conformità ai valori indicati dalle UNI TS 11300 Parte prima.

VMC	1
Port. Variab	1
Attenuazione	0
Coef. Sorg. Int	4,75
I-sky.nom	44,55
Temp. Aria Int	26
Pressione Totale	1

Tabella 53: Dati per il calcolo del Flusso interno

Si osservi che il foglio assegna il prodotto $Coef.Sorg.Int \times A_f$ costante per tutte le ore nel vettore F.int.

Tuttavia è possibile modificare questa assegnazione digitando i valori orari nel vettore di ingresso. Si ricordi che il foglio di calcolo non effettua alcun controllo di validità sui valori digitati.

Anche la colonna della temperatura dell'aria interna, T_{air} , può essere fissata al valore desiderato, diversamente da quanto automaticamente indicato dal foglio di calcolo pari a 20 °C in inverno e 26 °C in estate.

I.sol	F.int
0,0	418
0,0	418
0,0	418
0,0	418
0,0	418
25,0	418
138,0	418
308,0	418
483,0	418
632,0	418
751,0	418
819,0	418
827,0	418
799,0	418
713,0	418
576,0	418
412,0	418
233,0	418
79,0	418
8,0	418
0,0	418
0,0	418
0,0	418
0,0	418

Tabella 54: Vettore F.int nella parte terza del foglio di calcolo

Il vettore *Tvent* è automaticamente assunto pari a *Te* se *VMC=0* mentre se *VMC=1* allora viene posto pari al valore *T.mandata* riportato nella tabella seguente: (zona seconda):

VMC	1	T mandata	17
Port. Variab	1	n.ric.var	1
Attenuazione	0	Temp. Atten	16

Tabella 55: Settaggio dei parametri per VMC e T.mandata

Dopo aver completato il lavoro di personalizzazione dei flussi è possibile utilizzare i vettori di ingresso, zona gialla, come detto in precedenza.

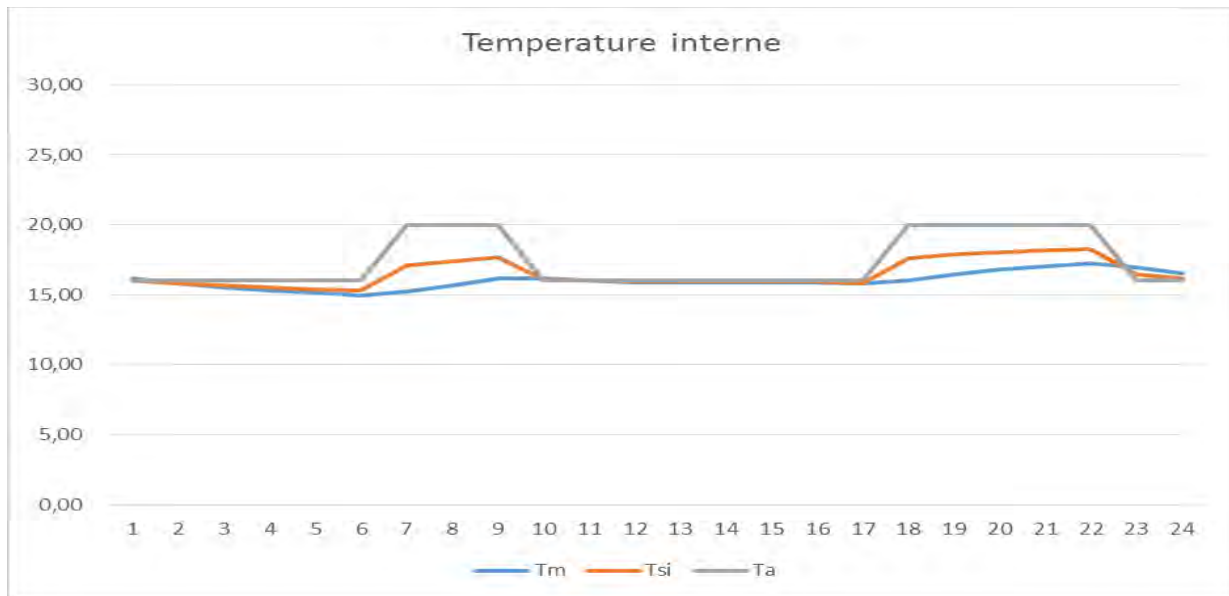


Figura 29: Andamento delle temperature con attenuazione notturna

4.4.1 Osservazione sui vettori di ingresso

I vettori di ingresso, vedi tabella, sono calcolati secondo le relazioni riportate nella descrizione del modello R5C1. Essi sono sempre calcolati utilizzando i vettori della parte terza del foglio e che qui si ripete per comodità di esame:

Ora	Tsky	hr	I-sky	I-sol	F.int	F.sol	Te (°C)	Ta(°C)	Tvent (°C)	n	Imp-Avv
1	10,58	4,94	55,93	0,0	418	-367,42	21,9	26,00	17,00	1	1
2	10,58	4,93	52,80	0,0	418	-346,85	21,3	26,00	17,00	1	1
3	10,58	4,91	50,20	0,0	418	-329,80	20,8	26,00	17,00	1	1
4	10,58	4,90	47,62	0,0	418	-312,84	20,3	26,00	17,00	1	1
5	10,58	4,90	48,14	0,0	418	-316,23	20,4	26,00	17,00	1	1
6	10,58	4,91	50,20	25,0	418	-16,38	20,8	26,00	17,00	1	1
7	10,58	4,93	53,32	138,0	418	755,75	21,4	26,00	17,00	1	1
8	10,58	4,98	63,84	308,0	418	1400,85	23,4	26,00	17,00	1	1
9	10,58	5,03	74,04	483,0	418	1977,92	25,3	26,00	17,00	1	1
10	10,58	5,08	83,33	632,0	418	2233,47	27,0	26,00	17,00	1	1
11	10,58	5,08	83,88	751,0	418	2246,41	27,1	26,00	17,00	1	1
12	10,58	5,08	84,98	819,0	418	1917,08	27,3	26,00	17,00	1	1
13	10,58	5,09	86,09	827,0	418	2514,98	27,5	26,00	17,00	1	1
14	10,58	5,08	84,98	799,0	418	2957,42	27,3	26,00	17,00	1	1
15	10,58	5,08	83,88	713,0	418	3086,75	27,1	26,00	17,00	1	1
16	10,58	5,07	82,23	576,0	418	2863,93	26,8	26,00	17,00	1	1
17	10,58	5,06	80,03	412,0	418	2776,29	26,4	26,00	17,00	1	1
18	10,58	5,05	77,84	233,0	418	2409,72	26,0	26,00	17,00	1	1
19	10,58	5,04	75,12	79,0	418	2214,51	25,5	26,00	17,00	1	1
20	10,58	5,01	70,80	8,0	418	-58,04	24,7	26,00	17,00	1	1
21	10,58	5,00	67,04	0,0	418	-440,41	24,0	26,00	17,00	1	1
22	10,58	4,98	63,31	0,0	418	-415,91	23,3	26,00	17,00	1	1
23	10,58	4,97	61,19	0,0	418	-401,99	22,9	26,00	17,00	1	1
24	10,58	4,95	58,55	0,0	418	-384,66	22,4	26,00	17,00	1	1

Tabella 56: Vettori di preparazione dei vettori di ingresso

Nella prima riga è indicato l'acronimo del vettore e precisamente:

- **Tsky** Temperatura del cielo ai fini del calcolo della radiazione termica di alta lunghezza d'onda;

- **Hr** coefficiente radiativo per il calcolo della radiazione termica di alta lunghezza d'onda;
- **I.sky** l'intensità di radiazione termica di alta lunghezza d'onda;
- **I.sol** l'intensità di radiazione solare totale per il mese considerato;
- **F.int** Flusso termico interno;
- **F.sol.** Flusso solare totale per tutte le pareti;
- **Te** Temperatura esterna;
- **Ta** Temperatura interna dell'ambiente;
- **Tvent** Temperatura dell'aria di ventilazione;
- **n** numero di ricambi orari;
- **Imp-Avv** descrittore dello stato dell'impianto: 1 acceso, 0 spento.

L'Utente può apportare tutte le modifiche che desidera ai valori che il foglio di calcolo indica in base agli automatismi di calcolo. Il programma non effettua alcuna verifica di congruità sui valori presenti nelle celle. Questo non tanto per impossibilità a farlo, quanto per lasciare libero l'Utente di simulare condizioni di calcolo particolari, quali, ad esempio, il gradino di temperatura o di irraggiamento o distribuzioni di parametri esterni diversi da quelli statistici dell'IGDG.

4.5 Modalità con VMC e portata costante

Il modello base è risolto imponendo che la temperatura dell'aria di ventilazione, T_{sup} , sia uguale a quella dell'aria esterna. Se si immagina di avere un sistema di ventilazione meccanica controllata (VMC) allora basta cambiare il valore della temperatura di ventilazione nella colonna 1 dei vettori di input.

P1	P2 (K)	P5	I1	Ft	G1	P1	P2 (K)	P5	I1	Ft	G1
T-sup [K]	280,6	Tair [K]	Fi.ia [W]	Fint+Fsol [W]	Hve [W/K]	T-sup [K]	290,2	Tair [K]	Fi.ia [W]	Fint+Fsol [W]	Hve [W/K]
280,6	280,6	293,2	209	196,67	44,00	290,2	280,6	293,2	209	513,65	44,00
280,5	280,5	293,2	209	196,10	44,00	290,2	280,5	293,2	209	516,60	44,00
280,3	280,3	293,2	209	194,96	44,00	290,2	280,3	293,2	209	522,50	44,00
280,1	280,1	293,2	209	193,81	44,00	290,2	280,1	293,2	209	528,39	44,00
280,0	280,0	293,2	209	193,24	44,00	290,2	280,0	293,2	209	531,33	44,00
279,9	279,9	293,2	209	192,66	44,00	290,2	279,9	293,2	209	534,26	44,00
279,9	279,9	293,2	209	192,66	44,00	290,2	279,9	293,2	209	534,26	44,00
280,8	280,8	293,2	209	221,44	44,00	290,2	280,8	293,2	209	531,37	44,00
281,8	281,8	293,2	209	504,34	44,00	290,2	281,8	293,2	209	778,97	44,00
282,8	282,8	293,2	209	868,45	44,00	290,2	282,8	293,2	209	1107,86	44,00
284,0	284,0	293,2	209	1074,25	44,00	290,2	284,0	293,2	209	1271,76	44,00
285,3	285,3	293,2	209	1049,39	44,00	290,2	285,3	293,2	209	1202,34	44,00
286,5	286,5	293,2	209	1245,06	44,00	290,2	286,5	293,2	209	1358,01	44,00
286,6	286,6	293,2	209	1263,65	44,00	290,2	286,6	293,2	209	1373,33	44,00
286,4	286,4	293,2	209	1057,30	44,00	290,2	286,4	293,2	209	1173,53	44,00
286,4	286,4	293,2	209	646,07	44,00	290,2	286,4	293,2	209	762,30	44,00
285,2	285,2	293,2	209	290,07	44,00	290,2	285,2	293,2	209	446,41	44,00
284,1	284,1	293,2	209	214,18	44,00	290,2	284,1	293,2	209	408,23	44,00
283,1	283,1	293,2	209	209,86	44,00	290,2	283,1	293,2	209	438,75	44,00
282,6	282,6	293,2	209	207,45	44,00	290,2	282,6	293,2	209	453,89	44,00
282,0	282,0	293,2	209	204,38	44,00	290,2	282,0	293,2	209	471,95	44,00
281,4	281,4	293,2	209	201,15	44,00	290,2	281,4	293,2	209	489,90	44,00
281,2	281,2	293,2	209	200,04	44,00	290,2	281,2	293,2	209	495,85	44,00
280,9	280,9	293,2	209	198,37	44,00	290,2	280,9	293,2	209	504,76	44,00

Tabella 57: Confronto dei vettori di ingresso senza e con VMC

Nel foglio di calcolo basta impostare ad 1 la casella per l'UTA e poi indicare il valore di T_{sup} , nell'esempio pari a 20 °C. Il foglio di calcolo automaticamente impone questo valore, in K.

VMC	0	T mandata	17
-----	---	-----------	----

Tabella 58: Impostazione della VMC e della temperatura T_{sup}

Se si confrontano le prime due colonne delle due tabelle dei vettori di input si può osservare come nel primo caso (senza VMC) si ha $T_{sup} = T_e$ mentre nel secondo caso (presenza di VMC) sia T_{sup} pari a 293.2 K quando l'impianto di climatizzazione è acceso (vedi colonna *Imp.Avv* del foglio in tabella precedente).

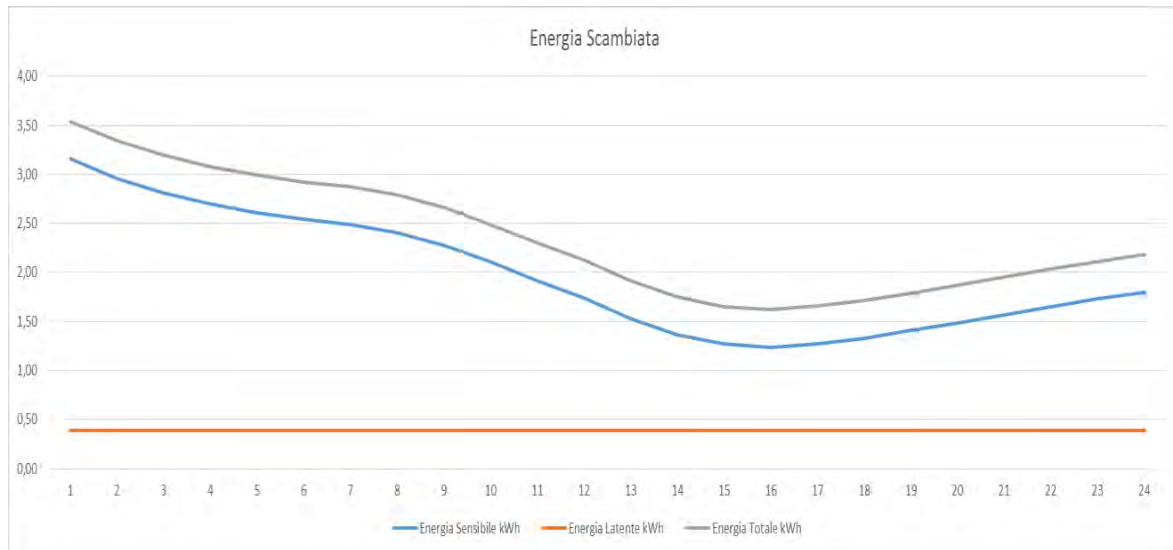


Figura 30: Andamento dei flussi termici con VMC e portata costante

Ora	Tsky	hr	I-sky	I.sol	F.int	F.sol	Te (°C)	Ta(°C)	Tvent (°C)	n	Imp-Avv
1	10,58	4,58	-14,56	0,0	418	95,65	7,4	20,00	17,00	0,5	1
2	10,58	4,57	-15,01	0,0	418	98,60	7,3	20,00	17,00	0,5	1
3	10,58	4,57	-15,91	0,0	418	104,50	7,1	20,00	17,00	0,5	1
4	10,58	4,57	-16,80	0,0	418	110,39	6,9	20,00	17,00	0,5	1
5	10,58	4,56	-17,25	0,0	418	113,33	6,8	20,00	17,00	0,5	1
6	10,58	4,56	-17,70	0,0	418	116,26	6,7	20,00	17,00	0,5	1
7	10,58	4,56	-17,70	0,0	418	116,26	6,7	20,00	17,00	0,5	1
8	10,58	4,58	-13,66	4,0	418	113,37	7,6	20,00	17,00	0,5	1
9	10,58	4,61	-9,12	59,0	418	360,97	8,6	20,00	17,00	0,5	1
10	10,58	4,63	-4,54	150,0	418	689,86	9,6	20,00	17,00	0,5	1
11	10,58	4,66	1,02	231,0	418	853,76	10,8	20,00	17,00	0,5	1
12	10,58	4,69	7,13	275,0	418	784,34	12,1	20,00	17,00	0,5	1
13	10,58	4,72	12,84	275,0	418	940,01	13,3	20,00	17,00	0,5	1
14	10,58	4,72	13,32	237,0	418	955,33	13,4	20,00	17,00	0,5	1
15	10,58	4,72	12,36	164,0	418	755,53	13,2	20,00	17,00	0,5	1
16	10,58	4,72	12,36	72,0	418	344,30	13,2	20,00	17,00	0,5	1
17	10,58	4,69	6,66	9,0	418	28,41	12,0	20,00	17,00	0,5	1
18	10,58	4,66	1,49	0,0	418	-9,77	10,9	20,00	17,00	0,5	1
19	10,58	4,64	-3,16	0,0	418	20,75	9,9	20,00	17,00	0,5	1
20	10,58	4,63	-5,46	0,0	418	35,89	9,4	20,00	17,00	0,5	1
21	10,58	4,61	-8,21	0,0	418	53,95	8,8	20,00	17,00	0,5	1
22	10,58	4,60	-10,94	0,0	418	71,90	8,2	20,00	17,00	0,5	1
23	10,58	4,59	-11,85	0,0	418	77,85	8,0	20,00	17,00	0,5	1
24	10,58	4,58	-13,21	0,0	418	86,76	7,7	20,00	17,00	0,5	1

Tabella 59: Parte del foglio per la VMC

4.6 Modalità con VMC e portata variabile

La portata di ventilazione influenza la conduttanza di ventilazione, H_{ve} . Infatti è valida la relazione:

$$H_{ve} = \rho_a c_a \sum b_{ve,k} q_{ve,k,mm}$$

ove:

- H_{ve} conduttanza di ventilazione, W/K;
- $\rho_a c_a$ capacità termica per unità di volume dell'aria di ventilazione, =1200 J/(Km³);

- $b_{ve,k}$ fattore correttivo che tiene conto della temperatura dell'aria di ventilazione per la zona k rispetto alla temperatura di alimentazione, T_{sup} ;
- $q_{ve,k,mn}$ portata di ventilazione per la zona k , m^3/s .

La norma prevede correzioni nel caso di recupero di calore. Si rimanda ad essa per una descrizione dettagliata del calcolo di H_{ve} . Pertanto se varia $q_{ve,k,mn}$ varia anche H_{ve} .

Poiché i vettori di input sono definiti ora per ora allora si predispongono una quinta colonna nella quale si indicano i valori di $G_1=H_{ve}$. Per indicare alle routine che la portata di ventilazione è variabile si può porre la conduttanza $G_1=0$, vedi tabella seguente ovvero lasciare il valore di default poiché la routine di calcolo considera G_1 sempre variabile e pari ai valori indicati nel vettore di tabella seguente.

G1=Hve	44,00
G2=Hw	48,92
G3=ht,em	173,01
G4=Ht,ms	2002,00
G5=Ht,is	1462,11
C	16.952.000
T	3600
Am	220,00
At	423,80
Asky	6,57

Tabella 60: Conduttanze del modello con $G_1=0$ per portata VMC variabile

P1	P2 (K)	P5	I1	Ft	G1
T-sup [K]	290,2	Tair [K]	Fi.ia [W]	Fint+Fsol [W]	Hve [W/K]
290,2	280,6	293,2	209	513,65	44,00
290,2	280,5	293,2	209	516,60	44,00
290,2	280,3	293,2	209	522,50	44,00
290,2	280,1	293,2	209	528,39	44,00
290,2	280,0	293,2	209	531,33	44,00
290,2	279,9	293,2	209	534,26	44,00
290,2	279,9	293,2	209	534,26	44,00
290,2	280,8	293,2	209	531,37	44,00
290,2	281,8	293,2	209	778,97	44,00
290,2	282,8	293,2	209	1107,86	44,00
290,2	284,0	293,2	209	1271,76	44,00
290,2	285,3	293,2	209	1202,34	44,00
290,2	286,5	293,2	209	1358,01	44,00
290,2	286,6	293,2	209	1373,33	44,00
290,2	286,4	293,2	209	1173,53	44,00
290,2	286,4	293,2	209	762,30	44,00
290,2	285,2	293,2	209	446,41	44,00
290,2	284,1	293,2	209	408,23	44,00
290,2	283,1	293,2	209	438,75	44,00
290,2	282,6	293,2	209	453,89	44,00
290,2	282,0	293,2	209	471,95	44,00
290,2	281,4	293,2	209	489,90	44,00
290,2	281,2	293,2	209	495,85	44,00
290,2	280,9	293,2	209	504,76	44,00

Tabella 61: Vettori di ingresso con la quinta colonna per G_1 .

Se la portata di ventilazione è espressa in numero di ricambi orari, n , allora si può variare questo dato per avere il corrispondente valore di G_1 .

In Figura 31 si ha l'andamento dei flussi termici con VMC e portata variabile. Il confronto con la Figura 30 consente di visualizzare gli effetti della portata variabile.

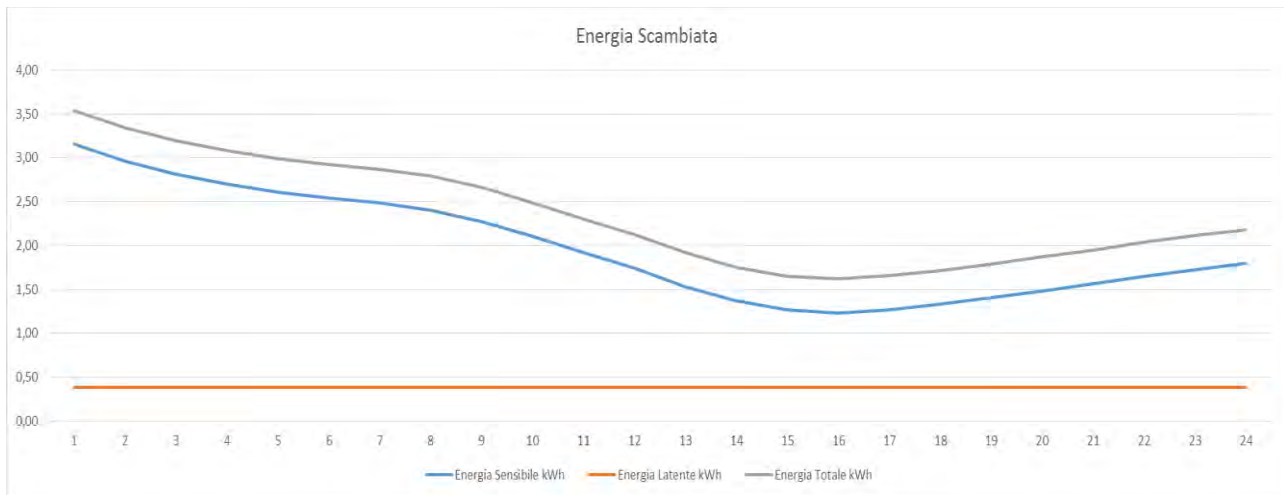


Figura 31: Andamento dei flussi termici con VMC e portata variabile

4.7 Modalità Multi Room

Le routine di calcolo predisposte per il foglio di calcolo dimostrativo sono essenziali e non vedono direttamente questa modalità di utilizzo del modello. Tuttavia, nell'ipotesi che ogni stanza abbia un'evoluzione non influenzata da altre stanze nel periodo di tempo pari al passo temporale, è possibile utilizzare il modello iterativamente per ciascuna stanza.

Occorre, quindi, predisporre i dati per ciascun ambiente, risolvere il modello ed archiviare i dati separatamente per ogni ambiente. Successivamente si possono elaborare i risultati di calcolo per avere indicazione sui consumi energetici complessivi dell'edificio.

4.8 Calcolo orario del Calore Latente

Per il calcolo del calore latente, come sopra indicato, occorre conoscere l'andamento orario medio mensile dell'umidità relativa esterna. Si tratta, solitamente, di un dato inusuale, che presenta qualche difficoltà di reperimento. Anche i data base nazionali spesso non lo riportano.

Il foglio di calcolo utilizza il data base dell'IGDG che, fra le tante variabili esterne, riporta anche gli andamenti orari dell'umidità relativa delle località ivi disponibili.

Il foglio di calcolo qui utilizzato è riferito a ROMA ma sono disponibili altri fogli per le maggiori città italiane.

4.8.1 I dati di Input

Per il calcolo del calore latente scambiato fra edificio ed esterno vale il modello di Figura 28. Per risolvere l'equazione di bilancio occorre conoscere l'andamento orario dell'umidità relativa dell'aria esterna (e quindi anche l'umidità specifica associata esterna) e dell'aria di ventilazione.

Il modello calcola l'umidità relativa interna (che è posta al 50% con impianto acceso) e il flusso termico latente. Questi valori sono riportati sia in forma tabellare che grafica.

4.8.2 I dati di Output

I dati di output sono riportati nella tabella seguente e sono:

- Energia latente scambiata;
- x_A calcolata;
- φ_A calcolata.

Si hanno anche le rappresentazioni grafiche, come riportato nelle figure seguenti.

xA calcolata	fi.A	Umidità E	Pvs.E	pE	xiV	Pvs.V	xV	pVs.A (Pa)	xA	rho.aria	xv,x	rho.inf,x	Qx,i (kW)
kg.v/kg.as	%	%	%	Pa	kg.v/kg.as	Pa	kg.v/kg.as	Pa	kg.v/kg.as	kg/m³	kW/K	kW/K	W
0,0074	50,00	81	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	82	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	83	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	84	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	84	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	83	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	82	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	80	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	77	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	75	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	71	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	69	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	67	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	67	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	68	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	69	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	70	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	73	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	74	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	75	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	76	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	77	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464
0,0074	50,00	79	40	1939,46	0,0049	1939,46	0,0049	2340,572	0,0074	1,37	251,758	0	0,2464

Tabella 62: Vettori di input e di output per il bilancio di calore latente

Energia Sensibile	Energia Latente	Energia Totale	Iout	Tm	Tsi	Ta	xA calcolata	fi.A
kWh	kWh	kWh	W	°C	°C	°C	kg.v/kg.as	%
3,17	0,38	3,55	3169,41	16,52	17,87	20,00	0,0074	50,00
2,99	0,38	3,37	2985,09	16,74	18,00	20,00	0,0074	50,00
2,84	0,38	3,23	2843,58	16,92	18,09	20,00	0,0074	50,00
2,73	0,38	3,11	2729,51	17,05	18,17	20,00	0,0074	50,00
2,65	0,38	3,03	2648,05	17,16	18,23	20,00	0,0074	50,00
2,59	0,38	2,97	2589,06	17,23	18,27	20,00	0,0074	50,00
2,54	0,38	2,93	2544,83	17,29	18,30	20,00	0,0074	50,00
2,50	0,38	2,88	2496,54	17,34	18,33	20,00	0,0074	50,00
2,41	0,38	2,79	2407,68	17,40	18,39	20,00	0,0074	50,00
2,27	0,38	2,65	2269,75	17,51	18,49	20,00	0,0074	50,00
2,12	0,38	2,50	2117,33	17,65	18,59	20,00	0,0074	50,00
1,97	0,38	2,35	1970,40	17,80	18,69	20,00	0,0074	50,00
1,79	0,38	2,17	1788,85	17,97	18,81	20,00	0,0074	50,00
1,64	0,38	2,02	1639,99	18,14	18,92	20,00	0,0074	50,00
1,54	0,38	1,92	1538,15	18,27	18,99	20,00	0,0074	50,00
1,50	0,38	1,88	1497,43	18,36	19,01	20,00	0,0074	50,00
1,53	0,38	1,91	1529,62	18,39	18,99	20,00	0,0074	50,00
1,58	0,38	1,97	1580,70	18,37	18,96	20,00	0,0074	50,00
1,63	0,38	2,02	1634,44	18,32	18,92	20,00	0,0074	50,00
1,69	0,38	2,08	1694,08	18,26	18,88	20,00	0,0074	50,00
1,75	0,38	2,14	1751,83	18,19	18,84	20,00	0,0074	50,00
1,81	0,38	2,20	1811,70	18,13	18,80	20,00	0,0074	50,00
1,87	0,38	2,25	1869,73	18,07	18,76	20,00	0,0074	50,00
1,93	0,38	2,32	1933,26	18,00	18,72	20,00	0,0074	50,00
51,04	kWh/giorno	60,27						
1582,27	kWh/mese	1868,40						
17,98	kWh/m²/mese	21,23						

Tabella 63: Vettori di Output in forma tabellare

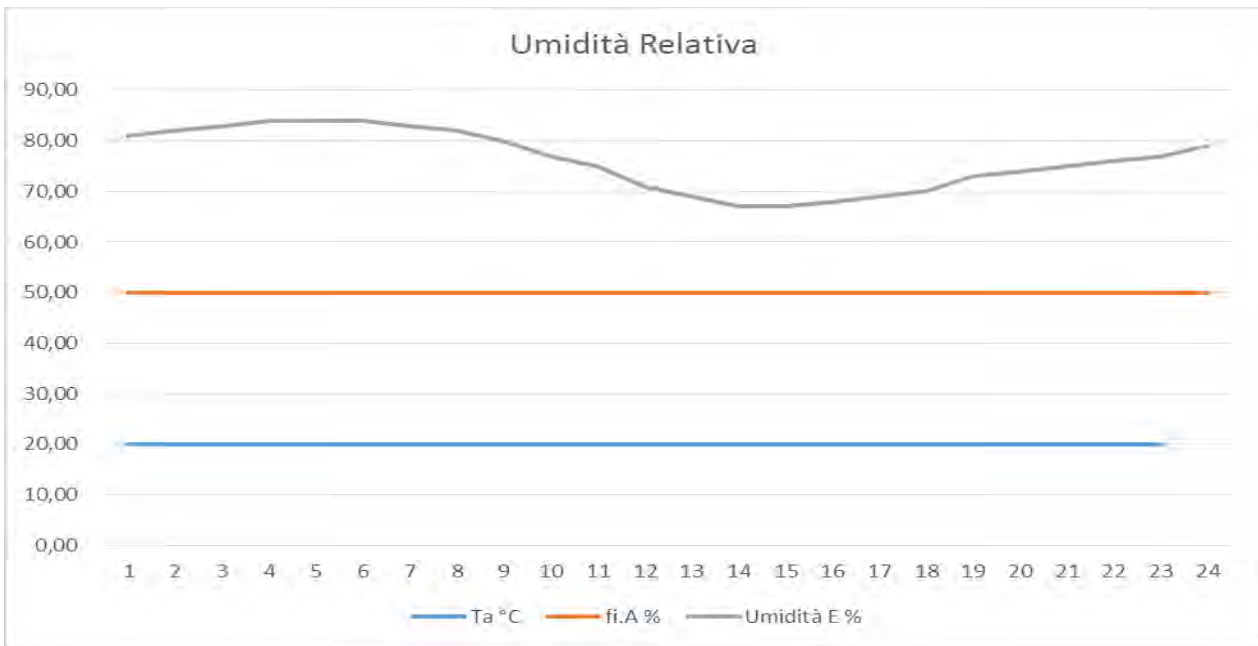


Figura 32: Dati termo igrometrici calcolati

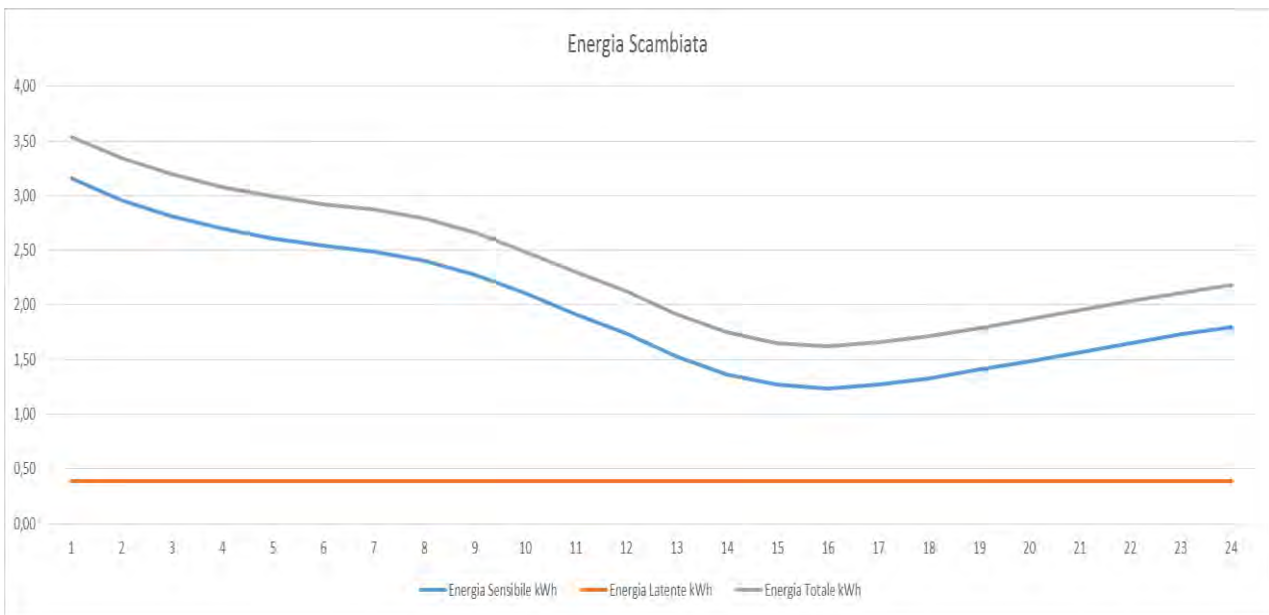


Figura 33: Flussi termici - sensibile, latente e totale

5 Calcolo automatizzato dei Bilanci Termici

Il foglio di calcolo può essere utilizzato per calcoli mensili singoli o, più efficacemente, per effettuare i calcoli per l'intero anno determinando i flussi per riscaldamento e per condizionamento. Anzi lo scopo principale di questo studio è proprio realizzare un modello di calcolo per ottenere, in modo rapido ed affidabile, i consumi energetici degli edifici.

5.1 Bilancio Annuale di Calore Sensibile

Per effettuare il calcolo del bilancio annuale del calore sensibile (cioè riferito al modello di figura precedente basta digitare **CTRL b**.

Il programma calcola mese per mese il calore sensibile e predispone una tabella nel foglio **Bilanci**.

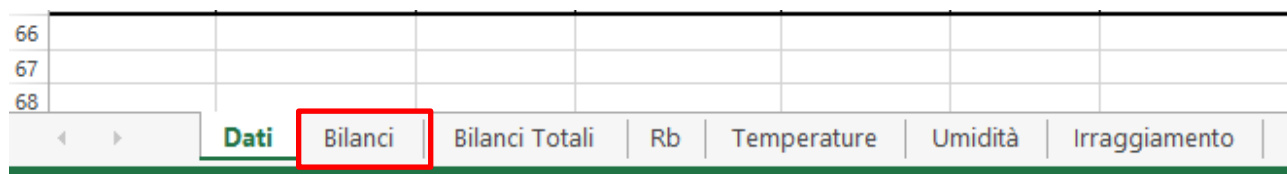


Figura 34: Foglio Bilanci

BILANCI ENERGETICI ANNUALI E CALCOLO DI EP.CI e EP.CE													ROMA		D	
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembr	Ottobre	Novembr	Dicembre	Imp. Acce	Imp. Acce		
Ora	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	Inverno	Estate		
1	3,17	3,20	3,12	3,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,91	3,03	3,16	0	0		
2	2,99	3,03	2,91	2,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,53	2,74	2,96	0	0		
3	2,84	2,91	2,75	2,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,23	2,51	2,81	0	0		
4	2,73	2,82	2,64	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,99	2,33	2,70	0	0		
5	2,65	2,75	2,54	2,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	2,19	2,61	0	0		
6	2,59	2,69	2,46	2,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,65	2,08	2,54	1	0		
7	2,54	2,65	2,40	1,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,53	1,99	2,49	1	0		
8	2,50	2,56	2,24	1,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,32	1,88	2,41	1	0		
9	2,41	2,38	2,00	1,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,06	1,69	2,28	0	1		
10	2,27	2,17	1,74	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,78	1,50	2,11	0	1		
11	2,12	1,95	1,50	0,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	1,30	1,92	0	1		
12	1,97	1,74	1,31	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32	1,13	1,74	0	1		
13	1,79	1,47	1,07	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,93	1,53	0	1		
14	1,64	1,26	0,86	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,78	1,37	0	1		
15	1,54	1,11	0,72	0,12	0,00	0,00	-0,17	-0,14	0,00	0,00	0,69	1,27	0	1		
16	1,50	1,03	0,64	0,04	0,00	0,00	-0,30	-0,26	0,00	0,00	0,67	1,23	0	1		
17	1,53	1,04	0,64	0,03	0,00	0,00	-0,39	-0,30	0,00	0,00	0,72	1,27	0	1		
18	1,58	1,14	0,75	0,11	0,00	0,00	-0,41	-0,23	0,00	0,00	0,78	1,33	1	1		
19	1,63	1,24	0,90	0,28	0,00	0,00	-0,40	-0,09	0,00	0,00	0,85	1,41	1	1		
20	1,69	1,34	1,02	0,46	0,00	0,00	-0,07	0,00	0,00	0,09	0,91	1,48	1	1		
21	1,75	1,44	1,12	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,98	1,57	1	1		
22	1,81	1,55	1,23	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	1,06	1,65	1	0		
23	1,87	1,65	1,33	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	1,13	1,73	0	0		
24	1,93	1,76	1,44	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	1,20	1,80	0	0		
	92,76	92,76	92,76	92,76	92,76	92,76	92,76	92,76	92,76	92,76	92,76	92,76				

Tabella 64: Bilancio annuale del calor e sensibile

La tabella riporta, per i mesi invernali relativi alla zona climatica della località, per ciascuna ora, i flussi termici sensibili ($F_{HC,nd}$) e diverso colore. Il calcolo dei mesi (o frazioni di mese) utili per l'inverno è effettuato in funzione della zona climatica indicata nel foglio **Dati**:

Località	CATANIA	B	Mese	12	Classe Edifici	MEDIA
----------	----------------	----------	------	-----------	----------------	--------------

Tabella 65: Indicazione della località e della zona climatica

A destra si hanno due colonne che indicano le ore di effettiva accensione dell'impianto nelle due stagioni. Si osserva che i calcoli sono effettuati supponendo che il vettore **Imp-Avv** sia tutto posto pari ad 1 e quindi con impianti sempre accesi. Al fine di calcolare l'energia di involucro si pone nelle colonne a destra 0 o 1 per considerare i flussi termici utili.

In estate non sono considerati, visto il verso del flusso $F_{HC,nd}$ di Figura 28, valori positivi e in inverno non sono considerati valori negativi.

Alla base della tabella si ha il flusso $F_{HC,nd}$ calcolato per ciascun mese con l'ipotesi di impianto sempre acceso.

Nel foglio di calcolo si ha anche una seconda tabella.

16,10	14,61	12,12	8,08	0,00	0,00	-1,74	-1,01	0,00	5,08	10,53	14,87	kWh/giorno
499,20	409,04	375,60	121,15	0,00	0,00	-53,85	-31,42	0,00	0,00	315,87	460,99	kWh/mese
QH	2181,85	kWh/anno		QC	-85,27	kWh/anno						
EPci.inv	24,79	kWh/(m ² .anno)		Epce.inv	-0,97	kWh/(m ² .anno)						
Af	88,00	m ²										
Eta	0,74											
EPci	33,51	kWh/(m ² .anno)										

Tabella 66: Bilanci giornalieri e mensili

Le prime due righe riportano, mese per mese, l'energia fornita giornaliera e mensile.

In basso si ha il bilancio stagionale (detto per anno). Il valore del rendimento globale di impianto deve essere fornito dall'Utente.

Nell'ultima riga si ha il valore di EP_{CI} . A destra si hanno i valori per l'estate con il valore di $EP_{CE,inv}$.

Si osservi che EP_{CI} è normalmente calcolato in kWh/(m².anno) e pertanto viene riferito alla superficie utile riportata nella tabella del foglio **Dati**:

Htot	585,52
Hw	57,59
Hpar	527,92
Htr.op	627,38
Sw	19,38
Af	208,24
At	671,30
Asky	47,53
Hve	104,12
Am	520,608

Tabella 67: Tabella dei dati utilizzati per il calcolo dei parametri di ingresso

Nel caso si desideri calcolare EP_{CI} in kWh/(m³.anno) allora il valore di $EP_{CI,inv}$ che compare in basso deve essere ulteriormente diviso per il valore di **H.altezza** indicato nel foglio **Dati**.

QH	4767,79	kWh/anno
EPci.inv	7,63	kWh/(m ³ .anno)
Eta	0,67	
EPci	11,48	kWh/(m ² .anno)

Tabella 68: Tabella di riepilogo degli indici di prestazione energetica

H.altezza	3
n.ricambi/h	0,5

Tabella 69: Valore dell'altezza di piano

5.2 Bilancio Annuale del Calore Totale

Per effettuare il calcolo del bilancio annuale del calore sensibile (cioè riferito al modello completo) basta digitare **CTRL t**. Il programma calcola mese per mese il calore sensibile e predispone una tabella nel foglio **Bilanci Totali**:

BILANCI ENERGETICI ANNUALI TOTALI E CALCOLO DI EP _{CI} e EP _{CE} . ROMA													D	
Ora	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre	Imp. Acce	Imp. Acce
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	Inverno	Estate
1	3,55	3,58	3,50	3,43	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	3,29	3,41	3,54	0	0
2	3,37	3,42	3,29	3,16	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	2,91	3,12	3,35	0	0
3	3,23	3,29	3,14	2,95	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	2,61	2,89	3,20	0	0
4	3,11	3,20	3,02	2,79	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	2,38	2,71	3,08	0	0
5	3,03	3,13	2,92	2,65	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	2,19	2,57	2,99	0	0
6	2,97	3,08	2,85	2,54	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	2,04	2,46	2,92	0	0
7	2,93	3,03	2,78	2,38	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	1,91	2,38	2,87	0	0
8	2,88	2,94	2,62	2,13	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	1,71	2,26	2,79	0	0
9	2,79	2,77	2,38	1,82	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	1,44	2,08	2,66	0	1
10	2,65	2,56	2,12	1,51	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	1,16	1,88	2,49	0	1
11	2,50	2,33	1,89	1,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,91	1,69	2,30	0	1
12	2,35	2,12	1,69	1,08	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,71	1,52	2,13	0	1
13	2,17	1,86	1,45	0,85	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,46	1,32	1,91	0	1
14	2,02	1,64	1,25	0,65	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,38	1,16	1,75	0	1
15	1,92	1,49	1,11	0,51	0,27	0,27	0,10	0,13	0,27	0,38	1,07	1,65	0	1
16	1,88	1,41	1,03	0,43	0,27	0,27	-0,03	0,01	0,27	0,38	1,05	1,62	0	1
17	1,91	1,43	1,02	0,41	0,27	0,27	-0,12	-0,03	0,27	0,38	1,10	1,66	0	1
18	1,97	1,53	1,13	0,49	0,27	0,27	-0,14	0,03	0,27	0,38	1,16	1,71	0	1
19	2,02	1,63	1,29	0,66	0,27	0,27	-0,13	0,18	0,27	0,38	1,23	1,79	0	1
20	2,08	1,73	1,40	0,84	0,27	0,27	0,20	0,27	0,27	0,48	1,30	1,87	0	1
21	2,14	1,82	1,51	0,99	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,58	1,37	1,95	0	0
22	2,20	1,93	1,62	1,13	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,67	1,44	2,04	0	0
23	2,25	2,04	1,72	1,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,77	1,52	2,11	0	0
24	2,32	2,14	1,82	1,38	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,86	1,59	2,18	0	0
	60,27	56,10	48,55	37,30	6,43	6,43	4,69	5,41	6,43	29,39	44,29	56,57		

Tabella 70: Tabella relativa ai bilanci di energia totale

66														
67														
68														
		Dati	Bilanci	Bilanci Totali	Rb	Temperature	Umidità	Irraggiamento						

Tabella 71: Foglio Bilanci Totali

Vale quanto detto per il calcolo del calore sensibile. In questo caso la macro effettua il calcolo dell'energia totale (Sensibile + Latente).

Le due colonne a destra consentono di considerare accesi o spenti gli impianti ai fini del calcolo energetico. Infine in basso si ha la tabella riepilogativa dell'energia giornaliera e mensile per ciascun mese di calcolo.

Una tabella riepilogativa consente di effettuare il calcolo di EP_{CI} e di EP_{CE.inv.}

Il rendimento globale di impianto deve essere digitato dall'Utente.

21,09	19,11	16,22	11,57	3,21	3,21	1,48	2,20	3,21	8,54	14,71	19,60	kWh/giorno
653,91	535,11	502,71	0,00	99,59	96,38	45,74	68,17	96,38	0,00	441,22	607,68	kWh/mese
	QH	2299,41	kWh/anno					QC	406,25	kWh/anno		
	EPci.inv	26,13	kWh/(m ² .anno)					Epce.inv	4,62	kWh/(m ² .anno)		
	Af	88,00	m ²									
	Eta	0,74										
	EPci	35,31	kWh/(m ² .anno)									

Tabella 72: Riepilogo mensile dei flussi totali

Nel caso si desideri esprimere EP_{Cl} in kWh/(m³.anno) valgono le stesse considerazioni dette per il bilancio con solo calore sensibile e quindi occorre tenere conto dell'altezza media di piano.

5.3 Ipotesi di calcolo per gli impianti

Si ricordi che il calcolo dei bilanci annuali viene effettuato con le ipotesi presenti nel centro di controllo degli impianti.

Per i due esempi sopra riportati le ipotesi sono date nella seguente tabella.

Giorni	31				
ft.ms	1				-
Ht,ms	2002,00		Per bilancio Sensibile	CTRL b	
Ht,em	173,01		Per bilancio Totale	CTRL t	
ft.is	1		Per impianti accesi	CTRL a	1
Ht.is	1462,11		Per Impianti spenti	CTRL s	0
VMC	1	T mandata	17	Um. Aria. Vent. Est.	70
Port. Variab	1	n.ric.var	1	Um. Aria. Vent. Inv.	40
Attenuazione	0	Temp. Atten	16	C. Lat.S.Int (W/m ²)	2,8
Coef. Sorg. Int	4,75	[W/m ²]			
I-sky.nom	44,55	[W/m ²]	U.R. Ar. VMC	40	%
Temp. Aria Int	20	°C	U.R. Aria Int.	50	%
Pressione Totale	1	Bar	Coeff. Infiltr. fL	0	m

Tabella 73: Ipotesi di calcolo del Centro di Controllo

E' facile modificare le ipotesi, ad esempio VMC=0 e Port.Variab=0, e rilanciare i calcoli per ottenere i nuovi bilanci.

5.4 Modalità operative dei foglio di calcolo

Si richiamano brevemente le modalità operative del foglio di calcolo sopra descritto.

5.4.1 Organizzazione del Foglio di calcolo

Il foglio elettronico implementa tutte le routine di calcolo del modello R5C1 completo anche del calcolo del calore latente e dei bilanci annuali.

Ogni foglio elettronico è predisposto per una località, ad esempio ROMA. Ciò che differenzia i vari fogli di calcolo sono i dati statistici per l'irraggiamento solare totale sul piano orizzontale, la temperatura a bulbo

secco esterna e l'umidità relativa. Questi dati sono stati desunti dal data base IGDG per ROMA ma è possibile utilizzare qualunque altra fonte purché si rispetti l'organizzazione oraria presente nei fogli.

Questi dati sono presenti, organizzati su base oraria, nei fogli **Temperature, Umidità e Irraggiamento**, come illustrato nella figura seguente:

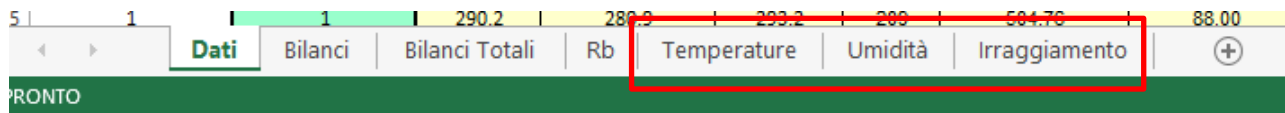


Tabella 74: Organizzazione di fogli di calcolo

Gli altri fogli di calcolo sono immutati e forniscono risultati congruenti con le tabelle suddette.

5.4.2 Precauzioni

Prima di utilizzare il foglio *R5C1* è bene fare una copia di back-up.

Si è più volte ripetuto che è possibile modificare ogni formula ed ogni valore del foglio di calcolo per analizzare le ipotesi più disparate. Si tenga presente che ogni cella del foglio elettronico contiene una formula che rende possibile gli automatismi indicati nei capitoli precedenti (calcolo dei vettori di input, VMC, portata d'aria variabile, attenuazione notturna).

Se si sovrascrivono le celle si cancellano le formule esistenti e quindi si perdono gli automatismi. Per questo motivo si consiglia di lavorare su copie del foglio originale.

La soluzione del modello *R5C1* (sia originale che completo) è stata organizzata su base oraria del giorno medio mensile. Questa scelta è stata dettata solo per facilitare l'utilizzo del foglio e non per limiti di calcolo. E' sempre possibile scegliere passi di calcolo diversi dall'ora o soluzioni per più giorni o per il reference year. Tuttavia è necessario riorganizzare il foglio per ogni modifica si desidera effettuare.

L'esperienza maturata nella preparazione di diversi fogli di calcolo con organizzazioni diverse da quelle sopra indicate porta alla conclusione che cercare di migliorare le ipotesi di calcolo non porta ad un incremento della precisione di calcolo. Più dati si richiedono più aumentano le probabilità di errori e la propagazione delle incertezze di misura.

Così, ad esempio, un passo di un quarto d'ora non porta quasi mai più precisione rispetto ad un passo orario. Un calcolo per più giorni, nella media annuale dei bilanci energetici, non porta a maggior precisione nei bilanci energetici. Va tenuto conto del fatto che il modello *R5C1* è sì dinamico ma semplificato rispetto a metodi di calcolo più avanzati.

I parametri da cui maggiormente dipendono i risultati, a parità di edificio ed ipotesi di calcolo, e la loro affidabilità sono quelli statistici relativi alla località considerata. E' su questi dati che occorre avere attenzione.

5.5 Esempi di simulazioni non standard

Si è più volte detto che il programma non effettua alcuna verifica sulla congruità dei vettori di input. Questa caratteristica, espressamente voluta, consente di effettuare simulazioni non standard, cioè non legate a formulazioni di calcolo predeterminate.

5.5.1 Caso 1 – Gradino di Irraggiamento solare

Ponendo la temperatura esterna pari a 7.4 °C (per il mese di dicembre), Umidità esterna costante e pari all'80% e imponendo un gradino di irraggiamento solare fra le ore 7,00 e 18,00 si ha la risposta riportata nella seguente figura.

Ora	Tsky	hr	I _{sky}	I _{sol}	F.int	F.sol	Te (°C)	Ta(°C)	Tvent(°C)	n
1	-0,41	4,32	33,69	0,0	418	-221,33	7,4	20,00	7,40	0,5
2	-0,54	4,31	33,78	0,0	418	-221,90	7,3	20,00	7,30	0,5
3	-0,80	4,30	33,95	0,0	418	-223,04	7,1	20,00	7,10	0,5
4	-1,06	4,29	34,13	0,0	418	-224,19	6,9	20,00	6,90	0,5
5	-1,19	4,28	34,21	0,0	418	-224,76	6,8	20,00	6,80	0,5
6	-1,32	4,28	34,30	0,0	418	-225,34	6,7	20,00	6,70	0,5
7	-1,32	4,28	34,30	250,0	418	1778,33	6,7	20,00	6,70	0,5
8	-0,15	4,33	33,52	250,0	418	1257,28	7,6	20,00	7,60	0,5
9	1,14	4,38	32,68	250,0	418	1060,83	8,6	20,00	8,60	0,5
10	2,41	4,43	31,90	250,0	418	890,46	9,6	20,00	9,60	0,5
11	3,89	4,50	31,09	250,0	418	727,02	10,8	20,00	10,80	0,5
12	5,44	4,57	30,41	250,0	418	555,83	12,1	20,00	12,10	0,5
13	6,81	4,63	30,03	250,0	418	733,94	13,3	20,00	13,30	0,5
14	6,92	4,63	30,02	250,0	418	902,85	13,4	20,00	13,40	0,5
15	6,70	4,62	30,06	250,0	418	1078,08	13,2	20,00	13,20	0,5
16	6,70	4,62	30,06	250,0	418	1280,03	13,2	20,00	13,20	0,5
17	5,32	4,56	30,45	250,0	418	1803,60	12,0	20,00	12,00	0,5
18	4,01	4,50	31,03	250,0	418	2930,41	10,9	20,00	10,90	0,5
19	2,78	4,45	31,68	0,0	418	-208,14	9,9	20,00	9,90	0,5
20	2,15	4,42	32,05	0,0	418	-210,55	9,4	20,00	9,40	0,5
21	1,39	4,39	32,52	0,0	418	-213,62	8,8	20,00	8,80	0,5
22	0,63	4,36	33,01	0,0	418	-216,85	8,2	20,00	8,20	0,5
23	0,37	4,35	33,18	0,0	418	-217,96	8,0	20,00	8,00	0,5
24	-0,41	4,32	33,69	0,0	418	-221,33	7,4	20,00	7,40	0,5

Tabella 75: Ipotesi di un gradino di irraggiamento solare

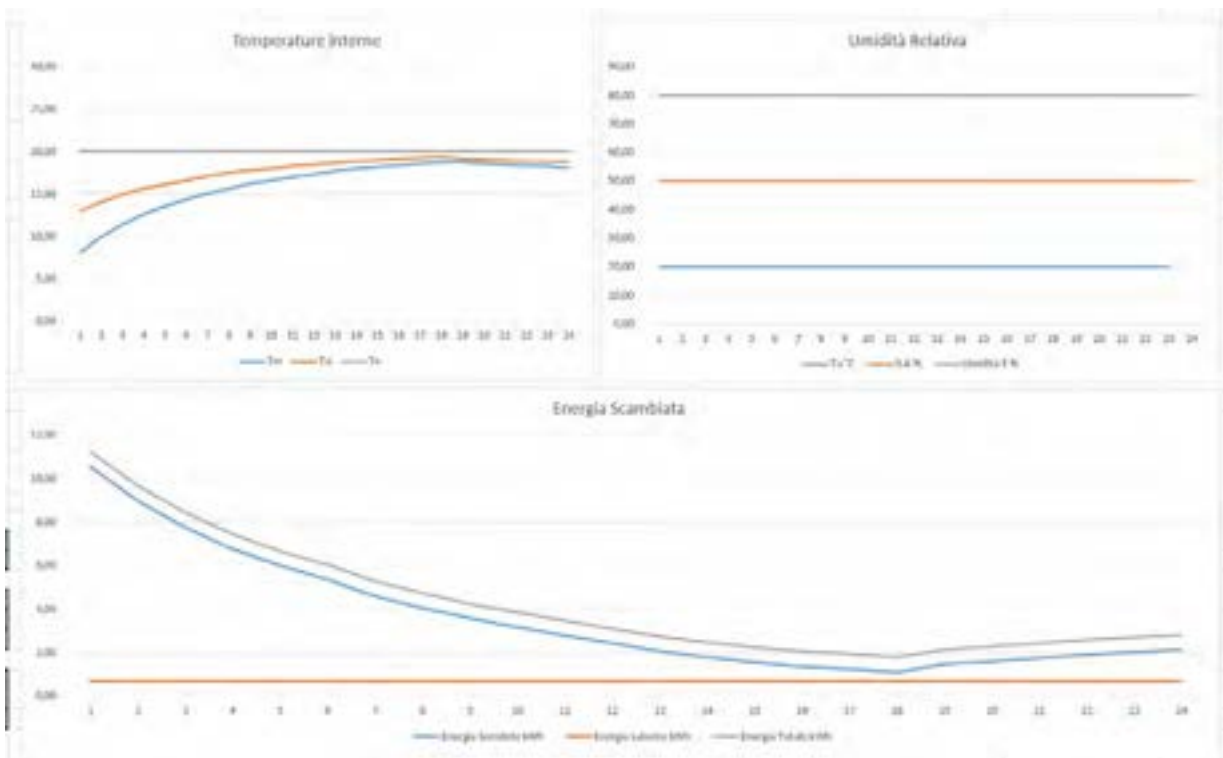


Figura 35: Risposta al gradino di irraggiamento solare

5.5.2 Caso 2 – Gradino di Temperatura

Si supponga nullo l'irraggiamento solare e si imponga un gradino di temperatura a 20 °C fra le 8,00 e le 19,00. Si hanno i risultati di figura seguente.

Ora	Tsky	hr	I-sky	I.sol	F.int	F.sol	Te (°C)	Ta(°C)	Tvent(°C)	n
1	-0,93	4,29	34,04	0,0	418	-223,61	7,0	20,00	7,00	0,5
2	-0,93	4,29	34,04	0,0	418	-223,61	7,0	20,00	7,00	0,5
3	-0,93	4,29	34,04	0,0	418	-223,61	7,0	20,00	7,00	0,5
4	-0,93	4,29	34,04	0,0	418	-223,61	7,0	20,00	7,00	0,5
5	-0,93	4,29	34,04	0,0	418	-223,61	7,0	20,00	7,00	0,5
6	-0,93	4,29	34,04	0,0	418	-223,61	7,0	20,00	7,00	0,5
7	-0,93	4,29	34,04	0,0	418	-223,61	7,0	20,00	7,00	0,5
8	13,03	4,95	34,52	0,0	418	-226,76	20,0	20,00	20,00	0,5
9	13,03	4,95	34,52	0,0	418	-226,76	20,0	20,00	20,00	0,5
10	13,03	4,95	34,52	0,0	418	-226,76	20,0	20,00	20,00	0,5
11	13,03	4,95	34,52	0,0	418	-226,76	20,0	20,00	20,00	0,5
12	13,03	4,95	34,52	0,0	418	-226,76	20,0	20,00	20,00	0,5
13	13,03	4,95	34,52	0,0	418	-226,76	20,0	20,00	20,00	0,5
14	13,03	4,95	34,52	0,0	418	-226,76	20,0	20,00	20,00	0,5
15	13,03	4,95	34,52	0,0	418	-226,76	20,0	20,00	20,00	0,5
16	13,03	4,95	34,52	0,0	418	-226,76	20,0	20,00	20,00	0,5
17	13,03	4,95	34,52	0,0	418	-226,76	20,0	20,00	20,00	0,5
18	13,03	4,95	34,52	0,0	418	-226,76	20,0	20,00	20,00	0,5
19	13,03	4,95	34,52	0,0	418	-226,76	20,0	20,00	20,00	0,5
20	-0,93	4,29	34,04	0,0	418	-223,61	7,0	20,00	7,00	0,5
21	-0,93	4,29	34,04	0,0	418	-223,61	7,0	20,00	7,00	0,5
22	-0,93	4,29	34,04	0,0	418	-223,61	7,0	20,00	7,00	0,5
23	-0,93	4,29	34,04	0,0	418	-223,61	7,0	20,00	7,00	0,5
24	-0,93	4,29	34,04	0,0	418	-223,61	7,0	20,00	7,00	0,5

Tabella 76: Vettori di ingresso con gradino di temperatura

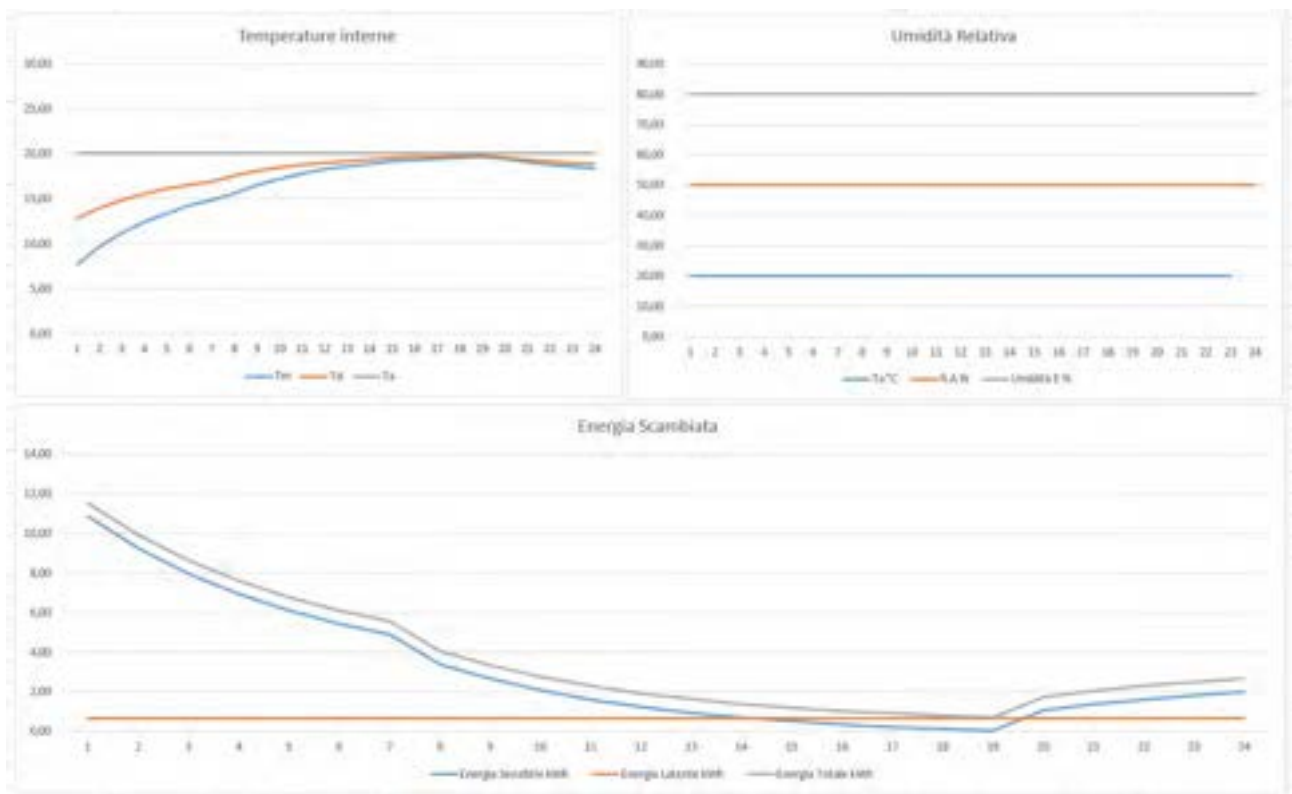


Figura 36: Risposta al gradino di temperatura

5.5.3 Caso 3 – Gradino di Umidità Relativa Esterna

Si supponga di avere irraggiamento nullo, temperatura esterna costante a 20 °C e con un gradino di umidità relativa di 90%. Si hanno i risultati di figura seguente.

Umidità E	Pvs.E	pE	xiV	Pvs.V	xV	pVs.A (Pa)	xA	rho.aria	xv,x
%	%	Pa	kg.v/kg.as	Pa	kg.v/kg.as	Pa	kg.v/kg.as	kg/m ³	kW/K
10	10	1002,94	0,0006	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
10	10	1002,94	0,0006	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
10	10	1002,94	0,0006	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
10	10	1002,94	0,0006	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
10	10	1002,94	0,0006	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
10	10	1002,94	0,0006	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
90	90	1002,94	0,0057	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
90	90	1002,94	0,0057	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
90	90	1002,94	0,0057	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
90	90	1002,94	0,0057	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
90	90	1002,94	0,0057	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
90	90	1002,94	0,0057	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
90	90	1002,94	0,0057	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
90	90	1002,94	0,0057	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
90	90	1002,94	0,0057	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
90	90	1002,94	0,0057	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
90	90	1002,94	0,0057	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
90	90	1002,94	0,0057	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
90	90	1002,94	0,0057	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
10	10	1002,94	0,0006	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
10	10	1002,94	0,0006	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
10	10	1002,94	0,0006	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
10	10	1002,94	0,0006	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879
10	10	1002,94	0,0006	1002,94	0,0000	2340,572	0,0074	1,37	125,879

Tabella 77: Vettori di umidità relativa con gradino

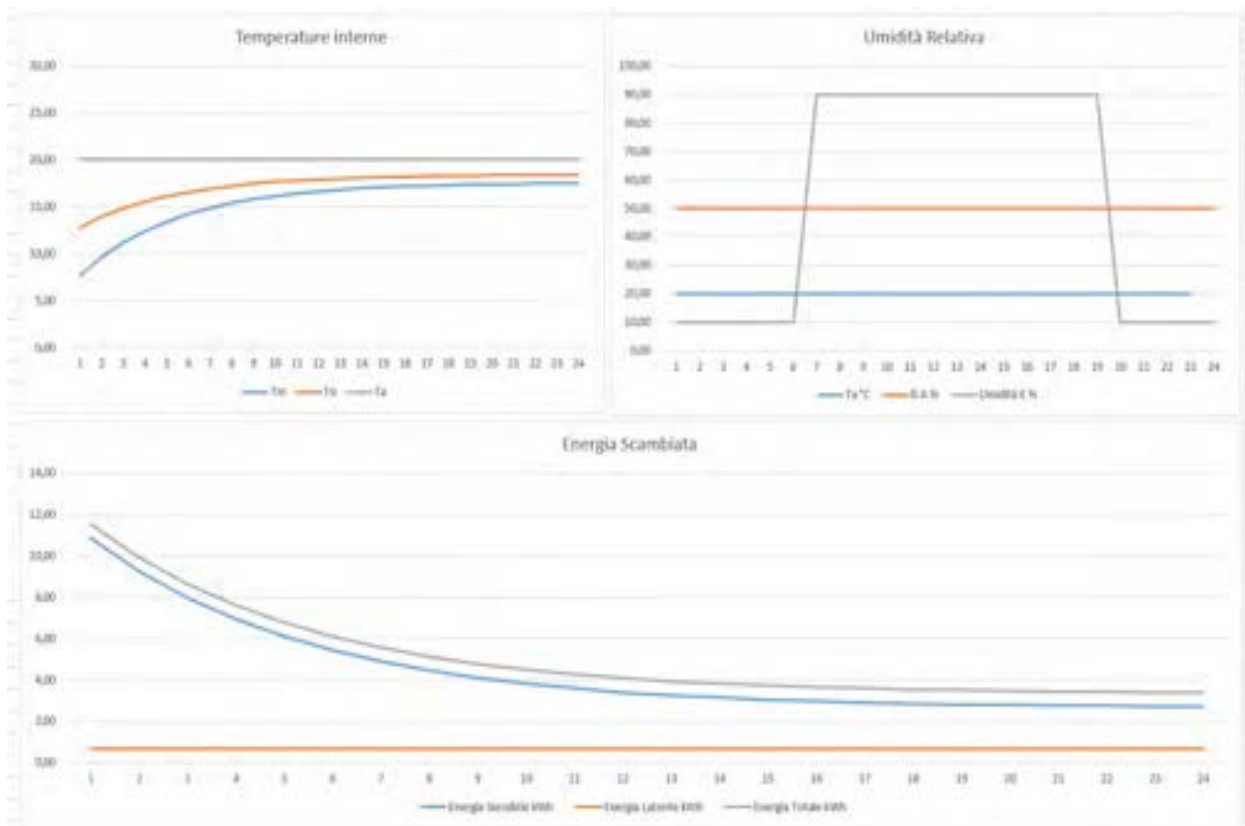


Figura 37: Risposta al gradino di umidità relativa

5.6 Conclusioni sull'uso del modello

Nel considerare le risposte va tenuto conto che il modello R5C1 tiene conto di tutti gli input e quindi le risposte tengono conto di questi vettori.

Si possono avere tutte le combinazioni di carico desiderate ma al tempo stesso occorre verificarne la congruità.

Si ricordi che la struttura dei dati geometrici e termofisici di input del foglio è stata limitata ad una sola riga per le pareti ed una per le finestre per ciascuna esposizione possibile.

Pertanto nel caso di edifici non omogenei valgono le considerazioni svolte nei paragrafi precedenti.

6 Confronto fra modello statico e Modello R5C1

Si presentano di seguito alcuni confronti fra modello statico e modello dinamico R5C1 relativi ad edifici pubblici reali dei quali si hanno sia i dati costruttivi che di consumo di energia. Si procederà utilizzando dati di edifici reali per i quali si hanno calcoli statici e, in alcuni casi, dati di consumi energetici in modo da effettuare un confronto sia fra i modelli di calcolo (statico e dinamico) che, ove possibile, sui consumi energetici.

Per questi casi si dispone di scarsi dati. In genere si hanno solamente i calcoli statici senza alcun disegno o altri dati. Il calcolo statico è stato effettuato con il software *Termolog*[®] (aggiornato al luglio 2015) che consente di utilizzare l'input grafico e di visualizzare i risultati anche in forma tabellare.

Da *Termolog*[®] si può avere una tabella riepilogativa sia dei dati geometrici che di involucro. Da questa tabella si sono desunti i dati da riportare nel foglio di calcolo R5C1. Pertanto i dati per il foglio R5C1 sono desunti unicamente dai dati forniti dal programma *Termolog*[®].

Il calcolo dinamico è effettuato per località simili alle località reali, cioè per località per le quali sono disponibili dati meteorologici, come richiesto dal foglio di calcolo in Excel sopra descritto. Nel fare ciò si è cercata una località appartenente al data base IG DG che fosse della stessa zona climatica e con clima il più possibile simile. Purtroppo non si dispone dei dati climatici per i piccoli comuni dell'hinterland etneo. Pertanto si sono utilizzati i seguenti foglio di calcolo:

- Per zona climatica B la località di riferimento è CATANIA;
- Per zona climatica C la località di riferimento è NAPOLIA;
- Per zona climatica D la località di riferimento è ROMA;
- Per zona climatica E la località di riferimento è BOLOGNA.

Per ulteriore confronto si effettuano anche i calcoli per le località di riferimento IG DG e si confrontano i risultati con le località simulate. In questo modo si possono avere informazioni sugli errori possibili per località non censite dal IG DG.

Il modello R5C1 è sensibile alla radiazione solare calcolata sulle varie esposizioni. Pertanto i fogli di calcolo, pur con riferimento a località con gradi - giorno simili, tengono conto delle corrette latitudini, secondo la seguente tabella:

Località	Gradi - Giorni	Zona Climatica	Latitudine	Altitudine (m s.l.m.)
Caltagirone	1398	C	37° 49'	608
Catania	833	B	37° 30'	7
Maletto	2268	E	37° 49'	960
Vizzini	1478	D	37° 9'	586

Tabella 78: Dati per le località esaminate

Le ipotesi di calcolo per i casi – esempio considerati sono le seguenti:

- Impianti accesi per il numero di ore corrispondenti alle zone climatiche;
- Assenza di attenuazione della temperatura;
- Assenza della Ventilazione meccanica controllata.

Pertanto il centro di controllo per tutti i casi è quello di tabella seguente:

VMC	0	T mandata	17	Um. Aria. Vent. Est.	70
Port. Variab	0	n.ric.var	1	Um. Aria. Vent. Inv.	40
Attenuazione	0	Temp. Atten	16	C. Lat.S.Int (W/m ²)	2,8
Coef. Sorg. Int	4,75	[W/m ²]			
I-sky,nom	36	[W/m ²]	U.R. Ar. VMC	90	%
Temp. Aria Int	20	°C	U.R. Aria Int.	50	%
Pressione Totale	0,89	Bar	Coeff. Infil. fL	0	m

Tabella 79: Centro di controllo per i casi – esempio considerati

Caso per caso si è indicata la pressione totale dell'aria esterna corretta in funzione dell'altitudine.

6.1 Caso 1 – Edificio sito a Catania

Si tratta di una palazzina residenziale, vedi figura seguente, adibita ad uffici sita a Catania.



Figura 38: Palazzina residenziale a Catania

L'orografia assonometrica è data nella seguente figura.

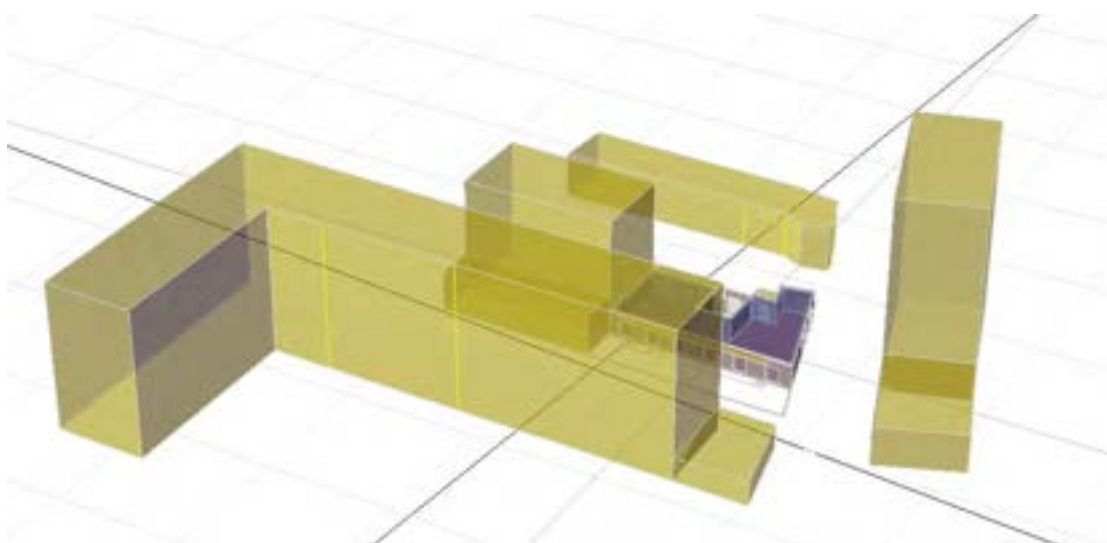


Figura 39: Orografia assonometrica della palazzina uffici

La pianta della palazzina è riportata nella seguente figura:

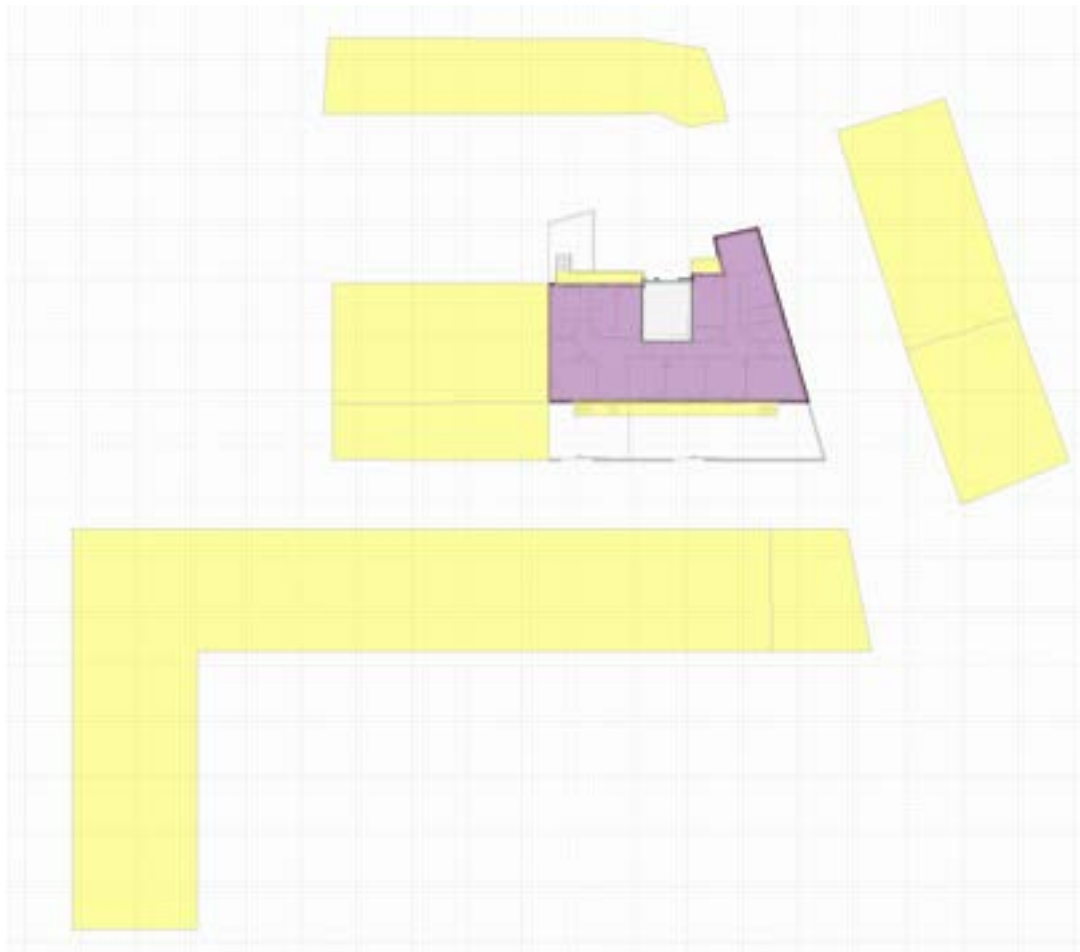


Figura 40: Pianta della palazzina per uffici a Catania

Riportando i dati nel foglio di calcolo R5C1 in Excel si ha la tabella seguente:

Parete	U	b.tr	S	a o g	Fsh	Asol.est
Nord	1,114	1	33,08	0,6	1	
Fin. Nord	3,035	1	10,26	0,7	0,9	0,691
Sud	1,114	1	52,92	0,5	1	
Fin. Sud	2,8	1	3,30	0,7	0,9	0,222
Est	1,4	1	0,00	0,5	1	
Fin. Est	2,958	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Ovest	1,4	1	0,00	0,5	1	
Fin. Ovest	1,114	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Nord Est	1,114	1	48,02	0,5	1	
Fin. NE	2,958	1	5,82	0,7	0,9	0,392
Nord Ovest	1,4	1	0,00	0,5	1	
Fin. NW	5	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Sud Est	1,4	1	0,00	0,5	1	
Fin. SE	5	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Sud Ovest	1,4	1	0,00	0,5	1	
Fin. SW	5	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Pavimento	1,6	0	236,64	0		
Soffitto	1,6	1	236,64	0,6		
Pareti Int.	1,554	0	64,00	0		

Tabella 80: Dati dell'edificio per uffici per il modello R5C1

I dati di input statici sono riassunti nella seguente tabella dalla quale sono stati desunti i dati di involucro per il foglio di calcolo R5C1:

Tipologia	Verso	Or.	A o l'ordine	ΔA	A netta	U o W	Hiv	Bosx	H
Ponte termico	Esterno	-	22,75	-	-	-0,302	-6,864	1	-6,864
Ponte termico	Esterno	-	9,75	-	-	0,497	-4,841	1	-4,841
Ponte termico	Esterno	-	30,41	-	-	0,485	14,755	1	14,755
Ponte termico	Esterno	-	94,77	-	-	0,536	29,363	1	29,363
Parete	Esterno	N	27,93	8,43	19,5	1,114	21,73	1	21,73
Serramento	Esterno	N	3,45	-	3,45	2,994	10,328	1	10,328
Cassonetto	Esterno	N	0,45	-	0,45	6	2,7	1	2,7
Ponte termico	Esterno	N	7,6	-	-	0,175	1,332	1	1,332
Serramento	Esterno	N	2,88	-	2,88	3,035	8,726	1	8,726
Cassonetto	Esterno	N	0,38	-	0,38	6	2,25	1	2,25
Ponte termico	Esterno	N	7,1	-	-	0,175	1,245	1	1,245
Serramento	Esterno	N	1,05	-	1,05	2,989	3,138	1	3,138
Cassonetto	Esterno	N	0,23	-	0,23	6	1,35	1	1,35
Ponte termico	Esterno	N	4,3	-	-	0,175	0,754	1	0,754
Parete	Esterno	W	1,66	-	1,66	1,114	1,852	1	1,852
Parete	Esterno	N	9,18	3,25	5,93	1,114	6,608	1	6,608
Serramento	Esterno	N	2,88	-	2,88	3,035	8,726	1	8,726
Cassonetto	Esterno	N	0,38	-	0,38	6	2,25	1	2,25
Ponte termico	Esterno	N	7,1	-	-	0,175	1,245	1	1,245
Parete	Esterno	SW	11,13	-	11,13	1,114	12,402	1	12,402
Parete	Esterno	N	13,58	-	13,58	1,114	15,124	1	15,124
Parete	Esterno	NE	54,85	6,83	48,02	1,114	53,494	1	53,494
Serramento	Esterno	NE	3,65	-	3,65	2,958	10,807	1	10,807
Cassonetto	Esterno	NE	0,54	-	0,54	6	3,24	1	3,24
Ponte termico	Esterno	NE	8,2	-	-	0,175	1,437	1	1,437
Serramento	Esterno	NE	1,05	-	1,05	2,989	3,138	1	3,138
Cassonetto	Esterno	NE	0,23	-	0,23	6	1,35	1	1,35
Ponte termico	Esterno	NE	4,3	-	-	0,175	0,754	1	0,754
Serramento	Esterno	NE	0,56	-	0,56	3,189	1,786	1	1,786
Cassonetto	Esterno	NE	0,12	-	0,12	6	0,72	1	0,72
Ponte termico	Esterno	NE	3,6	-	-	0,175	0,631	1	0,631
Serramento	Esterno	NE	0,56	-	0,56	3,189	1,786	1	1,786
Cassonetto	Esterno	NE	0,12	-	0,12	6	0,72	1	0,72
Ponte termico	Esterno	NE	3,6	-	-	0,175	0,631	1	0,631
Parete	Esterno	S	78,47	25,55	52,92	1,114	58,96	1	58,96
Serramento	Esterno	S	3,65	-	3,65	2,958	10,807	1	10,807
Cassonetto	Esterno	S	0,54	-	0,54	6	3,24	1	3,24
Ponte termico	Esterno	S	8,2	-	-	0,175	1,437	1	1,437
Serramento	Esterno	S	3,65	-	3,65	2,958	10,807	1	10,807
Cassonetto	Esterno	S	0,54	-	0,54	6	3,24	1	3,24
Ponte termico	Esterno	S	8,2	-	-	0,175	1,437	1	1,437
Serramento	Esterno	S	3,79	-	3,79	2,975	11,29	1	11,29
Cassonetto	Esterno	S	0,5	-	0,5	6	2,97	1	2,97
Ponte termico	Esterno	S	7,9	-	-	0,175	1,385	1	1,385
Serramento	Esterno	S	3,79	-	3,79	2,975	11,29	1	11,29
Cassonetto	Esterno	S	0,5	-	0,5	6	2,97	1	2,97
Ponte termico	Esterno	S	7,9	-	-	0,175	1,385	1	1,385
Parete	Appartamento	-	35,74	-	35,74	1,114	39,821	0	0
Parete	Vano scale	-	16,29	-	16,29	1,554	25,311	0,4	10,124
Parete	Vano scale	-	14,8	-	14,8	1,554	22,986	0,4	9,194
Parete	Vano scale	-	17,79	-	17,79	1,554	27,635	0,4	11,054
Pavimento	Garage	-	236,64	-	236,64	1,6	378,629	0,8	302,903
Pavimento	Appartamento	-	236,64	-	236,64	1,6	378,629	0	0

Tabella 81: Dati di input della palazzina uffici a Catania

Le ipotesi di calcolo sono indicate nel seguente riepilogo:

PRINCIPALI RISULTATI DEL CALCOLO - N.E.T. - Comune di ubicazione dell'edificio: Catania

Dati geometrici
 Superficie utile Su: 22431 m²
 Volume lordo V: 79433 m³
 Superficie dipendente Sdep: 46232 m²

FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA

Riscaldamento-involucro	Q _{U,inf}	13,242 kWh	Indice di prestazione	IP _{U,inf}	14,0 kWh/(m ² .anno)		
Acqua calda sanitaria	Q _{U,ac}	394,2 kWh	Indice di prestazione	IP _{U,ac}	5,5 kWh/(m ² .anno)		
Raffrescamento-involucro	Q _{U,inf}	5,275,8 kWh	Indice di prestazione	IP _{U,inf}	5,8 kWh/(m ² .anno)	Prestazione limite	EP _{U,inf} lim (4,00 kWh/(m ² .anno))

RISCALDIMENTO: fabbisogno di energia primaria e rendimenti

Energia primaria riscaldamento	Q _{U,pr}	18,412 kWh	Indice di prestazione	IP ₁	25,88 kWh/(m ² .anno)	Prestazione limite	EP ₁ lim 7,47 kWh/(m ² .anno)
Classe energetica/riscaldamento		G	Rendimento globale stagionale	η _{G,1}	6,665	Rendimento globale limite	η _{G,1} lim 8,817
Energia primaria rinnovabile	Q _{U,pr,ren}	5,000 kWh	Quota rinnovabile	Q _{U,pr}	5,2 %		
Energia primaria totale	Q _{U,pr,tot}	18,412 kWh	Indice di prestazione totale	EP _{1,tot}	25,81 kWh/(m ² .anno)		

ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogno di energia primaria e rendimenti

Energia primaria ACS	Q _{U,ac}	347,3 kWh	Indice di prestazione	EP _{ACS}	6,78 kWh/(m ² .anno)	Prestazione limite	EP _{ACS} lim - kWh/(m ² .anno)
Classe energetica ACS		A	Rendimento globale stagionale	η _{G,ACS}	5,704	Rendimento globale limite	η _{G,ACS} lim -
Energia primaria rinnovabile	Q _{U,ac,ren}	5,000 kWh	Quota rinnovabile	Q _{U,ac}	5,2 %	Valore minimo	Q _{U,ac,ren} lim 55,2 %
Energia primaria totale	Q _{U,ac,tot}	342,3 kWh	Indice di prestazione totale	EP _{ACS,tot}	6,78 kWh/(m ² .anno)		

FABBISOGNO GLOBALE: energia primaria e rendimenti

Energia primaria globale	Q _{U,pr,tot}	25,258 kWh	Indice di prestazione	EP _g	25,79 kWh/(m ² .anno)	Prestazione limite	EP _g lim 7,47 kWh/(m ² .anno)
Classe energetica globale		F	Rendimento globale stagionale	η _{G,pr}	5,667	Rendimento globale limite	η _{G,pr} lim -
Energia primaria rinnovabile	Q _{U,pr,tot,ren}	5,000 kWh	Quota rinnovabile	Q _{U,pr}	5,2 %	Valore minimo	Q _{U,pr,tot,ren} lim 35,2 %
Energia primaria	Q _{U,pr,tot}	25,258 kWh	Emissioni CO2		5,20 kg/m ² .anno		

Tabella 85: Riepilogo dei calcoli statici per la palazzina uffici sita a Catania

Si osservi che l'EP_{Cl} risulta pari a **25.01 kWh/(m³.anno)** contro l'analogo valore calcolato con il modello R5C1 pari a **14.11 kWh/(m³.anno)**.

Eseguito il bilancio annuale con il modello completo (calore sensibile più calore latente) si hanno i risultati riportati nella seguente tabella:

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ora	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	23,17	21,97	20,56	16,73	-0,27	-1,03	-1,71	-2,10	-1,48	7,33	13,69	20,36
2	19,84	18,84	17,70	14,38	-0,18	-0,96	-1,56	-1,90	-1,33	6,22	11,61	17,40
3	17,40	16,58	15,73	12,71	-0,11	-0,87	-1,38	-1,74	-1,21	5,48	10,11	15,25
4	15,61	14,93	14,37	11,57	-0,04	-0,81	-1,24	-1,58	-1,09	5,05	8,97	13,66
5	14,26	13,77	13,37	10,63	-0,08	-0,91	-1,33	-1,56	-1,05	4,80	8,14	12,51
6	13,27	12,96	12,60	9,75	-0,16	-1,12	-1,58	-1,58	-1,07	4,66	7,54	11,74
7	12,47	12,42	11,98	8,72	-0,31	-1,43	-1,96	-1,69	-1,16	4,53	7,06	11,23
8	11,55	11,43	10,61	7,07	-0,60	-1,79	-2,46	-2,19	-1,56	3,37	6,06	10,31
9	10,26	9,95	8,56	4,63	-1,03	-2,31	-3,18	-3,04	-2,22	1,20	4,56	8,88
10	8,66	7,90	5,67	1,45	-1,66	-2,94	-6,14	-6,10	-3,25	-2,08	2,43	6,96
11	7,04	5,97	3,18	-1,11	-1,88	-5,33	-9,03	-8,91	-4,91	-3,18	0,54	5,14
12	5,48	4,13	1,04	-2,11	-1,90	-7,18	-11,18	-10,86	-6,90	-3,39	-1,22	3,42
13	4,03	2,58	-0,56	-2,09	-2,86	-8,13	-12,33	-11,66	-7,94	-3,42	-2,46	1,90
14	3,02	1,52	-1,73	-2,06	-3,71	-8,95	-13,33	-12,60	-8,76	-3,42	-2,48	0,92
15	2,49	1,05	-1,68	-1,99	-4,08	-9,35	-13,74	-12,95	-8,94	-3,27	-2,35	0,52
16	2,47	1,19	-1,58	-1,88	-3,94	-9,19	-13,48	-12,68	-8,47	-3,03	-2,11	0,70
17	3,00	1,75	-1,44	-1,70	-3,37	-8,65	-12,77	-11,95	-7,54	-2,77	-1,90	1,34
18	3,91	2,82	-0,75	-1,50	-2,40	-7,74	-11,68	-10,75	-6,19	-2,48	-1,18	2,19
19	5,00	3,98	0,83	-1,26	-1,12	-6,91	-10,49	-9,14	-4,61	-2,16	0,01	3,22
20	5,79	4,82	1,96	-0,40	-0,94	-4,23	-7,87	-7,27	-3,34	-1,97	0,94	4,04
21	6,47	5,51	2,90	0,82	-0,76	-2,45	-5,95	-5,76	-2,31	-1,86	1,64	4,70
22	7,01	6,08	3,71	1,77	-0,60	-1,43	-4,19	-4,45	-2,02	-1,67	2,21	5,24
23	7,57	6,62	4,52	2,66	-0,46	-1,26	-2,73	-3,31	-1,82	-0,96	2,76	5,79
24	8,07	7,12	5,34	3,52	-0,36	-1,14	-1,88	-2,34	-1,66	-0,27	3,32	6,33
	217,83	195,87	146,93	90,33	-32,83	-96,12	-153,18	-148,12	-90,84	6,73	77,89	173,77

Tabella 86: Bilancio annuale del carico termico totale per la palazzina uffici a Catania

Da questa si ricavano gli indici di prestazione energetica di tabella seguente. Il valore di EP_{Cl} è ora pari a **19.46 kWh/(m³.anno)**. Nel comparare i valori sopra calcolati dell'EP_{Cl} occorre tenere conto che per Catania le ore di accensione dell'impianto (in inverno e in estate) sono quelle indicate nella tabella seguente:

Imp. Acce	Imp. Acce
Inverno	Estate
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
1	0
1	0
1	0
0	1
0	1
0	1
0	1
0	1
0	1
0	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	0
1	0
0	0
0	0

Tabella 87: Ore di accensione degli impianti per Catania

Se si confrontano gli indici di prestazione energetica di involucro estiva nei due casi si hanno i seguenti valori:

68,47	61,77	42,41	23,27	-28,89	-80,91	-125,22	-117,92	-73,06	-0,35	22,38	54,01	kWh/giorno
2122,57	1729,45	1314,65	0,00	-895,57	-2427,41	-3881,72	-3655,44	-2191,95	0,00	0,00	1674,27	kWh/mese
QH		6840,94 kWh/anno		QC		-13052,08 kWh/anno						
EPci.inv		10,95 kWh/(m ³ .anno)		Epce.inv		-62,68 kWh/(m ² .anno)						
Eta		0,67										
EPci		16,34 kWh/(m ² .anno)										

Tabella 88: Calcolo dell'energia primaria totale e degli indici di prestazione energetica

- $EP_{CE,inv} = 16,34 \text{ kWh}/(\text{m}^3 \cdot \text{anno})$ nel caso di presenza anche del calore latente;
- $EP_{CE,inv} = 14,11 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{anno})$ nel caso di presenza del solo calore sensibile.

Questo confronto fa comprendere come, per le condizioni psicrometriche di Catania, l'influenza del calore latente sia notevole.

In inverno, infatti, quando l'umidità esterna scende al di sotto del 50% (valore imposto per l'ambiente) si ha un calore latente negativo che riduce il carico totale dell'edificio. Viceversa, quando in estate l'umidità supera il 50% si ha un carico latente positivo che incrementa, notevolmente, il carico totale dell'edificio.

6.2 Caso 2 – Edificio residenziale isolato sito a Maletto

Si tratta di un edificio residenziale isolato sito a Maletto (Zona E con 2268 gradi giorno), come illustrato nella figura seguente. Per esso si assume la località di riferimento BOLOGNA.



Figura 41: Edificio residenziale isolato a Maletto

Nelle figure seguenti si hanno la pianta tipo e l'orografia assometrica.

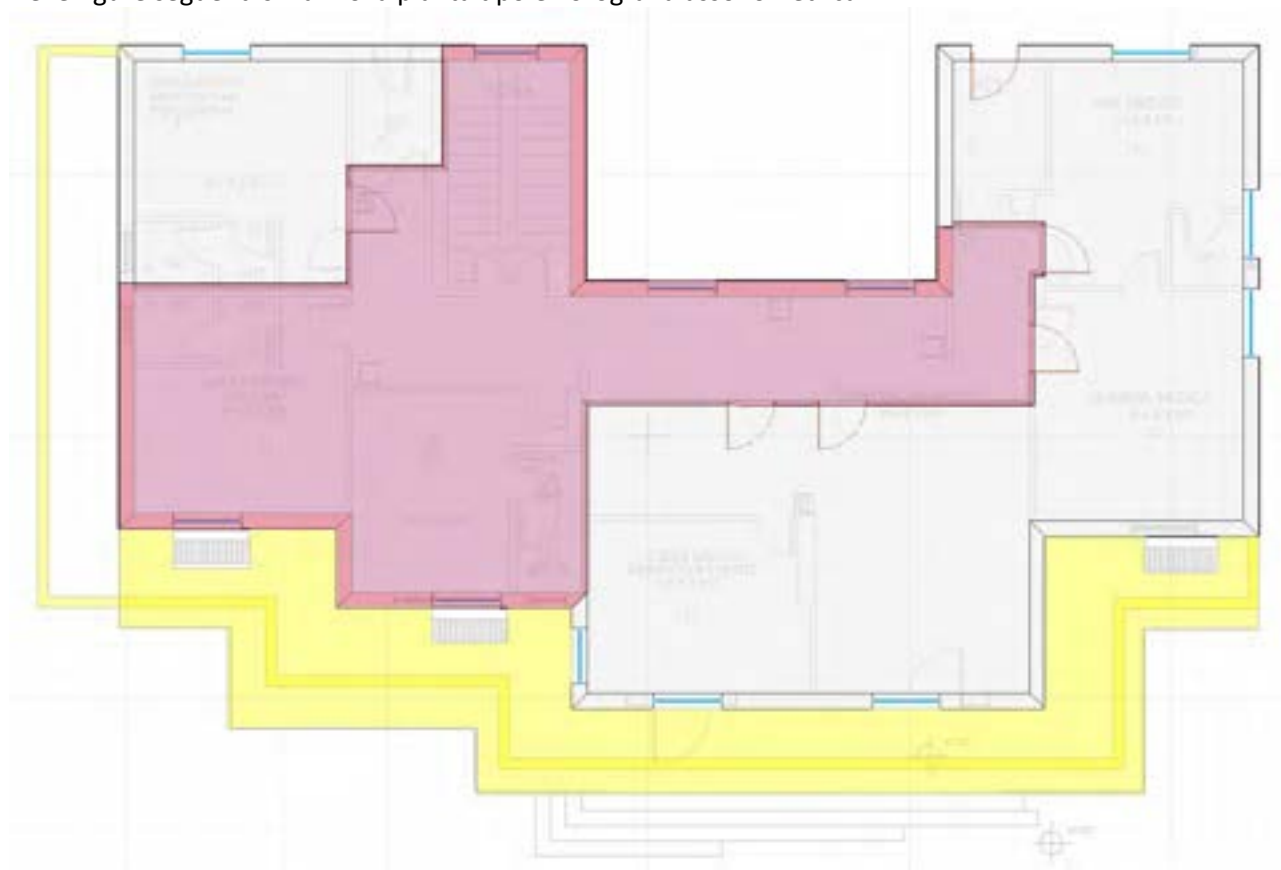


Figura 42: Pianta tipo dell'edificio isolato a Maletto

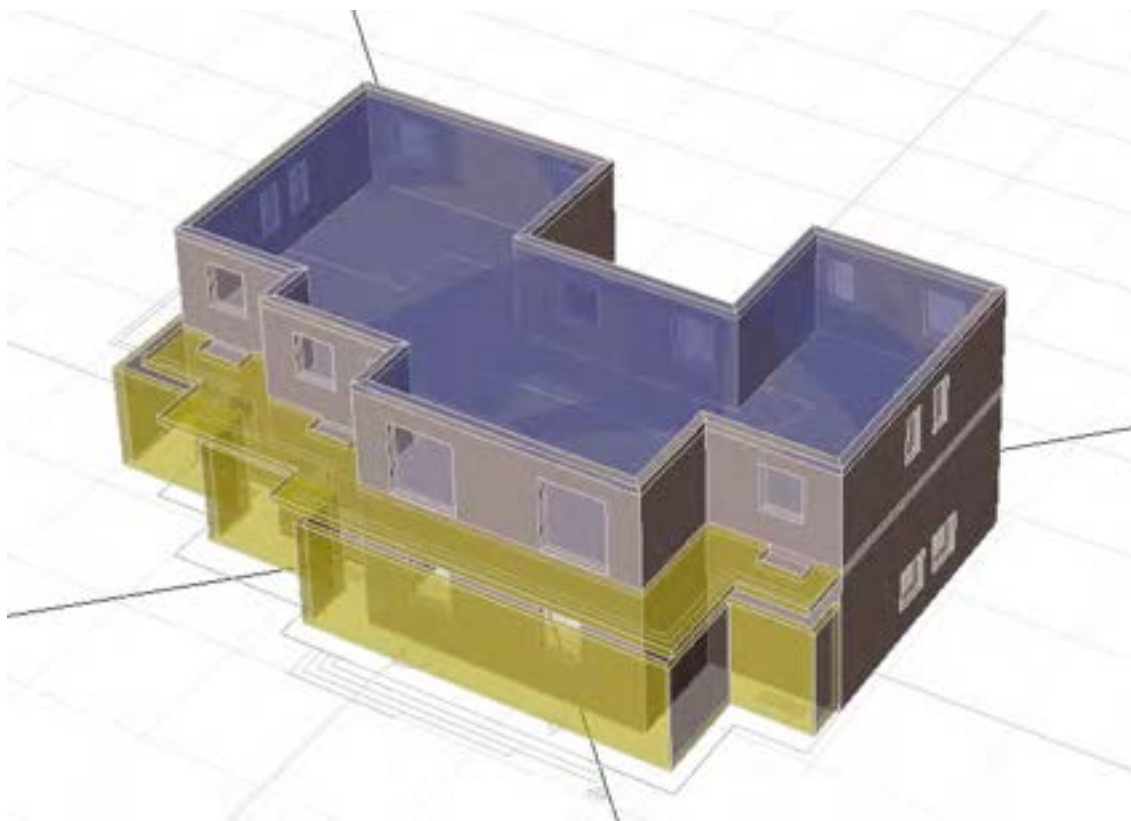


Figura 43: Vista assonometrica dell'edificio isolato a Maletto

I dati di input sono i seguenti:

Parete	U	b.tr	S	a o g	Fsh	Asol.est
Nord	1,114	1	0,00	0,6	1	
Finestra	2,982	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Sud	1,114	1	0,00	0,5	1	
Finestra	2,982	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Est	1,114	1	0,00	0,5	1	
Finestra	2,982	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Ovest	1,114	1	0,00	0,5	1	
Finestra	2,982	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Nord Est	1,114	1	78,82	0,5	1	
Finestra	2,982	1	2,26	0,7	0,9	0,175
Nord Ovest	1,114	1	104,95	0,5	1	
Finestra	2,982	1	13,79	0,7	0,9	1,071
Sud Est	1,114	1	94,27	0,5	1	
Finestra	2,982	1	20,96	0,7	0,9	1,628
Sud Ovest	1,114	1	91,82	0,5	1	
Finestra	2,982	1	2,26	0,7	0,9	0,175
Pavimento	1,6	0	341,31	0		
Soffitto	0,31	1	341,31	0,6		
Pareti Int.	0,74	0	258,18	0		

Tabella 89: Dati di input dell'edificio isolato a Maletto

Il centro di controllo è riportato nella seguente tabella.

VMC	0	T mandata	17	Um. Aria. Vent. Est.	70
Port. Variab	0	n.ric.var	1	Um. Aria. Vent. Inv.	40
Attenuazione	0	Temp. Atten	16	C. Lat.S.Int (W/m ²)	2,8
Coef. Sorg. Int	4,75	[W/m ²]			
I-sky	49,5	[W/m ²]	U.R. Ar. VMC	70	%
Temp. Aria Int	20	°C	U.R. Aria Int.	50	%
Pressione Totale	0,866	Bar	Coeff. Infiltr. fL	0	m

Tabella 90: Centro di controllo per edificio a Maletto

I calcoli energetici statici sono riportati nella seguente tabella:

PRINCIPALI RISULTATI DEL CALCOLO - Intero edificio - Comune di ubicazione dell'edificio: Maletto									
Dati geometrici									
Superficie utile Su 284,20 m ²									
Volume lordo V 1.148,93 m ³									
Superficie disperdente Sdisp 997,79 m ²									
FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA									
Riscaldamento involucro	QH,nd	85,013 kWh	Indice di prestazione	EP,inv	54,59 kWh/(m ² anno)				
Acqua calda sanitaria	QH,W	612,4 kWh	Indice di prestazione	EP,acq	0,53 kWh/(m ² anno)				
Raffrescamento involucro	QC,nd	793,8 kWh	Indice di prestazione	Epe,inv	0,69 kWh/(m ² anno)	Prestazione limite	Epe,inv,lim	10,00 kWh/(m ² anno)	
RISCALDAMENTO: fabbisogni di energia primaria e rendimenti									
Energia primaria riscaldamento	Qp,H	90,483 kWh	Indice di prestazione	Epi	78,75 kWh/(m ² anno)	Prestazione limite	EP,lim	21,11 kWh/(m ² anno)	
Classe energetica riscaldamento	G		Rendimento globale stagion	ηG,H	0,719	Rendimento globale limite	ηG,H,lim	0,809	
Energia primaria rinnovabile	Qp,H,ren	0,000 kWh	Quota rinnovabile	QR,H	0,0 %				
Energia primaria totale	Qp,H,tot	90,483 kWh	Indice di prestazione totale	Ep,H,tot	78,75 kWh/(m ² anno)				
ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogni di energia primaria e rendimenti									
Energia primaria ACS	Qp,W	763,2 kWh	Indice di prestazione	Ep,ACS	0,66 kWh/(m ² anno)	Prestazione limite	Ep,ACS,lim	- kWh/(m ² anno)	
Classe energetica ACS	A		Rendimento globale stagion	ηG,W	0,802	Rendimento globale limite	ηG,W,lim	-	
Energia primaria rinnovabile	Qp,W,ren	0,000 kWh	Quota rinnovabile	QR,ACS	0,0 %	Valore minimo	QR,ACS,min	50,0 %	
Energia primaria totale	Qp,W,tot	763,185 kWh	Indice di prestazione totale	Ep,ACS,tot	0,66 kWh/(m ² anno)				
FABBISOGNO GLOBALE: energia primaria e rendimenti									
Energia primaria globale	Qp,H,W	91,246 kWh	Indice di prestazione	Epgl	79,42 kWh/(m ² anno)	Prestazione limite	Epgl,lim	21,11 kWh/(m ² anno)	
Classe energetica globale	G		Rendimento globale stagion	ηG,H,W	0,719	Rendimento globale limite	ηG,H,W,lim	-	
Energia primaria rinnovabile	Qp,H,W,ren	0,000 kWh	Quota rinnovabile	QR,gl	0,0 %	Valore minimo	QR,gl,min	38,5 %	
Energia primaria	Qp,H,W,tot	91,246 kWh	Emissioni CO2		15,94 Kg/m ² anno				
RAFFRESCAMENTO: fabbisogni di energia primaria e rendimenti									
Energia primaria raffrescam.	Qp,C	793,885 kWh	Indice di prestazione	Ep,C	687,5 kWh/(m ² anno)				
			Rendimento globale stagion	ηG,C	0,001				
Energia primaria rinnovabile	Qp,C,ren	0,000 kWh	Quota rinnovabile	QR,C	0,0 %				
Energia primaria totale	Qp,C,tot	793,885 kWh	Indice di prestazione totale	Ep,C,tot	687,50 kWh/(m ² anno)				

Tabella 91: Calcolo energetici statici per Edificio isolato a Maletto

I bilanci annuali del calore sensibile sono riportati nella seguente tabella:

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ora	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	59,33	53,99	42,24	28,67	2,40	0,64	-0,82	-0,82	1,19	25,21	41,94	56,07
2	51,81	47,12	37,06	25,33	2,63	0,92	-0,43	-0,56	1,41	22,23	36,66	48,92
3	45,98	41,82	33,21	22,86	2,85	1,14	-0,06	-0,25	1,61	19,93	32,59	43,41
4	41,55	37,75	30,26	21,07	3,02	1,35	0,24	-0,06	1,72	18,13	29,47	39,17
5	38,23	34,62	28,06	19,64	3,07	1,30	0,30	0,06	1,92	16,93	27,07	35,91
6	35,67	32,28	26,44	18,29	3,02	1,03	0,18	0,06	2,06	16,01	25,18	33,48
7	33,75	30,46	25,02	16,39	2,89	0,59	-0,06	0,06	2,21	15,35	23,78	31,58
8	32,11	28,74	22,78	13,72	2,40	-0,12	-0,88	-0,69	1,72	13,55	22,38	29,93
9	30,44	26,96	20,36	10,91	1,61	-1,08	-2,27	-1,84	0,81	11,35	20,85	28,25
10	28,91	25,43	17,97	8,17	0,41	-2,42	-4,32	-3,66	-0,56	9,01	19,54	26,75
11	27,67	24,34	16,53	6,96	-0,31	-3,34	-5,46	-4,75	-1,49	7,51	18,54	25,44
12	25,52	22,04	13,23	3,22	-0,95	-5,45	-10,24	-7,62	-2,49	4,17	16,66	23,41
13	22,81	18,98	9,08	-1,56	-2,85	-11,63	-16,90	-14,00	-3,86	0,19	14,32	20,88
14	20,54	16,13	5,12	-1,82	-8,61	-17,80	-23,78	-20,18	-8,94	-2,72	12,52	18,94
15	18,92	13,86	2,01	-1,92	-13,26	-22,78	-29,52	-25,13	-12,61	-2,89	11,29	17,67
16	18,40	12,60	0,15	-1,92	-15,86	-25,96	-33,11	-27,94	-14,18	-2,83	11,00	17,42
17	19,15	12,99	0,31	-1,71	-16,75	-27,01	-34,18	-28,01	-13,44	-2,37	11,96	18,23
18	20,43	14,83	2,01	-1,40	-16,17	-26,75	-33,42	-26,37	-10,47	-1,35	13,16	19,19
19	21,52	16,78	5,11	-0,90	-18,65	-31,71	-37,26	-25,52	-6,17	1,72	14,46	20,30
20	22,31	18,06	7,72	-0,43	-9,28	-19,64	-25,20	-17,26	-2,37	3,70	15,33	21,06
21	22,91	19,11	9,94	0,56	-3,95	-12,95	-18,15	-12,11	-0,37	5,34	15,93	21,71
22	23,36	19,98	11,94	3,60	0,95	-7,19	-11,85	-7,33	0,35	6,58	16,38	22,20
23	23,80	20,66	13,41	5,82	1,87	-2,93	-7,37	-3,87	0,76	7,66	16,83	22,63
24	24,13	21,18	14,62	7,48	2,16	0,35	-3,76	-1,09	1,03	8,53	17,24	23,02
	709,24	610,71	394,56	201,03	-77,36	-211,44	-298,36	-228,87	-60,17	200,92	485,08	665,58

Tabella 92: Calcolo energetici per calore sensibile per l'Edificio isolato a Maletto

Il calcolo degli indici di prestazione energetica è riportato nella seguente tabella:

365,38	301,32	157,32	48,26	-104,62	-208,54	-273,82	-214,37	-76,15	59,73	241,71	340,76	kWh/giorno
11326,88	8436,94	4877,05	7791,01	-3243,27	-6256,12	-8488,31	-6645,54	-2284,45	895,89	7251,38	10563,60	kWh/mese
	QH	35204,47	kWh/anno				QC	-26917,70	kWh/anno			
	EPci.inv	39,07	kWh/(m³.anno)				Epce.inv	-89,62	kWh/(m².anno)			
	Eta	0,80										
	EPci	48,72	kWh/(m².anno)									

Tabella 93: Energia primaria e Indici di prestazione energetica per Edificio a Maletto

L'EP_{ci} calcolato con il metodo statico è pari a 78.75 kWh/(m³.anno) mentre con il metodo dinamico si ha il valore 48.72 kWh/(m³.anno).

Il bilancio annuale del calore totale è riportato in tabella seguente:

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ora	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	59,33	53,99	42,24	28,67	2,40	0,64	-0,82	-0,82	1,19	25,21	41,94	56,07
2	51,81	47,12	37,06	25,33	2,63	0,92	-0,43	-0,56	1,41	22,23	36,66	48,92
3	45,98	41,82	33,21	22,86	2,85	1,14	-0,06	-0,25	1,61	19,93	32,59	43,41
4	41,55	37,75	30,26	21,07	3,02	1,35	0,24	-0,06	1,72	18,13	29,47	39,17
5	38,23	34,62	28,06	19,64	3,07	1,30	0,30	0,06	1,92	16,93	27,07	35,91
6	35,67	32,28	26,44	18,29	3,02	1,03	0,18	0,06	2,06	16,01	25,18	33,48
7	33,75	30,46	25,02	16,39	2,89	0,59	-0,06	0,06	2,21	15,35	23,78	31,58
8	32,11	28,74	22,78	13,72	2,40	-0,12	-0,88	-0,69	1,72	13,55	22,38	29,93
9	30,44	26,96	20,36	10,91	1,61	-1,08	-2,27	-1,84	0,81	11,35	20,85	28,25
10	28,91	25,43	17,97	8,17	0,41	-2,42	-4,32	-3,66	-0,56	9,01	19,54	26,75
11	27,67	24,34	16,53	6,96	-0,31	-3,34	-5,46	-4,75	-1,49	7,51	18,54	25,44
12	25,52	22,04	13,23	3,22	-0,95	-5,45	-10,24	-7,62	-2,49	4,17	16,66	23,41
13	22,81	18,98	9,08	-1,56	-2,85	-11,63	-16,90	-14,00	-3,86	0,19	14,32	20,88
14	20,54	16,13	5,12	-1,82	-8,61	-17,80	-23,78	-20,18	-8,94	-2,72	12,52	18,94
15	18,92	13,86	2,01	-1,92	-13,26	-22,78	-29,52	-25,13	-12,61	-2,89	11,29	17,67
16	18,40	12,60	0,15	-1,92	-15,86	-25,96	-33,11	-27,94	-14,18	-2,83	11,00	17,42
17	19,15	12,99	0,31	-1,71	-16,75	-27,01	-34,18	-28,01	-13,44	-2,37	11,96	18,23
18	20,43	14,83	2,01	-1,40	-16,17	-26,75	-33,42	-26,37	-10,47	-1,35	13,16	19,19
19	21,52	16,78	5,11	-0,90	-18,65	-31,71	-37,26	-25,52	-6,17	1,72	14,46	20,30
20	22,31	18,06	7,72	-0,43	-9,28	-19,64	-25,20	-17,26	-2,37	3,70	15,33	21,06
21	22,91	19,11	9,94	0,56	-3,95	-12,95	-18,15	-12,11	-0,37	5,34	15,93	21,71
22	23,36	19,98	11,94	3,60	0,95	-7,19	-11,85	-7,33	0,35	6,58	16,38	22,20
23	23,80	20,66	13,41	5,82	1,87	-2,93	-7,37	-3,87	0,76	7,66	16,83	22,63
24	24,13	21,18	14,62	7,48	2,16	0,35	-3,76	-1,09	1,03	8,53	17,24	23,02
	709,24	610,71	394,56	201,03	-77,36	-211,44	-298,36	-228,87	-60,17	200,92	485,08	665,58

Tabella 94: Bilancio annuale del calore totale per l'edificio a Maletto

365,38	301,32	157,32	48,26	-100,68	-195,59	-255,67	-202,26	-75,78	59,73	241,71	340,76	kWh/giorno
11326,88	8436,94	4877,05	7791,01	-3120,94	-5867,57	-7925,77	-6270,09	-2273,29	895,89	7251,38	10563,60	kWh/mese
	QH	35204,47	kWh/anno			QC	-25457,67	kWh/anno				
	EPci.inv	39,07	kWh/(m³.anno)			EPce.inv	-84,76	kWh/(m².anno)				
	Eta	0,82										
	EPci	47,65	kWh/(m³.anno)									

Tabella 95: Bilancio annuale del calore totale per edificio a Maletto

L'EP_{ci} calcolato con il metodo statico è pari a 78.75 kWh/(m².anno) mentre con il metodo dinamico con il modello totale si ha il valore 47.65 kWh/(m³.anno).

Nel calcolo l'impianto è stato considerato acceso secondo quanto indicato nella seguente tabella:

Imp. Acce	Imp. Acce
Inverno	Estate
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
1	0
1	0
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
0	0
0	0
0	0

Tabella 96: Ore di accensione degli impianti per Maletto

Valgono le considerazioni già fatte per l'influenza del calore latente nel bilancio energetico degli edifici.

6.2.1 Edificio di Maletto simulato a Bologna

Si suppone ora di mantenere lo stesso edificio di Maletto ma di supportarlo realmente a Bologna. In questo caso la latitudine è 44° 49' e l'altitudine è 54 m.

Si sono rielaborati sia i calcolo statici che quelli dinamici. I primi forniscono i seguenti risultati:

PRINCIPALI RISULTATI DEL CALCOLO - Intero edificio - Comune di ubicazione dell'edificio: Bologna									
Dati geometrici									
Superficie utile Su 264,20 m ²									
Volume lordo V 1.148,92 m ³									
Superficie disperdente Sdisp 997,79 m ²									
FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA									
Riscaldamento invol...	QH,nd	77.246, kWh	Indice di prestazione	EPi,rv	67,23 kWh/(m ² anno)				
Acqua calda sanitaria	QH,W	578,0 kWh	Indice di prestazione	EPi,ter	0,50 kWh/(m ² anno)				
Raffrescamento invol...	QC,nd	7.688,4 kWh	Indice di prestazione	Epce,rv	6,62 kWh/(m ² anno)	Prestazione limite	Epce,rv,lim	10,00 kWh/(m ² anno)	
RISCALDAMENTO: fabbisogni di energia primaria e rendimenti									
Energia primaria risc...	Qp,H	107.508 kWh	Indice di prestazione	EpI	93,57 kWh/(m ² anno)	Prestazione limite	EPi,lim	18,83 kWh/(m ² anno)	
			Rendimento globale s...	ηG,H	0,719	Rendimento globale l...	ηG,H,lim	0,809	
Energia primaria rinn...	Qp,H,ren	0,000 kWh	Quota rinnovabile	QR,H	0,0 %				
Energia primaria totale	Qp,H,tot	107.508 kWh	Indice di prestazione...	EpI,tot	93,57 kWh/(m ² anno)				
ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogni di energia primaria e rendimenti									
Energia primaria ACS	Qp,W	720,3 kWh	Indice di prestazione	EpACS	0,63 kWh/(m ² anno)	Prestazione limite	EpACS,lim	0,88 kWh/(m ² anno)	
			Rendimento globale s...	ηG,W	0,802	Rendimento globale l...	ηG,W,lim	-	
Energia primaria rinn...	Qp,W,ren	0,000 kWh	Quota rinnovabile	QR,ACS	0,0 %	Valore minimo	QR,ACS,min	55,0 %	
Energia primaria totale	Qp,W,tot	720,340 kWh	Indice di prestazione...	EpACS,tot	0,63 kWh/(m ² anno)				
FABBISOGNO GLOBALE: energia primaria e rendimenti									
Energia primaria glob...	Qp,H,W	108.229 kWh	Indice di prestazione	EpG	94,20 kWh/(m ² anno)	Prestazione limite	EpG,lim	- kWh/(m ² anno)	
			Rendimento globale s...	ηG,H,W	0,719	Rendimento globale l...	ηG,H,W,lim	-	
Energia primaria rinn...	Qp,H,W,ren	0,000 kWh	Quota rinnovabile	QR,gI	0,0 %	Valore minimo	QR,gI,min	55,0 %	
Energia primaria	Qp,H,W,tot	108.229 kWh	Emissioni CO2		18,98 Kg/m ² anno				
RAFFRESCAMENTO: fabbisogni di energia primaria e rendimenti									
Energia primaria raffr...	Qp,C	1.654,7 kWh	Indice di prestazione	EpC	1,440, kWh/(m ² anno)				
			Rendimento globale s...	ηG,C	0,095				
Energia primaria rinn...	Qp,C,ren	0,000 kWh	Quota rinnovabile	QR,C	0,0 %				
Energia primaria totale	Qp,C,tot	1.654,7 kWh	Indice di prestazione...	EpC,tot	1,440, kWh/(m ² anno)				

Tabella 97: Risultati dei calcoli statici dell'edificio di Maletto posto a Bologna

I risultati del calcolo dinamico sono riassunti, per il solo calore sensibile, nella seguente tabella:

349,80	284,09	143,90	46,89	-116,66	-215,33	-278,42	-222,34	-88,62	55,85	230,47	327,60	kWh/giorno
10843,95	7954,40	4461,04	7791,01	-3616,40	-6459,86	-8631,09	-6892,41	-2658,65	837,79	6914,14	10155,47	kWh/mese
	QH	33414,86	kWh/anno				QC	-28258,41	kWh/anno			
	EPci.inv	37,08	kWh/(m ³ .anno)				Epce.inv	-94,08	kWh/(m ² .anno)			
	Eta	0,80										
	EPci	46,24	kWh/(m ² .anno)									

Tabella 98: Indici di prestazione energetica solo calore sensibile per edificio di Maletto posto a Bologna

Gli analoghi risultati con il calore totale sono:

349,80	284,09	143,90	46,89	-113,72	-204,32	-262,36	-211,20	-88,18	55,85	230,47	327,60	kWh/giorno
10843,95	7954,40	4461,04	7791,01	-3525,33	-6129,69	-8133,01	-6547,26	-2645,55	837,79	6914,14	10155,47	kWh/mese
	QH	33414,86	kWh/anno				QC	-26980,83	kWh/anno			
	EPci.inv	37,08	kWh/(m ³ .anno)				EPce.inv	-89,83	kWh/(m ² .anno)			
	Eta	0,82										
	EPci	45,22	kWh/(m ² .anno)									

Tabella 99: Indici di prestazione energetica calore totale per edificio di Maletto posto a Bologna

L'EP_{Cl} calcolato con il metodo statico è pari a 93.57 kWh/(m².anno) mentre con il metodo dinamico con il modello con solo calore sensibile è 46.24 mentre con il calore totale si ha il valore 45.22 kWh/(m³.anno). Il modello statico prevede un indice prestazionale ancora più elevato supponendo l'edificio realmente a Bologna rispetto al caso della simulazione di Maletto con i dati di Bologna.

6.3 Caso 3 - Edificio non residenziale e Vizzini

Si consideri l'edificio non residenziale sito a Vizzini (zona D con 1478 GG, località di riferimento ROMA), indicato in figura seguente. L'edificio è stato costruito nel 1940.



Figura 44: Edificio non residenziale a Vizzini

La planimetria è riportata in figura seguente:



Figura 45: Planimetria dell'edificio non residenziale a Vizzini

La planimetria assonometrica è la seguente:

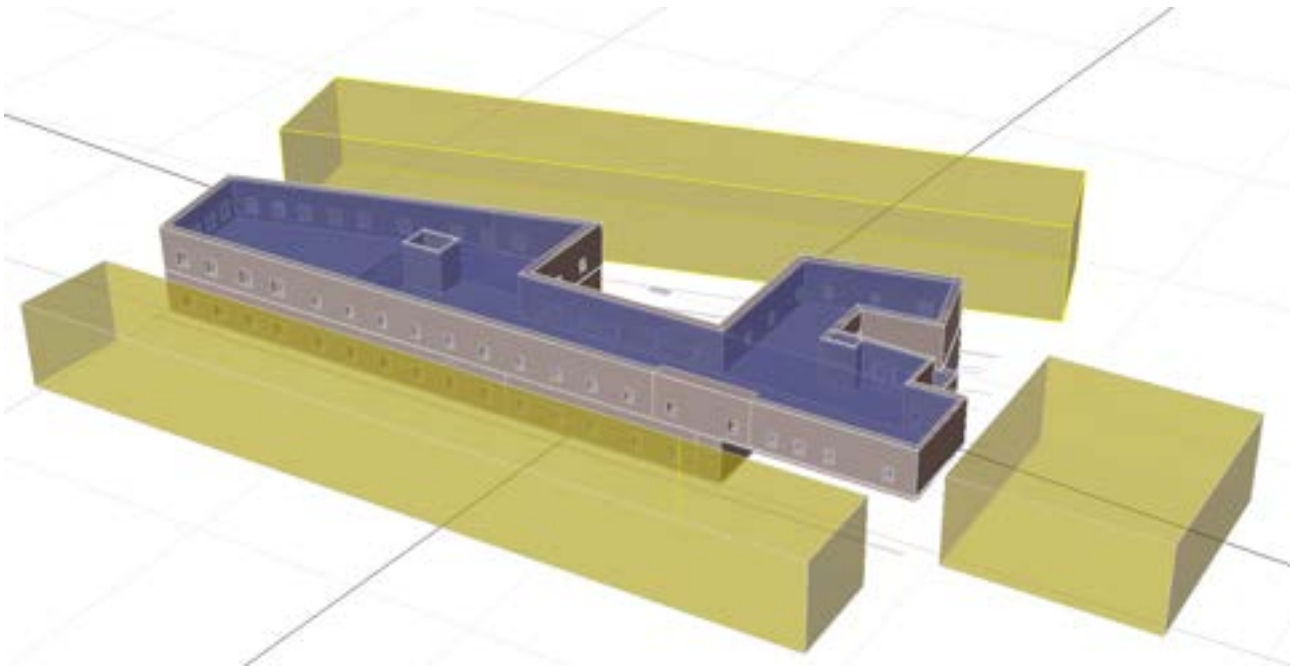


Figura 46: Planimetria assonometrica dell'edificio non residenziale sito a Vizzini

I dati di input sono i seguenti:

Parete	U	b.tr	S	a o g	Fsh	Asol.est
Nord	1.138	1	484.86	0.6	1	
Fin. Nord	3.156	1	27.80	0.7	0.9	1.988
Sud	1.138	1	791.18	0.5	1	
Fin. Sud	3.156	1	80.90	0.7	0.9	5.784
Est	1.138	1	311.68	0.5	1	
Fin. Est	3.156	1	14.97	0.7	0.9	1.070
Ovest	1.138	1	311.68	0.5	1	
Fin. Ovest	3.156	1	36.46	0.7	0.9	2.607
Nord Est	1.138	1	0.00	0.5	1	
Fin. NE	3.156	1	0.00	0.7	0.9	0.000
Nord Ovest	1.138	1	432.68	0.5	1	
Fin, NW	3.156	1	53.00	0.7	0.9	3.789
Sud Est	1.138	1	0.00	0.5	1	
Fin. SE	3.156	1	0.00	0.7	0.9	0.000
Sud Ovest	1.138	1	0.00	0.5	1	
Fin. SW	3.156	1	0.00	0.7	0.9	0.000
Pavimento	2.315	0	2874.91	0		
Soffitto	0.494	1	28974.91	0.6		
Pareti Int.	0.74	0	64.00	0		

Tabella 100: Dati di input dell'edificio non residenziale sito a Vizzini

I risultati di calcolo statici sono riportati nella seguente tabella:

PRINCIPALI RISULTATI DEL CALCOLO - Intero edificio - Comune di ubicazione dell'edificio: Vizzini						
Dati geometrici						
Superficie utile Su 2294,5 m ²						
Volume lordo V 2294,52 m ³						
Superficie disperdente Sdisp 640,19 m ²						
FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA						
Riscaldamento inoltrato	Qrad	203,59 kWh	Indice di prestazione	EP _{rad}	24,22 kWh/(m ² anno)	
Acqua calda sanitaria	QACS	12,812 kWh	Indice di prestazione	EP _{ACS}	0,77 kWh/(m ² anno)	
Raffrescamento inoltrato	QCL	19,721 kWh	Indice di prestazione	EP _{CL}	1,31 kWh/(m ² anno)	Prestazione limite EP _{rad,lim} 0,00 kWh/(m ² anno)
RISCALDAMENTO: fabbisogno di energia primaria e rendimenti						
Energia primaria riscaldamento	Qp,rd	206,42 kWh	Indice di prestazione	EP _{rd}	21,53 kWh/(m ² anno)	Prestazione limite EP _{rd,lim} 0,28 kWh/(m ² anno)
Classe energetica riscaldamento	F		Rendimento globale stagionale	η _{g,rd}	0,656	Rendimento globale limite η _{g,rd,lim} 0,82
Energia primaria rinnovabile	Qp,rd,r	0,00 kWh	Quota rinnovabile	QR _{rd}	0,0 %	
Energia primaria totale	Qp,rd,tot	206,42 kWh	Indice di prestazione totale	EP _{rd,tot}	21,53 kWh/(m ² anno)	
ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogno di energia primaria e rendimenti						
Energia primaria ACS	Qp,ACS	12,812 kWh	Indice di prestazione	EP _{ACS}	1,00 kWh/(m ² anno)	Prestazione limite EP _{ACS,lim} - kWh/(m ² anno)
Classe energetica ACS	A		Rendimento globale stagionale	η _{g,ACS}	0,797	Rendimento globale limite η _{g,ACS,lim} -
Energia primaria rinnovabile	Qp,ACS,r	0,00 kWh	Quota rinnovabile	QR _{ACS}	0,0 %	Valore minimo QR _{ACS,min} 20,0 %
Energia primaria totale	Qp,ACS,tot	12,812 kWh	Indice di prestazione totale	EP _{ACS,tot}	1,00 kWh/(m ² anno)	
FABBISOGNO GLOBALE: energia primaria e rendimenti						
Energia primaria globale	Qp,tot	404,44 kWh	Indice di prestazione	EP _{tot}	21,53 kWh/(m ² anno)	Prestazione limite EP _{tot,lim} 0,28 kWh/(m ² anno)
Classe energetica globale	F		Rendimento globale stagionale	η _{g,tot}	0,661	Rendimento globale limite η _{g,tot,lim} -
Energia primaria rinnovabile	Qp,tot,r	0,00 kWh	Quota rinnovabile	QR _t	0,0 %	Valore minimo QR _{t,min} 20,0 %
Energia primaria	Qp,tot,tot	404,44 kWh	Emissioni CO ₂	EP _{tot}	5,02 kg/m ² anno	

Tabella 101: Calcoli energetici statici per l'edificio a Vizzini

Il centro di controllo per quest'edificio è riportato nella tabella seguente.

VMC	0	T mandata	17	Um. Aria. Vent. Est.	70
Port. Variab	0	n.ric.var	1	Um. Aria. Vent. Inv.	40
Attenuazione	0	Temp. Atten	16	C. Lat.S.Int (W/m²)	2,8
Coef. Sorg. Int	4,75	[W/m²]			
I-sky,nom	36	[W/m²]	U.R. Ar. VMC	90	%
Temp. Aria Int	20	°C	U.R. Aria Int.	50	%
Press Totale	0,9	Bar	Coeff. Infil. fL	0	m

Tabella 102: Centro di controllo per l'edificio non residenziale a Vizzini

Si riportano di seguito i calcoli energetici annuali sia per il solo calore sensibile che per il calore totale. L'EP_{Cl} calcolato con il metodo statico è pari a 21.53 kWh/(m³.anno) mentre con il metodo dinamico con solo calore sensibile si ha il valore 28.10 kWh/(m³.anno) mentre con il metodo dinamico con il calore totale si ha il valore 24.65 kWh/(m³.anno). Le differenze fra gli indici calcolati con il metodo statico e con il metodo dinamico non sono molto discosti.

0,00	1684,54	1044,33	385,21	-1170,10	-2110,58	-2887,50	-2637,02	-1431,22	-26,13	920,69	2011,08	kWh/giorno
0,00	47167,26	32374,22	7791,01	-36273,08	-63317,33	-89512,50	-81747,76	-42936,50	0,00	27620,79	62343,57	kWh/mese
	QH	149676,06	kWh/anno				QC	-313787,17	kWh/anno			
	EPci.inv	18,49	kWh/(m ² .anno)				Epce.inv	-124,03	kWh/(m ² .anno)			
	Eta	0,75										
	EPci	24,65	kWh/(m ² .anno)									

Tabella 106: Calcolo degli indici di prestazione energetica con calore totale per edificio a Vizzini

Le ore di accensione degli impianti sono riportati nella seguente tabella:

Imp. Acce	Imp. Acce
Inverno	Estate
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
1	0
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
0	0
0	0
0	0
0	0

Tabella 107: Ore di accensione impianti per Vizzini

6.3.1 Edificio di Vizzini simulato a Roma

Si suppone ora di ripetere i calcoli statici per lo stesso edificio ma realmente posto a ROMA. Pertanto la latitudine è ora 41° 53' e l'altitudine 20 m. I risultati per la simulazione statica sono i seguenti:

PRINCIPALI RISULTATI DEL CALCOLO - intero edificio - Comune di ubicazione dell'edificio: Roma									
Dati geometrici									
Superficie utile Su: 2274,33 m ²									
Volume lordo V: 17.947,82 m ³									
Superficie disperdente Sdis: 8.825,29 m ²									
FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA									
Riscaldamento involontario	Q _{irr}	218.202 kWh	Indice di prestazione	EP _{irr}	24,88 kWh/(m ² .anno)				
Risparmio calore radiante	Q _{irr,r}	13.835 kWh	Indice di prestazione	EP _{irr,r}	5,78 kWh/(m ² .anno)				
Raffrescamento involontario	Q _{irr,d}	46.267 kWh	Indice di prestazione	EP _{irr,d}	2,75 kWh/(m ² .anno)	Prestazione limite	EP _{irr,d,lim}	31,00 kWh/(m ² .anno)	
RISCALDAMENTO: fabbisogno di energia primaria e rendimenti									
Energia primaria riscaldamento	Q _{pr,r}	409.281 kWh	Indice di prestazione	EP _r	22,80 kWh/(m ² .anno)	Prestazione limite	EP _{r,lim}	7,30 kWh/(m ² .anno)	
Classe energetica riscaldamento	G		Rendimento globale stagionale	η _{g,r}	0,657	Rendimento globale limite	η _{g,r,lim}	0,880	
Energia primaria rinnovabile	Q _{pr,r,ren}	0,00 kWh	Quota rinnovabile	QR _r	0,0 %				
Energia primaria totale	Q _{pr,tot,r}	409.281 kWh	Indice di prestazione totale	EP _{tot,r}	22,80 kWh/(m ² .anno)				
ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogno di energia primaria e rendimenti									
Energia primaria ACS	Q _{pr,c}	18.052 kWh	Indice di prestazione	EP _{ACS}	3,01 kWh/(m ² .anno)	Prestazione limite	EP _{ACS,lim}	- kWh/(m ² .anno)	
Classe energetica ACS	A		Rendimento globale stagionale	η _{g,c}	0,707	Rendimento globale limite	η _{g,c,lim}	-	
Energia primaria rinnovabile	Q _{pr,c,ren}	0,00 kWh	Quota rinnovabile	QR _{ACS}	0,0 %	Valore minimo	QR _{ACS,min}	20,0 %	
Energia primaria totale	Q _{pr,tot,c}	18.052 kWh	Indice di prestazione totale	EP _{ACS,tot}	3,01 kWh/(m ² .anno)				
FABBISOGNO GLOBALE: energia primaria e rendimenti									
Energia primaria globale	Q _{pr,g}	427.333 kWh	Indice di prestazione	EP _g	25,80 kWh/(m ² .anno)	Prestazione limite	EP _{g,lim}	7,60 kWh/(m ² .anno)	
Classe energetica globale	F		Rendimento globale stagionale	η _{g,g}	0,611	Rendimento globale limite	η _{g,g,lim}	-	
Energia primaria rinnovabile	Q _{pr,g,ren}	0,00 kWh	Quota rinnovabile	QR _g	0,0 %	Valore minimo	QR _{g,min}	20,0 %	
Energia primaria	Q _{pr,tot,g}	427.333 kWh	Emissioni CO ₂		6,38 kg/m ² .anno				

Tabella 108: Risultati dei calcoli statici dell'edificio di Vizzini posto a Roma

Gli indici di prestazione dinamici per solo calore sensibile sono:

1641,13	1315,80	950,21	493,39	-925,88	-1659,42	-2257,68	-1989,71	-1007,75	258,80	911,43	1471,36	kWh/giorn
50874,90	36842,42	29456,43	7791,01	-28702,34	-49782,57	-69988,06	-61680,91	-30232,56	0,00	27342,95	45612,30	kWh/mese
QH	170577,05	kWh/anno		QC	-240386,45	kWh/anno						
EPci.inv	21,07	kWh/(m ³ .anno)		Epce.inv	-95,02	kWh/(m ² .anno)						
Eta	0,75											
EPci	28,09	kWh/(m ² .anno)										

Tabella 109: Indici di prestazione energetica solo calore sensibile per edificio di Vizzini posto a Roma

2430,87	1777,88	1184,59	635,37	-925,88	-1659,42	-2272,63	-1989,71	-1007,75	385,23	1131,85	2108,26	kWh/giorno
75357,09	49780,54	36722,14	7791,01	-28702,34	-49782,57	-70451,66	-61680,91	-30232,56	0,00	33955,64	65356,16	kWh/mese
QH	235006,95	kWh/anno		QC	-240850,05	kWh/anno						
EPci.inv	29,03	kWh/(m ³ .anno)		Epce.inv	-95,20	kWh/(m ² .anno)						
Eta	0,75											
EPci	38,70	kWh/(m ² .anno)										

Tabella 110: Indici di prestazione energetica con calore totale per edificio di Vizzini posto a Roma

L'EP_{ci} calcolato con il metodo statico è pari a 22.80 kWh/(m².anno) mentre con il metodo dinamico con il modello con solo calore sensibile è 28.09 mentre con il calore totale si ha il valore 38.70 kWh/(m³.anno). Il modello statico prevede un indice prestazionale inferiore ad entrambi gli indici dinamici supponendo l'edificio realmente sito a Roma.

6.4 Caso 4 – Liceo a Caltagirone

Si tratta di un liceo sito a Caltagirone (Zona C, 1398 GG), costruito nel 1965, come rappresentato dalle due figure seguenti.

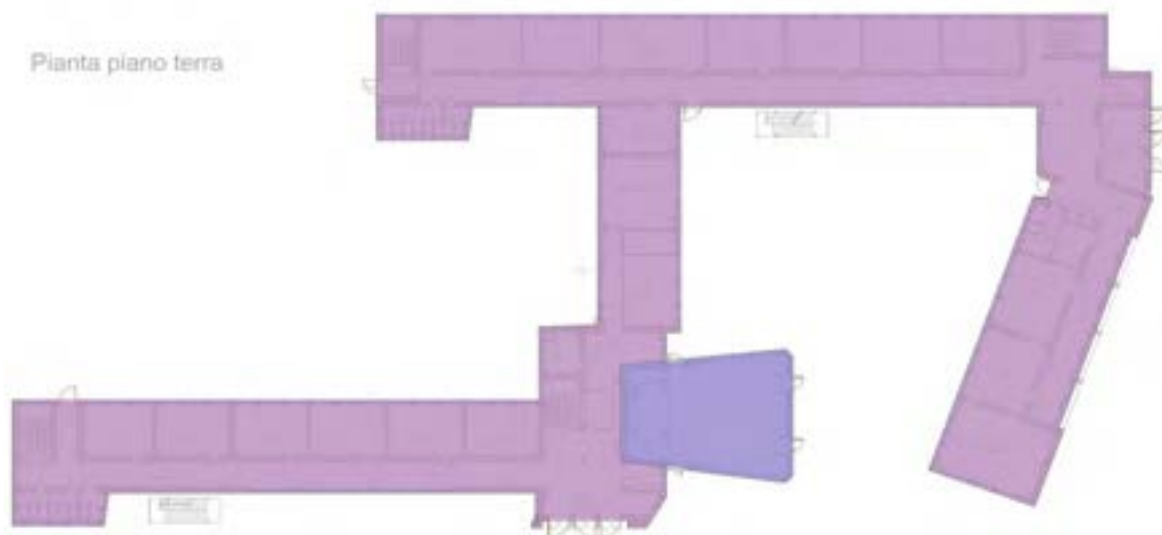


Figura 47: Pianta del Liceo a Caltagirone

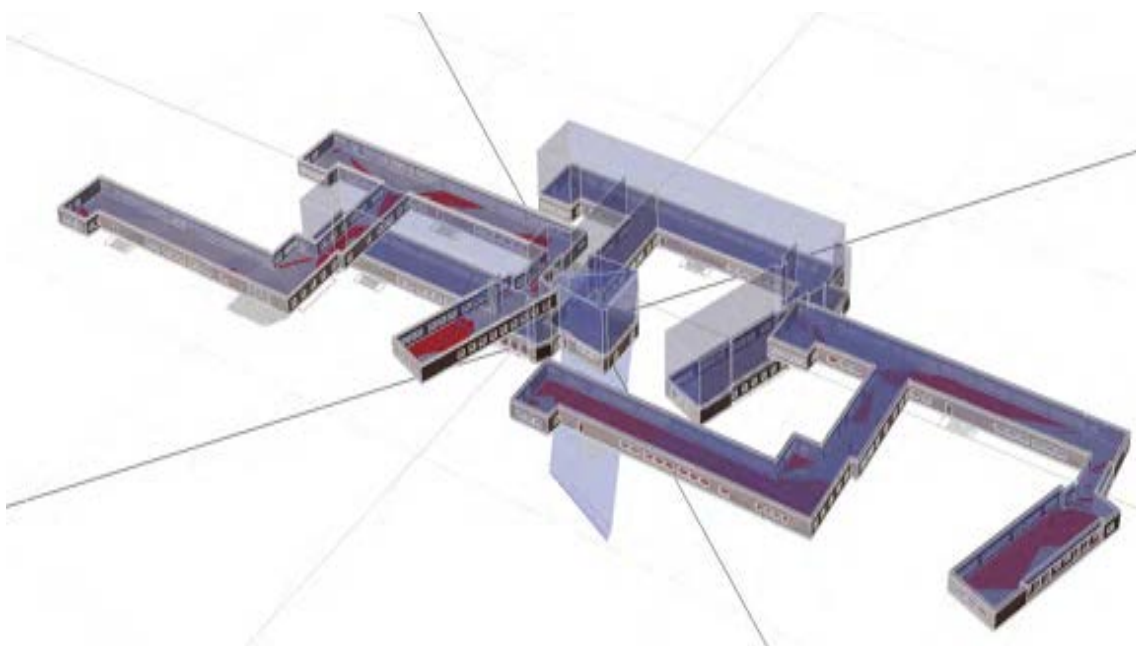


Figura 48: Volumetria dei vari piani del Liceo a Caltagirone

Il centro di controllo è il seguente:

VMC	0	T mandata	17	Um. Aria. Vent. Est.	70
Port. Variab	0	n.ric.var	1	Um. Aria. Vent. Inv.	40
Attenuazione	0	Temp. Atten	16	C. Lat.S.Int (W/m ²)	2,8
Coef. Sorg. Int	4,75	[W/m ²]			
I-sky,nom	36	[W/m ²]	U.R. Ar. VMC	90	%
Temp. Aria Int	20	°C	U.R. Aria Int.	50	%
Pressione Totale	0,89	Bar	Coeff. Infiltr. fL	0	m

Tabella 111: Centro di controllo per il Liceo a Caltagirone

I dati di input sono i seguenti:

Parete	U	b.tr	S	a o g	Fsh	Asol.est
Nord	6	1	5.87	0.6	1	
Fin. Nord	3.663	1	8.64	0.7	0.9	0.618
Sud	6	1	11.68	0.5	1	
Fin. Sud	3.663	1	0.00	0.7	0.9	0.000
Est	6	1	96.82	0.5	1	
Fin. Est	3.663	1	25.26	0.7	0.9	1.806
Ovest	6	1	64.51	0.5	1	
Fin. Ovest	3.663	1	15.54	0.7	0.9	1.111
Nord Est	6	1	203.69	0.5	1	
Fin. NE	3.663	1	35.44	0.7	0.9	2.534
Nord Ovest	6	1	408.85	0.5	1	
Fin. NW	3.663	1	74.48	0.7	0.9	5.325
Sud Est	6	1	428.43	0.5	1	
Fin. SE	3.663	1	122.86	0.7	0.9	8.784
Sud Ovest	6	1	214.64	0.5	1	
Fin. SW	3.663	1	43.96	0.7	0.9	3.143
Pavimento	1.65	0	2479.00	0		
Soffitto	1.35	1	2479.00	0.6		
Pareti Int.	0.74	0	2700.00	0		

Tabella 112: Dati di input per il per il liceo a Caltagirone

I risultati di calcolo statici sono riportati nella seguente tabella:

PRINCIPALI RISULTATI DEL CALCOLO - Intero edificio - Comune di ubicazione dell'edificio: Caltagirone									
Dati geometrici									
Superficie utile Su	1.982,00	m ²							
Volume lordo V	25.000,00	m ³							
Superficie disperdente S _{disp}	11.238,18	m ²							
FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA									
Riscaldamento invalore	Q _{H,rd}	327.504	kWh	Indice di prestazione	EP _{H,rd}	13,10	kWh/(m ² anno)		
Acqua calda sanitaria	Q _{H,W}	0,0	kWh	Indice di prestazione	EP _{H,ac}	0,00	kWh/(m ² anno)		
Raffrescamento invalore	Q _{C,rd}	36.655	kWh	Indice di prestazione	EP _{H,rv}	1,47	kWh/(m ² anno)	Prestazione limite	EP _{H,rv,lim} 10,00 kWh/(m ² anno)
RISCALDAMENTO: fabbisogno di energia primaria e rendimenti									
Energia primaria riscaldamento	Q _{p,H}	0,0	kWh	Indice di prestazione	EP _{p,H}	0,00	kWh/(m ² anno)	Prestazione limite	EP _{p,H,lim} 0,01 kWh/(m ² anno)
Classe energetica riscaldamento	A+			Rendimento globale stagionale	η _{G,H}	1,000		Rendimento globale limite	η _{G,H,lim} 0,000
Energia primaria rinnovabile	Q _{p,H,ren}	0,000	kWh	Quota rinnovabile	QR _H	0,0	%		
Energia primaria totale	Q _{p,H,tot}	0,000	kWh	Indice di prestazione totale	EP _{p,tot}	0,00	kWh/(m ² anno)		
ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogno di energia primaria e rendimenti									
Energia primaria ACS	Q _{p,W}	0,0	kWh	Indice di prestazione	EP _{ACS}	0,00	kWh/(m ² anno)	Prestazione limite	EP _{ACS,lim} - kWh/(m ² anno)
Classe energetica ACS	A			Rendimento globale stagionale	η _{G,W}	1,000		Rendimento globale limite	η _{G,W,lim} -
Energia primaria rinnovabile	Q _{p,W,ren}	0,000	kWh	Quota rinnovabile	QR _{ACS}	0,0	%	Valore minimo	QR _{ACS,min} 50,0 %
Energia primaria totale	Q _{p,W,tot}	0,000	kWh	Indice di prestazione totale	EP _{ACS,tot}	0,00	kWh/(m ² anno)		
FABBISOGNO GLOBALE: energia primaria e rendimenti									
Energia primaria globale	Q _{p,HW}	0,0	kWh	Indice di prestazione	EP _g	0,00	kWh/(m ² anno)	Prestazione limite	EP _{g,lim} 0,01 kWh/(m ² anno)
Classe energetica globale	A+			Rendimento globale stagionale	η _{G,HW}	1,000		Rendimento globale limite	η _{G,HW,lim} -
Energia primaria rinnovabile	Q _{p,HW,ren}	0,000	kWh	Quota rinnovabile	QR _g	0,0	%	Valore minimo	QR _{g,min} 38,5 %
Energia primaria	Q _{p,HW,tot}	0,000	kWh	Emissioni CO ₂	0,00		Kg/m ² anno		

Tabella 113: Riepilogo dei calcolo energetici statici per il liceo a Caltagirone

I riepiloghi dei bilanci annuali sia per solo calore sensibile che per il calore totale sono riportati nelle seguenti tabelle:

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ora	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	301,52	306,34	289,47	197,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	104,15	217,20	299,11
2	271,78	277,05	262,66	178,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	94,72	195,33	268,69
3	252,84	258,05	244,98	166,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	88,95	181,78	249,65
4	239,12	246,10	236,65	158,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	86,05	174,46	236,77
5	231,52	237,17	230,90	153,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85,12	171,04	228,48
6	227,39	231,96	228,03	149,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	84,65	166,69	223,33
7	225,62	228,01	225,64	143,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85,32	164,98	220,34
8	219,03	218,24	210,15	124,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	68,58	161,49	216,84
9	210,95	204,54	186,60	102,13	0,00	0,00	-0,85	0,00	0,00	44,25	148,45	208,42
10	200,09	188,07	158,88	79,28	0,00	0,00	-28,58	-19,34	0,00	17,99	130,52	195,15
11	180,76	169,64	132,83	63,30	0,00	0,00	-47,26	-42,62	0,00	0,00	108,27	176,19
12	159,73	150,13	108,67	45,33	0,00	-7,89	-65,90	-62,80	0,00	0,00	85,71	153,39
13	137,97	130,80	87,36	29,02	0,00	-25,72	-82,11	-81,67	-9,01	0,00	65,71	134,07
14	126,77	120,39	74,99	19,25	0,00	-41,24	-92,52	-94,19	-19,30	0,00	55,11	122,14
15	119,83	113,25	67,15	13,24	0,00	-48,44	-98,98	-101,50	-23,83	0,00	49,10	116,76
16	118,87	112,16	64,84	11,06	0,00	-51,57	-100,14	-105,59	-23,03	0,00	49,25	117,62
17	129,88	121,16	73,67	19,07	0,00	-48,85	-91,78	-96,13	-11,25	0,00	59,94	126,72
18	140,71	134,66	89,07	32,62	0,00	-40,95	-78,01	-80,07	0,00	0,00	74,82	136,18
19	152,42	148,51	106,37	50,69	0,00	-28,69	-64,75	-61,20	0,00	0,00	89,38	148,99
20	160,21	158,43	119,36	67,27	0,00	-1,07	-33,75	-40,16	0,00	6,83	101,97	160,40
21	167,14	167,36	132,63	81,14	0,00	0,00	-11,03	-21,74	0,00	20,01	111,62	169,24
22	173,50	176,52	145,45	93,83	0,00	0,00	0,00	-5,40	0,00	31,83	120,36	177,44
23	179,45	183,65	157,07	103,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,31	126,68	183,38
24	186,03	191,05	166,43	111,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,02	132,07	188,53
	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37

Tabella 114: Riepilogo dei bilanci annuali per calore sensibile per il liceo a Caltagirone

1603,88	1528,37	1165,14	506,03	0,00	-223,70	-608,11	-603,84	-86,42	130,82	913,56	1567,29	kWh/giorno
49720,33	42794,33	36119,43	7791,01	0,00	-6710,97	-18851,46	-18719,01	-2592,60	0,00	0,00	48585,86	kWh/mese
QH		177219,94	kWh/anno		QC		-46874,04	kWh/anno				
EPci.inv		27,08	kWh/(m ³ .anno)		Epce.inv		-21,49	kWh/(m ² .anno)				
Eta		0,75										
EPci		36,11	kWh/(m ² .anno)									

Tabella 115: Calcolo degli indici di prestazione dinamici per il liceo a Caltagirone

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ora	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	325,40	331,94	308,96	179,28	18,57	-45,71	-97,93	-111,88	-52,40	36,19	207,32	322,12
2	296,52	304,35	284,79	162,35	22,38	-39,16	-92,12	-105,83	-47,37	30,97	186,51	291,70
3	279,28	287,02	268,86	152,49	28,58	-31,19	-86,40	-99,89	-40,78	27,96	175,08	274,39
4	265,56	276,73	264,78	145,47	31,01	-26,52	-75,27	-92,12	-37,55	27,80	170,88	262,36
5	259,66	267,80	260,70	141,54	32,22	-24,98	-90,20	-92,12	-34,35	29,57	170,53	254,92
6	257,19	263,40	259,47	137,34	33,41	-23,44	-105,83	-92,12	-32,77	30,43	165,17	250,62
7	257,07	259,46	257,91	131,46	33,41	-32,77	-124,28	-94,04	-34,35	33,76	164,48	248,47
8	246,33	243,83	233,16	98,82	6,73	-69,84	-154,92	-137,12	-61,00	-3,66	159,97	244,14
9	234,83	224,02	195,93	62,13	-26,52	-109,85	-188,91	-178,32	-92,12	-53,73	137,50	231,42
10	219,57	200,24	151,13	23,73	-66,27	-134,95	-252,47	-240,58	-118,03	-106,63	106,16	211,02
11	187,20	172,15	109,63	0,94	-82,65	-154,92	-284,64	-288,28	-137,12	-142,56	65,75	179,69
12	153,03	142,37	72,38	-28,35	-99,89	-179,05	-319,97	-325,42	-161,80	-161,56	26,10	141,35
13	117,05	112,14	39,73	-55,01	-122,19	-211,32	-350,52	-364,82	-189,74	-183,74	-7,97	110,87
14	104,72	101,73	27,35	-64,78	-120,10	-239,25	-358,03	-380,34	-197,62	-179,61	-20,03	95,45
15	96,62	93,46	19,51	-70,79	-115,97	-243,94	-361,60	-387,65	-197,37	-175,52	-27,50	90,07
16	96,82	93,51	18,49	-72,97	-120,10	-247,07	-357,05	-397,78	-191,83	-171,47	-25,88	93,26
17	118,93	110,20	37,38	-54,62	-107,84	-236,91	-326,43	-361,64	-159,40	-150,03	-2,42	111,40
18	137,13	131,09	62,38	-31,12	-92,12	-219,27	-291,37	-320,20	-128,51	-129,89	28,47	128,43
19	156,91	152,99	88,83	-2,19	-71,64	-183,61	-255,28	-277,18	-107,84	-110,99	55,53	151,50
20	167,62	166,80	107,32	22,21	-52,40	-133,86	-202,55	-238,18	-95,98	-94,34	76,45	169,73
21	177,43	179,53	128,02	43,62	-29,62	-107,84	-159,18	-197,67	-84,52	-70,13	90,70	182,34
22	186,60	193,30	147,96	63,60	-12,97	-84,52	-128,51	-162,60	-73,45	-49,20	103,94	194,22
23	195,32	203,14	165,44	76,33	-4,33	-69,84	-118,03	-141,49	-66,27	-33,83	112,46	201,97
24	205,52	214,06	178,60	89,75	5,38	-57,53	-107,84	-126,39	-57,53	-21,79	120,03	208,90
	4742,27	4725,24	3688,71	1151,22	-912,88	-2907,32	-4889,34	-5213,66	-2399,69	-1621,99	2239,23	4650,34

Tabella 116: Riepilogo dei bilanci annuali per calore totale per il liceo a Caltagirone

2383,37	2300,60	1573,28	74,58	-1077,67	-2294,00	-3548,83	-3760,40	-1777,36	-1505,19	825,33	2287,68	kWh/giorno
73884,62	64416,73	48771,59	7791,01	-33407,91	-68820,15	-110013,79	-116572,32	-53320,88	0,00	0,00	70918,10	kWh/mese
QH		257991,04	kWh/anno		QC		-382135,05	kWh/anno				
EPci.inv		39,42	kWh/(m ³ .anno)		Epce.inv		-175,17	kWh/(m ² .anno)				
Eta		0,74										
EPci		53,27	kWh/(m ² .anno)									

Tabella 117: Calcolo degli indici di prestazione dinamici con calore totale per il liceo a Caltagirone

L'EP_{inv} (non è presente l'impianto di riscaldamento) calcolato con il metodo statico è pari a 13.10 kWh/(m³.anno) mentre con il metodo dinamico con solo calore sensibile si ha il valore EP_{inv}=27.08 kWh/(m³.anno) mentre con il calore totale è pari a 39.42 kWh/(m³.anno).

Si osserva che nel metodo statico sono state applicate le nuove UNI TS 11300:2014 che prendono in considerazione anche gli effetti dell'umidità.

Le considerazioni più volte fatte sugli effetti del calore latente in questo caso appaiono evidenti, soprattutto in considerazione del fatto che per un liceo si hanno ricambi imposti pari a 5 vol/ora per le aule (2.5 Vol/ora in media) e pertanto gli effetti del calore latente dovuti alla differenza di umidità relativa sono sensibili.

Le ore di funzionamento degli impianti sono indicati nella seguente tabella.

In questa scuola non si ha un impianto di riscaldamento attivo. Si supplisce con riscaldamento elettrico, non presente in tutti gli ambienti e del quale non si hanno dati di potenza, per il quale si hanno i seguenti consumi medi annuali:

- Palestra: 2.056 kWh
- Utenza a servizio dell'Istituto: 13.091 kWh
- Utenza a servizio dell'Istituto 45.800 kWh

Il totale dei consumi elettrici riscontrato è pari a 60.997 kWh contro un consumo $F_{HC,nd} = 176.898.50$ kWh.

Un confronto con quanto sopra calcolato non è possibile in mancanza di totale correlazione fra i dati di calcolo e quelli rilevati per i soli consumi elettrici.

Imp. Acce	Imp. Acce
Inverno	Estate
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0

Tabella 118: Ore di accensione degli impianti a Caltagirone

6.4.1 Liceo di Caltagirone posto a Napoli

Si suppone ora che lo stesso edificio posto a Caltagirone sia realmente posto a NAPOLI. La latitudine è ora 40° 51' e l'altitudine 17 m. I risultati del calcolo statico sono riassunti nella seguente tabella:

PRINCIPALI RISULTATI DEL CALCOLO - Intero edificio - Comune di ubicazione dell'edificio: Napoli										
Dati geometrici										
Superficie utile	Su	1.982,00	m ²							
Volume lordo	V	25.000,00	m ³							
Superficie disperdente	Sdisp	11.238,18	m ²							
FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA										
Riscaldamento invol...	QH,nd	248.567	kWh	Indice di prestazione	EPI,inv	9,56	kWh/(m ² anno)			
Acqua calda sanitaria	QH,W	0,0	kWh	Indice di prestazione	EPIu,ter	0,00	kWh/(m ² anno)			
Raffrescamento invol...	QC,nd	49.320,	kWh	Indice di prestazione	Epe,inv	1,57	kWh/(m ² anno)	Prestazione limite	Epe,inv,lim	10,00 kWh/(m ² anno)
RISCALDAMENTO: fabbisogni di energia primaria e rendimenti										
Energia primaria risc...	Qp,H	0,0	kWh	Indice di prestazione	Epi	0,00	kWh/(m ² anno)	Prestazione limite	Epi,lim	6,95 kWh/(m ² anno)
Classe energetica risc...		A+		Rendimento globale s...	ηG,H	1,000		Rendimento globale l...	ηG,H,lim	0,000
Energia primaria rinn...	Qp,H,ren	0,000	kWh	Quota rinnovabile	QR,H	0,0	%			
Energia primaria totale	Qp,H,tot	0,000	kWh	Indice di prestazione...	Epi,tot	0,00	kWh/(m ² anno)			
ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogni di energia primaria e rendimenti										
Energia primaria ACS	Qp,W	0,0	kWh	Indice di prestazione	EpACS	0,00	kWh/(m ² anno)	Prestazione limite	EpACS,lim	- kWh/(m ² anno)
Classe energetica ACS		A		Rendimento globale s...	ηG,W	1,000		Rendimento globale l...	ηG,W,lim	-
Energia primaria rinn...	Qp,W,ren	0,000	kWh	Quota rinnovabile	QR,ACS	0,0	%	Valore minimo	QR,ACS,min	50,0 %
Energia primaria totale	Qp,W,tot	0,000	kWh	Indice di prestazione...	EpACS,tot	0,00	kWh/(m ² anno)			
FABBISOGNO GLOBALE: energia primaria e rendimenti										
Energia primaria glob...	Qp,HW	0,0	kWh	Indice di prestazione	Epgl	0,00	kWh/(m ² anno)	Prestazione limite	Epgl,lim	6,95 kWh/(m ² anno)
Classe energetica glo...		A+		Rendimento globale s...	ηG,HW	1,000		Rendimento globale l...	ηG,HW,lim	-
Energia primaria rinn...	Qp,HW,ren	0,000	kWh	Quota rinnovabile	QR,gl	0,0	%	Valore minimo	QR,gl,min	58,5 %
Energia primaria	Qp,HW,tot	0,000	kWh	Emissioni CO2		0,00	Kg/m ² anno			

Tabella 119: Risultati statici per liceo di Caltagirone posto a Napoli

I risultati degli indici di prestazione calcolati con il metodo dinamico con solo calore sensibile sono:

1602,24	1526,02	1162,16	502,68	0,00	-227,84	-612,73	-608,22	-89,14	130,91	911,71	1565,75	kWh/giorno
49669,33	42728,68	36027,09	7791,01	0,00	-6835,17	-18994,48	-18854,68	-2674,18	0,00	0,00	48538,13	kWh/mese
QH		176963,23	kWh/anno		QC		-47358,51		kWh/anno			
EPci.inv		27,04	kWh/(m³.anno)		Epce.inv		-21,71		kWh/(m².anno)			
Eta		0,75										
EPci		36,05	kWh/(m².anno)									

Tabella 120: Indici di prestazione per calcolo dinamico con calore sensibile per liceo Caltagirone a Napoli

Analogamente tenendo conto del calore totale si ha:

2368,26	2285,25	1588,04	153,98	-962,61	-2070,74	-3234,51	-3425,78	-1594,10	-1309,37	879,71	2277,39	kWh/giorno
73416,01	63987,05	49229,23	7791,01	-29840,91	-62122,18	-100269,71	-106199,15	-47822,99	0,00	0,00	70599,04	kWh/mese
QH		257231,33	kWh/anno		QC		-346254,93		kWh/anno			
EPci.inv		39,30	kWh/(m³.anno)		Epce.inv		-158,72		kWh/(m².anno)			
Eta		0,74										
EPci		53,11	kWh/(m².anno)									

Tabella 121: Indici di prestazione per calcolo dinamico con calore totale per liceo Caltagirone a Napoli

L'EP_{inv} calcolato con il metodo statico è pari a 9.96 kWh/(m².anno) mentre con il metodo dinamico con il modello con solo calore sensibile è 27.04 mentre con il calore totale si ha il valore 39.30 kWh/(m³.anno). Il modello statico prevede un indice prestazionale inferiore ad entrambi gli indici dinamici supponendo l'edificio realmente sito a Napoli.

6.5 Caso 5 – Centro Sportivo Polifunzionale a Caltagirone

Si tratta di un nuovo edificio, costruito nel 2010, adibito ad attività sportive polifunzionali e sito a Caltagirone (Zona C, 1391 GG).

Non sono disponibili elementi grafici. I risultati dei calcoli statici sono riportati nella seguente tabella:

PRINCIPALI RISULTATI DEL CALCOLO - intero edificio - Comune di ubicazione dell'edificio: Caltagirone									
Dati geometrici									
Superficie utile Su 7.443,33 m²									
Volume lordo V 83.356,88 m³									
Superficie disperdita Sdisp 24.573,68 m²									
FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA									
Riscaldamento involuto	Q _{r,nd}	757.840	kWh	Indice di prestazione	EP _{inv}	6,09	kWh/(m².anno)		
Acqua calda sanitaria	Q _{h,w}	15.503	kWh	Indice di prestazione	EP _{u,er}	0,19	kWh/(m².anno)		
Raffrescamento involuto	Q _{c,nd}	231.948	kWh	Indice di prestazione	Ep _{e,inv}	2,78	kWh/(m².anno)	Prestazione limite	Ep _{e,inv,lim} 10,00 kWh/(m².anno)
RISCALDAMENTO: fabbisoggi di energia primaria e rendimenti									
Energia primaria riscaldamento	Q _{p,r}	824.905	kWh	Indice di prestazione	E _{p,r}	11,16	kWh/(m².anno)	Prestazione limite	EP _{p,r,lim} 6,78 kWh/(m².anno)
Classe energetica riscaldamento	E			Rendimento globale stagionale	η _{G,r}	0,815		Rendimento globale limite	η _{G,r,lim} 0,827
Energia primaria rinnovabile	Q _{p,r,ren}	0,000	kWh	Quota rinnovabile	QR _r	0,0	%		
Energia primaria totale	Q _{p,r,tot}	824.905	kWh	Indice di prestazione totale	Ep _{r,tot}	11,16	kWh/(m².anno)		
ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisoggi di energia primaria e rendimenti									
Energia primaria ACS	Q _{p,w}	33.795	kWh	Indice di prestazione	Ep _{ACS}	0,40	kWh/(m².anno)	Prestazione limite	Ep _{ACS,lim} - kWh/(m².anno)
Classe energetica ACS	A			Rendimento globale stagionale	η _{G,w}	0,460		Rendimento globale limite	η _{G,w,lim} -
Energia primaria rinnovabile	Q _{p,w,ren}	0,000	kWh	Quota rinnovabile	QR _{ACS}	0,0	%	Valore minimo	QR _{ACS,min} 10,0 %
Energia primaria totale	Q _{p,w,tot}	33.795	kWh	Indice di prestazione totale	Ep _{ACS,tot}	0,40	kWh/(m².anno)		
FABBISOGNO GLOBALE: energia primaria e rendimenti									
Energia primaria globale	Q _{p,HV}	963.619	kWh	Indice di prestazione	Ep _{gl}	11,56	kWh/(m².anno)	Prestazione limite	Ep _{gl,lim} 6,78 kWh/(m².anno)
Classe energetica globale	E			Rendimento globale stagionale	η _{G,HV}	0,803		Rendimento globale limite	η _{G,HV,lim} -
Energia primaria rinnovabile	Q _{p,HV,ren}	0,000	kWh	Quota rinnovabile	QR _{gl}	0,0	%	Valore minimo	QR _{gl,min} 10,0 %
Energia primaria	Q _{p,HV,tot}	963.619	kWh	Emissioni CO2		2,43	kg/m².anno		

Tabella 122: Risultati delle verifiche energetiche per il polisportivo a Caltagirone

L'input del foglio di calcolo è riportato di seguito.

Parete	U	b.tr	S	a o g	Fsh	Asol.est
Nord	1,15	1	0,00	0,6	1	
Fin. Nord	5,674	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Sud	1,15	1	0,00	0,5	1	
Fin. Sud	5,674	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Est	1,15	1	0,00	0,5	1	
Fin. Est	5,674	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Ovest	1,15	1	0,00	0,5	1	
Fin. Ovest	5,674	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Nord Est	1,15	1	942,36	0,5	1	
Fin. NE	3,663	1	185,72	0,7	0,9	13,278
Nord Ovest	1,15	1	0,00	0,5	1	
Fin. NW	3,663	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Sud Est	1,15	1	0,00	0,5	1	
Fin. SE	3,663	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Sud Ovest	1,15	1	1024,09	0,5	1	
Fin. SW	5,674	1	86,43	0,7	0,9	6,179
Pavimento	1,65	0	10968,00	0		
Soffitto	1,5	1	10968,00	0,6		
Pareti Int.	0,74	0	1350,00	0		

Tabella 123: Input dei dati per polisportivo a Caltagirone

Il centro di controllo è dato nella seguente tabella:

VMC	0	T mandata	17	Um. Aria. Vent. Est.	70
Port. Variab	0	n.ric.var	1	Um. Aria. Vent. Inv.	40
Attenuazione	0	Temp. Atten	16	C. Lat.S.Int (W/m ²)	2,8
Coef. Sorg. Int	4,75	[W/m ²]			
I-sky,nom	36	[W/m ²]	U.R. Ar. VMC	90	%
Temp. Aria Int	20	°C	U.R. Aria Int.	50	%
Pressione Totale	0,89	Bar	Coeff. Infil. fL	0	m

Tabella 124: Centro di controllo per il centro polisportivo a Caltagirone

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ora	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	848,43	861,89	814,78	559,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	296,85	612,90	841,70
2	756,96	770,22	729,12	498,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	264,85	545,68	749,74
3	683,01	695,40	658,58	449,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	238,62	491,77	676,10
4	620,49	634,51	604,76	408,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	217,86	449,34	615,00
5	571,16	582,78	559,12	375,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	201,62	415,68	564,97
6	531,35	541,20	522,34	347,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	187,96	384,58	524,10
7	499,39	506,13	491,20	320,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	177,92	360,75	490,79
8	465,54	468,05	447,25	276,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	146,85	338,00	461,20
9	433,88	428,16	392,14	224,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	104,16	304,37	428,90
10	398,92	382,51	327,84	166,21	0,00	0,00	-27,89	-15,23	0,00	54,07	262,27	390,69
11	350,83	331,10	262,68	113,92	0,00	0,00	-85,95	-75,09	0,00	6,13	212,51	343,40
12	301,38	278,90	201,21	60,79	0,00	-37,69	-142,81	-130,49	0,00	0,00	162,91	291,83
13	252,93	229,35	146,47	13,73	0,00	-90,34	-192,65	-181,34	-40,98	0,00	118,44	247,05
14	221,49	195,56	108,04	0,00	-8,72	-133,74	-228,72	-218,35	-73,87	0,00	89,26	215,04
15	197,98	168,97	78,95	0,00	-37,45	-160,58	-255,11	-243,99	-95,46	0,00	69,00	194,60
16	185,87	154,64	61,86	0,00	-58,45	-176,15	-268,58	-259,56	-104,96	0,00	60,74	185,99
17	193,39	158,38	64,72	0,00	-59,21	-177,05	-262,58	-250,48	-94,16	0,00	70,56	192,37
18	204,69	172,60	80,65	0,00	-45,40	-165,75	-243,23	-227,83	-70,65	0,00	89,67	202,52
19	219,36	192,36	104,60	0,00	-18,55	-140,08	-214,20	-195,74	-38,89	0,00	109,23	218,02
20	229,39	208,25	126,81	20,46	0,00	-104,36	-174,27	-161,11	-10,63	0,00	126,56	232,05
21	239,10	223,28	150,02	47,80	0,00	-63,08	-131,20	-125,10	0,00	0,00	140,63	243,43
22	248,55	238,78	172,52	73,20	0,00	-23,47	-91,44	-92,65	0,00	0,00	154,15	254,73
23	257,79	251,62	193,26	93,48	0,00	0,00	-59,32	-63,59	0,00	13,69	164,85	263,62
24	268,03	264,83	210,89	112,82	0,00	0,00	-30,61	-36,58	0,00	28,51	174,64	271,92
	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37

Tabella 125: Bilanci annuali del calore sensibile per il polisportivo a Caltagirone

3002,22	2795,61	2091,16	855,43	-163,83	-775,56	-1464,29	-1374,53	-409,43	311,21	1688,07	2951,06	kWh/giorno
93068,88	78277,17	64825,81	12831,51	-5078,69	-23266,65	-45392,96	-42610,46	-12282,85	0,00	25321,02	91482,74	kWh/mese
QH	327654,60	kWh/anno		QC	-128631,62	kWh/anno						
EPci.inv	11,32	kWh/(m ³ .anno)		Epce.inv	-13,33	kWh/(m ² .anno)						
Eta	0,82											
EPci	13,88	kWh/(m ² .anno)										

Tabella 126: Verifiche energetiche con calore sensibile per polifunzionale a Caltagirone

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ora	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1		881,62	825,49	513,55	9,38	-85,42	-162,44	-183,01	-95,30	178,61	580,31	857,61
2		792,45	743,75	456,36	14,99	-75,77	-153,87	-174,10	-87,87	152,82	514,66	765,66
3		720,10	675,77	410,57	24,14	-64,01	-145,44	-165,33	-78,16	130,66	463,87	694,56
4		661,66	628,23	371,41	27,72	-57,12	-129,02	-153,87	-73,39	113,93	426,05	634,72
5		609,93	585,05	339,79	29,50	-54,85	-151,04	-153,87	-68,68	101,68	396,92	585,96
6		569,56	550,70	311,37	31,26	-52,59	-174,10	-153,87	-66,34	89,99	364,31	546,33
7		534,49	520,76	284,86	31,26	-66,34	-201,31	-156,71	-68,68	83,86	341,98	514,27
8		487,77	463,16	220,92	-8,09	-121,01	-246,49	-220,24	-107,97	22,30	317,74	483,43
9		438,87	387,88	147,22	-57,12	-180,02	-295,36	-281,00	-153,87	-58,35	270,19	444,82
10		382,44	298,38	66,26	-115,75	-217,04	-376,10	-359,53	-192,08	-147,73	208,33	396,08
11		316,78	210,44	3,93	-139,90	-246,49	-454,06	-455,40	-220,24	-222,13	131,79	330,54
12		249,45	129,68	-65,90	-165,33	-308,14	-535,53	-535,82	-256,64	-256,28	56,98	256,06
13		183,82	58,20	-128,22	-198,22	-382,08	-606,52	-616,95	-325,55	-289,00	-8,24	194,81
14		150,03	19,77	-141,95	-203,86	-443,78	-638,31	-658,37	-354,87	-282,90	-39,56	157,67
15		121,77	-9,32	-141,95	-226,49	-466,92	-660,45	-684,02	-369,40	-276,87	-61,98	137,22
16		109,11	-24,51	-141,95	-253,59	-482,49	-665,48	-708,50	-371,92	-270,90	-68,08	132,05
17		124,21	-6,81	-126,68	-236,26	-472,42	-626,66	-660,07	-330,67	-239,28	-39,42	151,76
18		149,31	23,27	-112,03	-199,26	-446,75	-575,92	-599,98	-278,20	-209,58	3,30	173,06
19		180,96	60,72	-96,01	-142,22	-386,57	-513,20	-532,27	-215,95	-181,70	41,31	203,71
20		202,58	91,04	-64,01	-95,30	-318,22	-441,23	-471,15	-170,20	-167,22	70,90	227,79
21		223,21	125,21	-25,54	-61,70	-240,13	-367,70	-402,56	-142,67	-150,95	91,77	244,73
22		245,52	158,21	10,60	-37,15	-166,13	-298,99	-342,51	-126,33	-137,52	111,91	261,46
23		262,33	187,60	36,10	-24,40	-121,01	-251,40	-290,28	-115,75	-115,13	125,87	273,02
24		280,74	210,82	62,28	-10,08	-102,86	-207,66	-241,00	-102,86	-93,92	138,87	283,94
	0,00	8878,70	6913,50	2190,97	-2006,48	-5558,18	-8878,27	-9200,41	-4373,60	-2225,63	4439,76	8951,26

Tabella 127: Bilanci annuali del calore totale per il polisportivo a Caltagirone

0,00	3817,60	2621,61	175,88	-1803,89	-3767,15	-5680,87	-5779,89	-2961,42	-2056,88	1477,32	3918,09	kWh/giorno
0,00	106892,85	81270,03	12831,51	-55920,44	-113014,39	-176106,87	-179176,65	-88842,50	0,00	22159,87	121460,90	kWh/mese
QH	322455,30	kWh/anno		QC	-613060,85	kWh/anno						
EPci.inv	11,14	kWh/(m ³ .anno)		Epce.inv	-63,52	kWh/(m ² .anno)						
Eta	0,82											
EPci	13,58	kWh/(m ² .anno)										

Tabella 128: Verifiche energetiche con calore totale per polifunzionale a Caltagirone

L'EP_{ci} calcolato con il metodo statico è pari a 11.16 kWh/(m³.anno) mentre con il metodo dinamico con solo calore sensibile si ha il valore 13.88 kWh/(m³.anno) mentre con il calore totale è pari a 13.58 kWh/(m³.anno). Si osserva che nel metodo statico sono state applicate le nuove UNI TS 11300:2014 che prendono in considerazione anche gli effetti dell'umidità. Le ore di accensione degli impianti sono indicati nella seguente tabella:

Imp. Acce	Imp. Acce
Inverno	Estate
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
1	0
1	0
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0

Tabella 129: Ore di accensione degli impianti a Caltagirone

I consumi elettrici, non relativi agli impianti di riscaldamento, per l'anno 2014 sono stati pari a 14.190 kWh.

6.6 Caso 6 – ITC VE Orlando a Vizzini

Si tratta di un edificio scolastico costruito nel 1990 sito a Vizzini (Zona D, 1478 GG). I dati energetici sono riportati nella tabella seguente.

I dati di input sono i seguenti:

Parete	U	b.tr	S	a o g	Fsh	Asol.est
Nord	1.138	1	403.44	0.6	1	
Fin. Nord	3.156	1	54.66	0.7	0.9	3.908
Sud	1.138	1	366.30	0.5	1	
Fin. Sud	3.156	1	76.50	0.7	0.9	5.469
Est	1.138	1	617.19	0.5	1	
Fin. Est	3.156	1	336.93	0.7	0.9	24.089
Ovest	1.138	1	715.78	0.5	1	
Fin. Ovest	3.156	1	238.34	0.7	0.9	17.040
Nord Est	1.138	1	0.00	0.5	1	
Fin. NE	3.156	1	0.00	0.7	0.9	0.000
Nord Ovest	1.138	1	0.00	0.5	1	
Fin. NW	3.156	1	0.00	0.7	0.9	0.000
Sud Est	1.138	1	0.00	0.5	1	
Fin. SE	3.156	1	0.00	0.7	0.9	0.000
Sud Ovest	1.138	1	0.00	0.5	1	
Fin. SW	3.156	1	0.00	0.7	0.9	0.000
Pavimento	0.45	0	2022.00	0		
Soffitto	1.65	1	2022.00	0.6		
Pareti Int.	1.5	0	806.00	0		

Tabella 130: Dati di input per ITC a Vizzini

Il centro di controllo è il seguente:

VMC	0	T mandata	17	Um. Aria. Vent. Est.	70
Port. Variab	0	n.ric.var	1	Um. Aria. Vent. Inv.	40
Attenuazione	0	Temp. Atten	16	C. Lat.S.Int (W/m ²)	2,8
Coef. Sorg. Int	4,75	[W/m ²]			
I-sky,nom	36	[W/m ²]	U.R. Ar. VMC	90	%
Temp. Aria Int	20	°C	U.R. Aria Int.	50	%
Press Totale	0,9	Bar	Coeff. Infil. fL	0	m

Tabella 131: Centro di controllo per ITC a Vizzini

Seguono anche i risultati delle verifiche dinamiche.

PRINCIPALI RISULTATI DEL CALCOLO - Intero edificio - Comune di ubicazione dell'edificio: Vizzini

Dati geometrici
 Superficie utile Su 1.788,36 m²
 Volume lordo V 34.558,40 m³
 Superficie disperdente Sdip 7.067,14 m²

FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA

Riscaldamento involucri	Q _{p,nd}	415,345 kWh	Indice di prestazione	EP _{inv}	28,55 kWh/(m ² anno)	
Acqua calda sanitaria	Q _{p,w}	199,2 kWh	Indice di prestazione	EP _{u,cr}	0,81 kWh/(m ² anno)	
Raffrescamento involucri	Q _{c,nd}	96,686 kWh	Indice di prestazione	EP _{u,rv}	6,64 kWh/(m ² anno)	Prestazione limite EP _{u,rv,lim} 10,00 kWh/(m ² anno)

RISCALDAMENTO: fabbisogno di energia primaria e rendimenti

Energia primaria riscaldamento	Q _{p,H}	692,296 kWh	Indice di prestazione	EP ₁	47,55 kWh/(m ² anno)	Prestazione limite EP _{1,lim} 5,87 kWh/(m ² anno)
Classe energetica riscaldamento		G	Rendimento globale stagionale	η _{G,H}	0,600	Rendimento globale limite η _{G,H,lim} 0,045
Energia primaria rinnovabile	Q _{p,H,ren}	0,000 kWh	Quota rinnovabile	QR _H	0,0 %	
Energia primaria totale	Q _{p,H,tot}	692,296 kWh	Indice di prestazione totale	EP _{1,tot}	47,55 kWh/(m ² anno)	

ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogno di energia primaria e rendimenti

Energia primaria ACS	Q _{p,w}	646,6 kWh	Indice di prestazione	EP _{ACS}	0,04 kWh/(m ² anno)	Prestazione limite EP _{ACS,lim} - kWh/(m ² anno)
Classe energetica ACS		A	Rendimento globale stagionale	η _{G,W}	0,308	Rendimento globale limite η _{G,W,lim} -
Energia primaria rinnovabile	Q _{p,w,ren}	0,000 kWh	Quota rinnovabile	QR _{ACS}	0,0 %	Valore minimo QR _{ACS,min} 50,0 %
Energia primaria totale	Q _{p,w,tot}	646,600 kWh	Indice di prestazione totale	EP _{ACS,tot}	0,04 kWh/(m ² anno)	

FABBISOGNO GLOBALE: energia primaria e rendimenti

Energia primaria globale	Q _{p,HW}	692,943 kWh	Indice di prestazione	EP _{gl}	47,60 kWh/(m ² anno)	Prestazione limite EP _{gl,lim} 6,87 kWh/(m ² anno)
Classe energetica globale		G	Rendimento globale stagionale	η _{G,HW}	0,600	Rendimento globale limite η _{G,HW,lim} -
Energia primaria rinnovabile	Q _{p,HW,ren}	0,000 kWh	Quota rinnovabile	QR _{gl}	0,0 %	Valore minimo QR _{gl,min} 38,0 %
Energia primaria	Q _{p,HW,tot}	692,943 kWh	Emissioni CO ₂		12,59 Kg/m ² anno	

Tabella 132: Riepilogo dei calcoli energetici statici per ITC a Vizzini

Ora	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	198,86	210,80	176,47	146,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85,51	137,67	192,89
2	173,13	183,61	154,55	127,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	74,03	119,47	167,90
3	154,39	163,77	138,90	114,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65,84	106,34	149,70
4	140,26	149,62	127,73	104,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,11	96,66	136,50
5	130,50	138,84	118,92	96,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	55,96	89,89	126,78
6	123,54	131,06	112,41	90,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,79	84,97	119,71
7	118,46	125,18	107,79	82,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,28	81,48	114,37
8	113,69	116,90	97,07	67,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	41,56	75,45	107,83
9	107,33	105,30	82,68	50,55	0,00	0,00	-0,90	0,00	0,00	29,07	65,93	99,17
10	98,32	91,84	66,85	32,83	0,00	0,00	-19,20	-13,63	0,00	15,22	55,36	88,67
11	88,44	77,54	52,78	19,56	0,00	-8,62	-32,32	-28,25	0,00	3,11	44,91	77,25
12	78,83	64,11	41,28	9,61	0,00	-18,47	-41,33	-38,87	-5,52	0,00	35,63	66,21
13	68,30	49,11	28,64	0,00	0,00	-30,42	-52,61	-51,35	-16,15	0,00	25,13	54,47
14	60,45	38,33	18,57	0,00	-7,94	-40,53	-62,96	-61,51	-25,22	0,00	17,99	46,33
15	55,27	31,00	11,46	0,00	-15,38	-48,10	-71,25	-68,86	-31,40	0,00	14,57	42,21
16	53,75	27,12	7,42	0,00	-19,89	-52,55	-76,30	-72,18	-33,75	0,00	14,93	41,60
17	57,61	30,49	9,14	0,00	-20,36	-53,51	-78,22	-70,45	-30,21	0,00	20,33	46,57
18	62,65	39,00	17,52	0,00	-17,00	-50,53	-76,71	-63,26	-20,48	0,00	26,35	52,44
19	67,58	47,54	28,78	0,00	-13,93	-53,38	-82,45	-54,25	-8,24	0,00	32,20	58,61
20	72,09	54,94	38,00	9,99	0,00	-28,30	-54,75	-36,24	0,00	0,00	37,07	63,84
21	75,91	61,56	45,73	20,70	0,00	-11,06	-36,62	-23,38	0,00	6,13	41,74	68,98
22	79,60	68,46	52,73	30,30	0,00	0,00	-21,98	-12,46	0,00	11,92	46,19	73,99
23	82,88	74,58	58,86	38,24	0,00	0,00	-10,52	-3,28	0,00	17,19	50,22	77,84
24	86,44	80,31	64,68	45,39	0,00	0,00	-0,98	0,00	0,00	21,82	54,00	81,36
	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37	88,37

Tabella 133: Bilanci annuali con calore sensibile per ITC a Vizzini

690,22	551,32	379,06	179,31	-94,50	-395,45	-685,62	-582,24	-170,98	88,69	360,19	613,02	kWh/giorno
21396,70	15436,95	11750,93	7791,01	-2929,54	-11863,55	-21254,27	-18049,51	-5129,39	0,00	0,00	19003,68	kWh/mese
	QH	75379,27	kWh/anno				QC	-59226,26	kWh/anno			
	EPci.inv	13,24	kWh/(m ³ .anno)				Epce.inv	-33,29	kWh/(m ² .anno)			
	Eta	0,60										
	EPci	22,06	kWh/(m ² .anno)									

Tabella 134: Verifiche energetiche dinamiche con calore sensibile per ITC a Vizzini

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ora	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1		211,89	174,77	142,15	-0,19	-8,35	-18,14	-17,58	-11,13	74,20	132,30	192,57
2		184,82	153,49	123,40	0,34	-6,82	-16,49	-15,95	-10,66	63,09	114,25	167,70
3		165,20	138,34	110,27	1,02	-5,55	-15,16	-14,37	-9,95	55,28	101,42	149,75
4		151,38	127,54	100,75	1,53	-4,52	-13,86	-12,85	-9,49	49,91	91,89	136,79
5		140,60	118,60	92,89	0,51	-6,18	-14,12	-13,86	-9,03	45,94	85,42	127,18
6		132,92	112,09	86,79	-0,72	-8,13	-15,16	-14,89	-8,80	42,77	80,64	120,23
7		127,04	107,83	78,54	-2,00	-10,42	-16,76	-15,42	-8,58	40,44	77,30	114,89
8		117,42	95,37	61,14	-5,76	-15,16	-22,52	-21,92	-12,85	28,91	69,93	107,27
9		104,37	78,93	40,89	-9,95	-19,56	-29,54	-28,64	-17,58	13,35	58,66	97,33
10		89,34	60,71	19,79	-14,63	-24,38	-53,88	-50,21	-23,14	-3,85	46,41	85,49
11		72,92	45,02	5,72	-15,16	-34,28	-67,37	-65,98	-24,70	-18,11	34,34	72,33
12		57,17	31,97	-5,26	-15,95	-45,43	-77,14	-78,18	-31,51	-23,75	23,36	59,27
13		39,63	17,89	-15,72	-17,03	-58,72	-89,19	-92,28	-43,11	-26,16	10,87	45,51
14		29,20	8,01	-15,72	-24,70	-68,49	-98,77	-101,22	-52,19	-25,34	3,73	37,20
15		22,21	1,26	-15,51	-31,87	-75,73	-106,31	-107,77	-58,03	-24,54	0,72	33,43
16		18,17	-2,78	-15,30	-36,11	-79,84	-110,24	-109,92	-60,06	-24,81	1,29	32,82
17		23,23	0,18	-13,85	-34,74	-78,53	-110,70	-105,13	-53,97	-22,22	8,26	39,79
18		33,17	9,92	-12,46	-29,85	-73,05	-107,77	-95,02	-42,10	-20,02	15,78	47,37
19		43,07	22,31	-11,12	-24,82	-74,40	-111,77	-83,57	-27,52	-17,70	23,07	55,01
20		51,48	32,32	0,33	-9,03	-46,16	-81,39	-63,20	-18,14	-16,37	28,63	60,93
21		58,92	40,81	12,26	-7,25	-26,48	-61,01	-48,40	-17,03	-8,95	34,14	66,88
22		67,02	48,70	23,20	-5,34	-12,85	-44,20	-35,29	-15,69	-2,13	39,41	72,67
23		73,89	55,54	31,93	-3,73	-11,38	-31,54	-24,30	-14,12	4,14	44,07	76,78
24		80,36	62,19	40,02	-2,00	-9,95	-20,54	-19,27	-12,35	9,56	48,48	80,68
	0,00	2095,41	1541,03	865,13	-287,43	-804,35	-1333,56	-1235,24	-591,73	193,64	1174,39	2079,86

Tabella 135: Bilanci annuali con calore totale per ITC a Vizzini

0,00	961,33	621,05	188,26	-271,61	-704,15	-1083,35	-1018,46	-473,48	-97,39	483,00	1008,86	kWh/giorno
0,00	26917,38	19252,42	7791,01	-8419,80	-21124,60	-33583,82	-31572,15	-14204,30	0,00	0,00	31274,73	kWh/mese
	QH	85235,54	kWh/anno				QC	-108904,66	kWh/anno			
	EPci.inv	14,97	kWh/(m ³ .anno)				Epce.inv	-61,20	kWh/(m ² .anno)			
	Eta	0,60										
	EPci	24,95	kWh/(m ² .anno)									

Tabella 136: Verifiche energetiche dinamiche con calore totale per ITC a Vizzini

L'EP_{ci} calcolato con il metodo statico è pari a 28.53 kWh/(m³.anno) mentre con il metodo dinamico con solo calore sensibile si ha il valore 22.06 kWh/(m³.anno) mentre con il calore totale è pari a 24.95 kWh/(m³.anno).

Si osserva che nel metodo statico sono state applicate le nuove UNI TS 11300:2014 che prendono in considerazione anche gli effetti dell'umidità.

I consumi elettrici, non relativi agli impianti di riscaldamento, per l'anno 2014 sono stati pari a 14.190 kWh.

I consumi energetici rilevati nell'anno 2014 sono i seguenti:

- Consumi elettrici: 62.133 kWh;
- Consumi termici (metano): 427.229 kWh.

6.6.1 Centro ITC VE di Vizzini posto a Roma

Si suppone ora che lo stesso edificio ITC di Vizzini sia posto a Roma. Pertanto la latitudine è ora 41° 53' e l'altitudine 20 m. I risultati per la simulazione statica sono i seguenti:

PRINCIPALI RISULTATI DEL CALCOLO - Intero edificio - Comune di ubicazione dell'edificio: Roma									
Dati geometrici									
Superficie utile Su 1.788,38 m ²									
Volume lordo V 34.838,48 m ³									
Superficie disperdente Sdisp 7.267,14 m ²									
FABBISOGNI DI ENERGIA TERMICA									
Riscaldamento involucro	Q _{in,d}	452.203 kWh	Indice di prestazione	EP _{in,v}	21,06 kWh/(m ² .anno)				
Acqua calda sanitaria	Q _{in,w}	280,7 kWh	Indice di prestazione	EP _{in,w}	0,01 kWh/(m ² .anno)				
Raffrescamento involucro	Q _{in,d}	77.867 kWh	Indice di prestazione	EP _{in,v}	3,34 kWh/(m ² .anno)	Prestazione limite	EP _{in,v,lim}	22,00 kWh/(m ² .anno)	
RISCALDAMENTO: fabbisogno di energia primaria e rendimenti									
Energia primaria riscaldamento	Q _{p,r}	753.732 kWh	Indice di prestazione	EP _{p,r}	53,77 kWh/(m ² .anno)	Prestazione limite	EP _{p,r,lim}	9,62 kWh/(m ² .anno)	
Classe energetica riscaldamento	G		Rendimento globale stagionale	η _{G,r}	0,609	Rendimento globale limite	η _{G,r,lim}	0,848	
Energia primaria rinnovabile	Q _{p,r,ren}	0,000 kWh	Quota rinnovabile	QR _r	0,0 %				
Energia primaria totale	Q _{p,r,tot}	753.732 kWh	Indice di prestazione totale	EP _{p,r,tot}	53,77 kWh/(m ² .anno)				
ACQUA CALDA SANITARIA: fabbisogno di energia primaria e rendimenti									
Energia primaria ACS	Q _{p,w}	651,4 kWh	Indice di prestazione	EP _{ACS}	0,04 kWh/(m ² .anno)	Prestazione limite	EP _{ACS,lim}	- kWh/(m ² .anno)	
Classe energetica ACS	A		Rendimento globale stagionale	η _{G,w}	0,308	Rendimento globale limite	η _{G,w,lim}	-	
Energia primaria rinnovabile	Q _{p,w,ren}	0,000 kWh	Quota rinnovabile	QR _{ACS}	0,0 %	Valore minimo	QR _{ACS,min}	38,0 %	
Energia primaria totale	Q _{p,w,tot}	651,408 kWh	Indice di prestazione totale	EP _{ACS,tot}	0,04 kWh/(m ² .anno)				
FABBISOGNO GLOBALE: energia primaria e rendimenti									
Energia primaria globale	Q _{p,tot}	754.384 kWh	Indice di prestazione	EP _g	53,82 kWh/(m ² .anno)	Prestazione limite	EP _{g,lim}	9,62 kWh/(m ² .anno)	
Classe energetica globale	G		Rendimento globale stagionale	η _{G,tot}	0,608	Rendimento globale limite	η _{G,tot,lim}	-	
Energia primaria rinnovabile	Q _{p,tot,ren}	0,000 kWh	Quota rinnovabile	QR _g	0,0 %	Valore minimo	QR _{g,min}	38,0 %	
Energia primaria	Q _{p,tot,tot}	754.384 kWh	Emissioni CO ₂		13,71 Kg/m ² .anno				

Tabella 137: Risultati dei calcoli statici per ITC di Vizzini posto a Roma

Gli indici prestazionali calcolati con il metodo dinamico con il calore sensibile sono i seguenti:

689,50	550,79	380,08	182,70	-88,05	-377,32	-663,55	-576,58	-173,56	88,54	359,30	612,29	kWh/giorno
21374,62	15422,04	11782,51	7791,01	-2729,56	-11319,66	-20570,05	-17873,86	-5206,80	0,00	0,00	18981,01	kWh/mese
	QH	75351,20	kWh/anno						QC	-57699,93	kWh/anno	
	EP _{ci.inv}	13,23	kWh/(m ³ .anno)						Ep _{ce.inv}	-32,43	kWh/(m ² .anno)	
	E _{ta}	0,60										
	EP _{ci}	22,06	kWh/(m ² .anno)									

Tabella 138: Indici prestazionali dinamici con calore sensibile per ITC di Vizzini posto a Roma

Tenendo conto del calore totale si hanno i seguenti indici prestazionali:

1183,99	957,85	621,05	198,79	-253,99	-664,43	-1028,54	-973,99	-451,75	-75,87	487,99	1006,30	kWh/giorno
36703,77	26819,90	19252,54	7791,01	-7873,80	-19932,86	-31884,75	-30193,76	-13552,63	0,00	0,00	31195,42	kWh/mese
	QH	121762,64	kWh/anno						QC	-103437,80	kWh/anno	
	EP _{ci.inv}	21,38	kWh/(m ³ .anno)						Ep _{ce.inv}	-58,13	kWh/(m ² .anno)	
	E _{ta}	0,60										
	EP _{ci}	35,64	kWh/(m ² .anno)									

Tabella 139: Indici prestazionali dinamici con calore totale per ITC di Vizzini posto a Roma

L'EP_{ci} calcolato con il metodo statico è pari a 51.77 kWh/(m².anno) mentre con il metodo dinamico con il modello con solo calore sensibile è 22.06 mentre con il calore totale si ha il valore 35.64 kWh/(m³.anno).

Il modello statico prevede un indice prestazionale ancora più elevato supponendo l'edificio realmente a Roma rispetto al caso della simulazione di Caltagirone con i dati di Roma.

6.7 Conclusioni sui casi – Esempio

I dati disponibili per i casi esempio sopra analizzati sono sempre stati essenziali e sempre finalizzati ad un'analisi statica. Pertanto, oltre alle difficoltà già accennate per il reperimento dei dati meteorologici orari per le varie località, non si hanno indicazioni sui profili d'uso sia degli impianti che carichi interni.

I risultati ottenuti (sempre in kWh/(m³.anno), sono riepilogati nella seguente tabella:

Simulazione	Località Riferimento	EP _{ci} statico	EP _{ci} dinamico sensibile	EP _{ci} dinamico Totale
Edificio a Catania	CATANIA	25,01	14,11	16,34
Edificio a Maletto	BOLOGNA	78,75	48,72	47,65
Edificio a Vizzini	ROMA	21,53	28,10	24,65
Liceo a Caltagirone	NAPOLI	13,10	27,08	39,42
Centro Sportivo a Caltagirone	NAPOLI	11,16	13,88	13,58
ITC VE Orlando a Vizzini	ROMA	28,53	22,06	24,95

Tabella 140: Confronto dei risultati ottenuti per i Casi – Esempio analizzati

Il confronto fra i valori dell'EP_{ci} calcolati con i metodi statici e con quelli dinamici (R5C1 con solo calore sensibile e R5C1 con calore totale) portano ad avere, quasi sempre, una migliore similarità con i valori calcolati con il calore totale.

Ad eccezione dei primi due casi (Edificio a Catania e Edificio a Maletto) e l'ultimo (ITC VE Orlando a Maletto), in genere si hanno valori calcolati con il modello dinamico superiori rispetto a quelli calcolati con il metodo statico.

Per i primi due casi non appare plausibile alcuna giustificazione se non quella della diversa metodologia di calcolo e dei statistici medi mensili di riferimento. Per l'ultimo caso si hanno differenze piccole fra le due metodologie di calcolo.

In alcuni casi si ha uno scarto limitato fra i valori statici e quelli dinamici, in altri casi (vedi Liceo a Caltagirone) si hanno scarti notevoli. La causa non è facile da individuare anche per la scarsa documentazione disponibile e per le ipotesi fatte sulle località di riferimento.

Le comparazioni fra località reali simulate con altre di riferimento (a parità di zona e di gradi giorno) con quelle nelle quali si è del tutto cambiata il sito facendolo coincidere con la località di riferimento forniscono risultati in linea con quanto detto in precedenza. Le diversità derivano dalla diversa latitudine e dall'altitudine, a conferma della sensibilità del metodo anche in funzione di questi parametri.

Infine si sottolinea ancora il fatto che la mancanza dei profili d'uso (sia degli impianti che dei carichi interni) e, soprattutto, il conteggio rigoroso del numero di ore di funzionamento basato sulle zone climatiche nei modelli R5C1 influenza fortemente il calcolo dei flussi energetici sopra indicati.

7 Caso - Esempio di un edificio monitorizzato a Torino

L'ENEA ha fornito i dati di consumi energetici per il mese di marzo-aprile per una palazzina di tre piani (la numero 12) sita a Torino e facente parte di un complesso ATC di Torino Sud. I dati costruttivi sono riportati nella seguente tabella.

Dato	Valore	Commento
DATI GEOMETRICI EDIFICIO		
h	15	Altezza edificio [m]
L	28	Lunghezza edificio [m]
P	11	Profondità edificio [m]
np	3	Numero piani edificio
Sup.Tot	1232	[m ²] superficie utile totale dell' edificio
Stot	1478	Superficie totale esterna edificio [m ²]
V	4620	Volume edificio [m ³]
S/V	0,320	Fattore di forma edificio [1/m]
S_1	308	Superficie solaio di calpestio, tutta opaca (direttamente poggiato al terreno) [m ²]
s_1	0,44	Spessore del solaio di calpestio [m]
trasm_1	0,808	Trasmittanza del solaio di calpestio [W/(m ² *K)]
S_2	924	Superficie totale solaio intermedio, tutta opaca (considerando tutti i piani) [m ²]
s_2	0,26	Spessore del solaio intermedio [m]
trasm_2	1,55	Trasmittanza del solaio intermedio [W/(m ² *K)]
S_3	308	Superficie solaio di copertura (tutta opaca) [m ²]
s_3	0,36	Spessore del solaio di copertura [m]
trasm_3	1,309	Trasmittanza del solaio di copertura [W/(m ² *K)]
GIACITURA 1 (NORD)		
Superficie Totale	420	m ²
Superficie Opaca	320	m ²
Superficie Vetro	70	[m ²] vetro singolo da 2 mm
Superficie Telaio	30	[m ²] ci sono sia finestre con telaio in legno che finestroni con telaio in alluminio
Superficie Infisso	100	m ²
Spessore parete esterna	0,5	m
Trasmittanza parete opaca	1,072	W/(m ² *K)
Trasmittanza infisso	4,693	W/(m ² *K)
nf	42	numero totale finestre
GIACITURA 2 (SUD)		
Superficie Totale	420	m ²
Superficie Opaca	341	m ²

Superficie Vetro	52	[m ²] vetro singolo da 2 mm
Superficie Telaio	27	[m ²] telaio in legno
Superficie Infisso	79	m ²
Spessore parete esterna	0,5	m
Trasmittanza parete opaca	1,072	W/(m ² *K)
Trasmittanza infisso	4,386	W/(m ² *K)
nf	32	numero totale finestre
GIACITURA 3 (EST)		
Superficie Totale	165	m ²
Superficie Opaca	158	m ²
Superficie Vetro	5	[m ²] vetro singolo da 2 mm
Superficie Telaio	2	[m ²] telaio in legno
Superficie Infisso	7	m ²
Spessore parete esterna	0,5	m
Trasmittanza parete opaca	1,072	W/(m ² *K)
Trasmittanza infisso	4,462	W/(m ² *K)
nf	4	numero totale finestre
GIACITURA 4 (OVEST)		
Superficie Totale	165	m ²
Superficie Opaca	158	m ²
Superficie Vetro	5	[m ²] vetro singolo da 2 mm
Superficie Telaio	2	[m ²] telaio in legno
Superficie Infisso	7	m ²
Spessore parete esterna	0,5	m
Trasmittanza parete opaca	1,072	W/(m ² *K)
Trasmittanza infisso	4,462	W/(m ² *K)
nf	4	numero totale finestre

Tabella 141: Dati costruttivi della palazzina 12 ATC Torino Sud

Le trasmittanza degli elementi opachi di involucro sono riportati nelle tabelle seguenti:

CARATTERISTICHE STRUTTURALI PARETE ESTERNA VERTICALE								
Strato	Materiale	s	λ	ρ	c _s	h _i	h _e	Trasmittanza
		(m)	(W/(mK))	(kg/m ³)	(kJ/(kgK))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))
						7,7		
1	Intonaco interno	0,02	0,9	1800	0,91			
2	mattoni	0,1	0,72	1800	0,84			
3	muratura a sacco (tufo)	0,26	0,59	1500	0,7			
4	mattoni	0,1	0,72	1800	0,84			
5	Intonaco esterno	0,02	0,9	1800	0,91			
							25	
	Totale	0,5						1,072

Tabella 142: Trasmittanza della parete verticale

CARATTERISTICHE STRUTTURALI SOLAIO CALPESTIO (NO PILOTIS)								
Strato	Materiale	s	λ	ρ	c_s	h_i	h_e	Trasmittanza
		(m)	(W/(mK))	(kg/m ³)	(kJ/(kgK))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))
						5,88		
1	Piastrelle	0,02	1,000	2300	0,80			
2	massetto	0,03	0,900	1800	0,91			
3	argilla	0,06	0,120	450	0,92			
4	solaio (strutture)	0,18	0,600	1800	1,00			
5	ciottoli	0,15	0,700	1500	0,84			
							-	
	Totale	0,44						0,808

Tabella 143: Trasmittanza del solaio di calpestio

CARATTERISTICHE STRUTTURALI SOLAIO COPERTURA								
Strato	Materiale	s	λ	ρ	c_s	h_i	h_e	Trasmittanza
		(m)	(W/(mK))	(kg/m ³)	(kJ/(kgK))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))
						10		
1	massetto più rivestimento	0,06	1,400	2000	0,67			
2	argilla espansa	0,06	0,270	900	0,88			
3	solaio (strutture)	0,22	0,666	1800	1,00			
4	intonaco interno	0,02	0,700	1400	1,09			
							25	
	Totale	0,36						1,309

Tabella 144: Trasmittanza del solaio di copertura

CARATTERISTICHE STRUTTURALI SOLAIO INTERMEDIO								
Strato	Materiale	s	λ	ρ	c_s	h_i	h_e	Trasmittanza
		(m)	(W/(mK))	(kg/m ³)	(kJ/(kgK))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))	(W/(m ² K))
						10		
1	piastrelle	0,02	1,000	2300	0,80			
2	massetto	0,04	1,400	2000	0,67			
3	solaio (strutture)	0,18	0,600	1800	1,00			
4	intonaco	0,02	0,700	1400	1,09			
							5,88	
	Totale	0,26						1,550

Tabella 145: Trasmittanza del solaio intermedio

Le aperture vetrate hanno trasmittanza pari a $U = 4.693 \text{ W}/(\text{M}^2.\text{K})$ al piano terra e $U = 4.662 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ negli altri due piani. La pianta tipo e la sezione sono riportate nelle figure seguenti.

Si è utilizzato il foglio di calcolo R5C1 completo, predisposto per la città di Torino con i dati climatici del data base IGDG.

Si è predisposto l'input dei dati come indicato nella tabella seguente.

I calcoli sono effettuati con due ipotesi:

- Impianto sempre acceso con temperatura interna di $20 \text{ }^\circ\text{C}$ per le 14 ore giornaliere di accensione dell'impianto;

- Impianto con attenuazione diurna della temperatura interna a 16 °C fra le ore 9:00 e le 17:00.

L'impianto di riscaldamento a radiatori è collegato ad una rete di teleriscaldamento che alimenta tutto il complesso delle palazzine ATC.

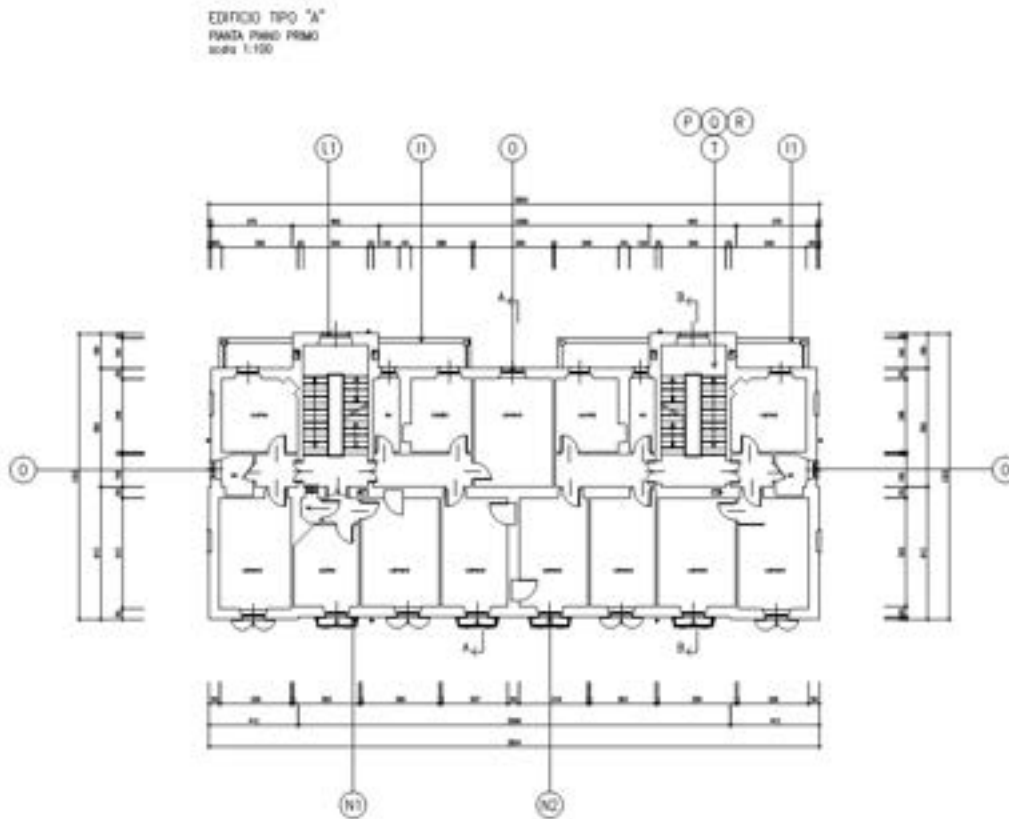


Figura 49: Pianta tipo della palazzina ATC di Torino Sud

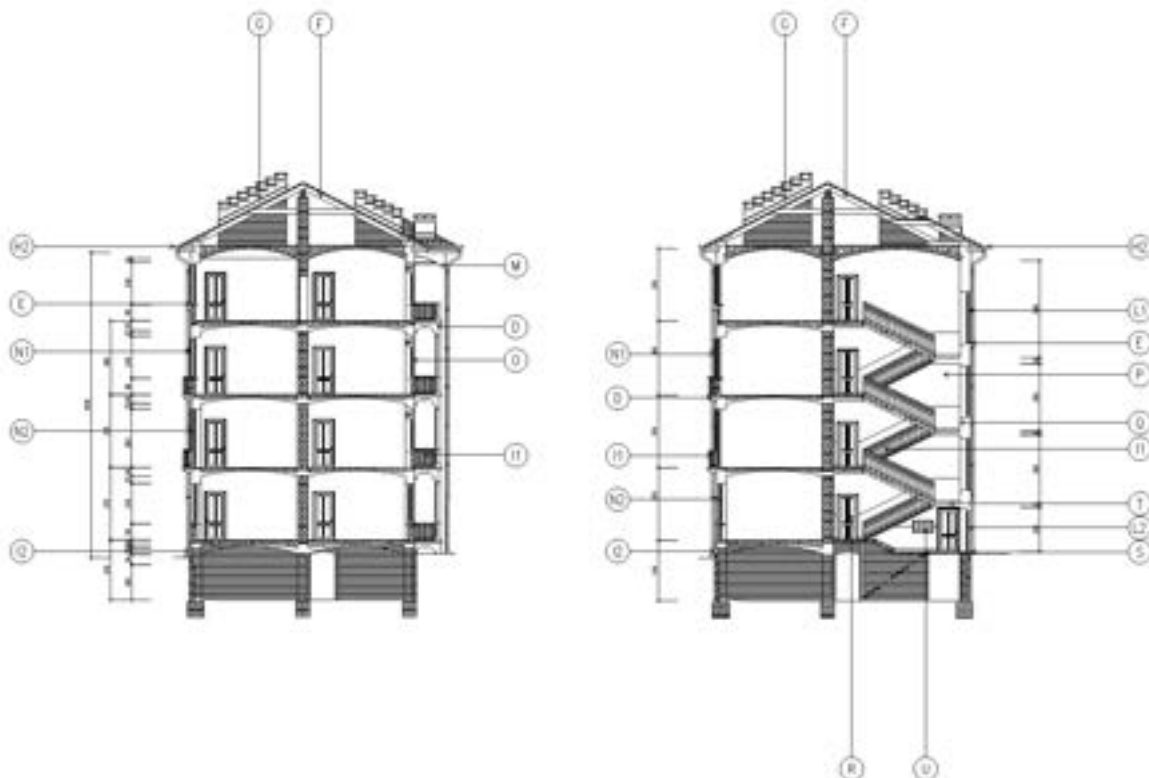


Figura 50: Sezioni tipo A della palazzina ATC di Torino Sud

Parete	U	b.tr	S	a o g	Fsh	Asol.est
Nord	1,072	1	0,00	0,6	1	
Fin. Nord	3,035	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Sud	1,114	1	0,00	0,5	1	
Fin. Sud	2,8	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Est	1,4	1	0,00	0,5	1	
Fin. Est	2,958	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Ovest	1,4	1	0,00	0,5	1	
Fin. Ovest	1,114	1	0,00	0,7	0,9	0,000
Nord Est	1,072	1	342,60	0,5	1	
Fin. NE	4,539	1	81,00	0,8	0,9	6,255
Nord Ovest	1,072	1	334,00	0,5	1	
Fin. NW	4,539	1	63,00	0,8	0,9	4,865
Sud Est	1,072	1	180,45	0,5	1	
Fin. SE	4,539	1	18,00	0,8	0,9	1,390
Sud Ovest	1,072	1	187,45	0,5	1	
Fin. SW	4,539	1	27,00	0,8	0,9	2,085
Pavimento	1,179	0	1103,57	0		
Soffitto	1,309	1	365,22	0,6		
Pareti Int.	1,554	0	481,62	0		

Tabella 146: Dati di input R5C1 per la palazzina ATC Torino Sud

H.altezza	3,75		
n.ricambi/h	0,25		
		G1=Hve	303,48
		G2=Hw	980,42
Htot	2455,64	G3=ht,em	2624,97
Hw	980,42	G4=Ht,ms	22093,38
Hpar	1597,77	G5=Ht,is	10332,41
Htr.op	2346,21	C	160.237.725
Sw	189,00	T	3600
Af	971,14	Am	2427,84
At	2994,90	At	2994,90
Asky	78,64	Asky	78,64
Hve	303,48		
Am	2427,844		
Volume	4138,371		

Tabella 147: Altri di input per la palazzina a Torino

Si dispongono delle misure dei consumi energetici per i giorni dal 13/03/2015 al 12/04/2015 con andamento orario e giornaliero. Per questi ultimi si ha la seguente tabella riepilogativa:

data	MWh	kWh	
13/03/2015	0,53	530	
14/03/2015	0,5	500	
15/03/2015	0,59	590	
16/03/2015	0,68	680	
17/03/2015	0,63	630	
18/03/2015	0,63	630	
19/03/2015	0,53	530	
20/03/2015	0,48	480	
21/03/2015	0,51	510	
22/03/2015	0,49	490	
23/03/2015	0,48	480	
24/03/2015	0,51	510	
25/03/2015	0,6	600	
26/03/2015	0,56	560	
27/03/2015	0,46	460	
28/03/2015	0,45	450	
29/03/2015	0,4	400	
30/03/2015	0,33	330	
31/03/2015	0,3	300	
01/04/2015	0,32	320	
02/04/2015	0,31	310	
03/04/2015	0,39	390	
04/04/2015	0,39	390	
05/04/2015	0,41	410	
06/04/2015	0,47	470	
07/04/2015	0,53	530	
08/04/2015	0,45	450	
09/04/2015	0,4	400	
10/04/2015	0,35	350	
11/04/2015	0,35	350	
12/04/2015	0,36	360	
TOT	14,39	14390	479,6667

Tabella 148: Consumi giornalieri della palazzina ATC nel periodo marzo – aprile 2015



Figura 51: Dati giornalieri dei consumi energetici per il periodo marzo – aprile 2015

7.1 Soluzione con impianti accesi con temperatura interna a 20 °C

La tabella di controllo del foglio R5C1 è la seguente:

Giorni	31				
ft.ms	1			-	
Ht,ms	22093,38		Per bilancio Sensibile	CTRL b	
Ht,em	2790,87		Per bilancio Totale	CTRL t	
ft.is	1		Per impianti accesi	CTRL a	1
Ht.is	10624,69		Per Impianti spenti	CTRL s	0
VMC	0	T mandata	17	Um. Aria. Vent. Est.	70
Port. Variab	0	n.ric.var	1	Um. Aria. Vent. Inv.	40
Attenuazione	0	Temp. Atten	16	C. Lat.S.Int (W/m ²)	2,8
Coef. Sorg. Int	4,75	[W/m ²]			
I-sky,nom	36	[W/m ²]	U.R. Ar. VMC	90	%
Temp. Aria Int	20	°C	U.R. Aria Int.	50	%
Pressione Totale	0,95	Bar	Coeff. Infil. fL	0	m

Tabella 149: Centro di controllo per l'ipotesi di funzionamento normale

I flussi energetici per il giorno medio di marzo sono riportati in tabella:

Energia Sensibile	Energia Latente	Energia Totale
kWh	kWh	kWh
76,20	-2,01	74,19
66,90	-1,77	65,14
59,91	-1,49	58,42
54,64	-1,27	53,37
50,52	-1,16	49,35
47,22	-1,13	46,09
44,61	-1,09	43,52
40,99	-1,69	39,31
36,38	-2,65	33,72
30,35	-4,24	26,11
24,95	-5,10	19,86
20,08	-5,71	14,37
15,95	-6,10	9,85
12,63	-6,23	6,41
10,28	-6,10	4,19
8,94	-5,78	3,17
8,51	-5,34	3,17
9,09	-4,75	4,34
10,67	-4,03	6,64
12,29	-3,61	8,67
13,86	-3,31	10,55
15,37	-3,07	12,30
17,04	-2,74	14,29
18,86	-2,39	16,47
706,24	-82,75	623,49

Tabella 150: Flussi energetici a marzo per funzionamento normale

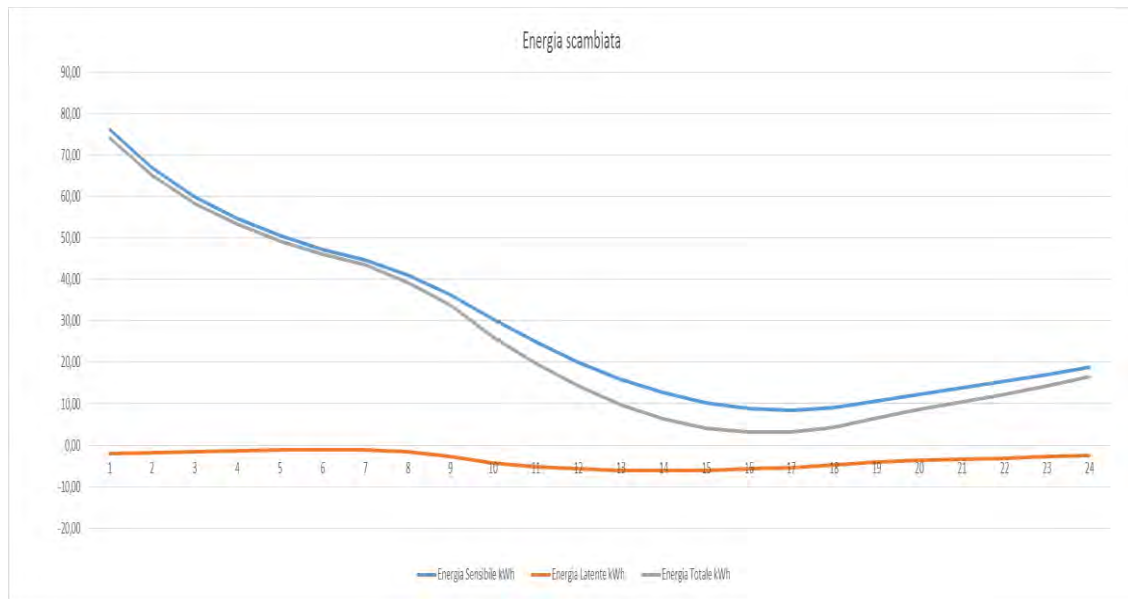


Figura 52: Flussi energetici a marzo in funzionamento normale

Per il mese di aprile si hanno i flussi termici riportati nella tabella e nella figura seguenti:

Energia Sensibile	Energia Latente	Energia Totale
kWh	kWh	kWh
63,17	-2,84	60,33
55,41	-2,56	52,85
49,47	-2,35	47,13
45,02	-2,13	42,88
41,31	-2,13	39,18
38,08	-2,26	35,82
35,04	-2,48	32,56
31,20	-3,21	27,99
26,26	-4,46	21,80
20,13	-6,30	13,84
14,90	-7,05	7,85
10,46	-7,41	3,05
7,15	-7,34	-0,19
4,56	-7,27	-2,71
2,79	-7,05	-4,26
1,91	-6,70	-4,79
1,95	-6,16	-4,21
2,84	-5,52	-2,68
4,65	-4,80	-0,15
6,57	-4,41	2,16
8,53	-4,03	4,50
10,23	-3,82	6,41
11,99	-3,51	8,48
13,82	-3,17	10,66
507,45	-108,96	398,49

Tabella 151: Flussi termici ad aprile con funzionamento normale

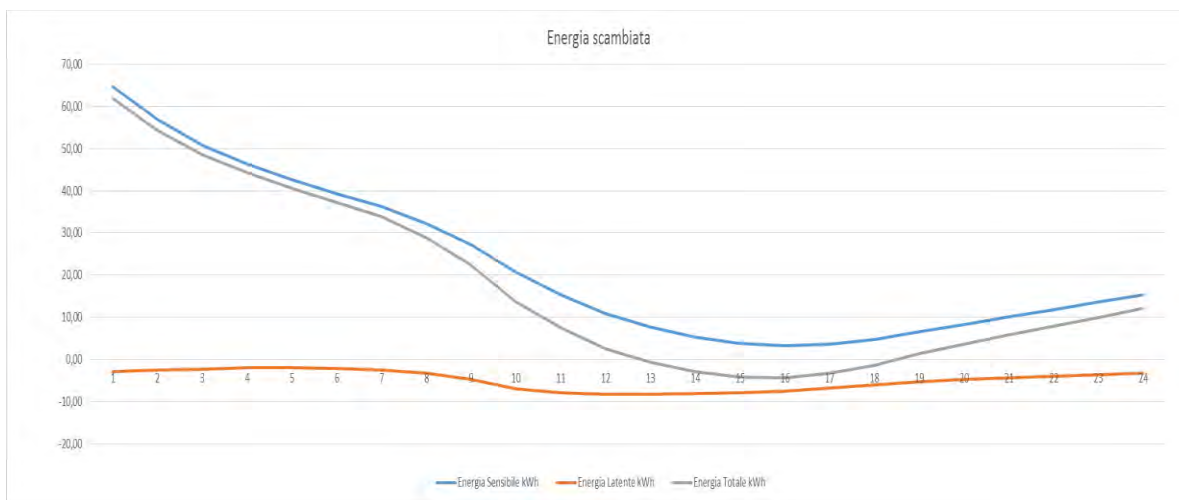


Figura 53: Flussi termici nel mese di aprile con funzionamento normale

I bilanci consolo calore sensibile sono riportati nella seguente tabella:

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ora	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	85,11	81,00	76,20	63,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,63	52,88	75,51
2	74,51	70,97	66,90	55,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,60	46,08	66,04
3	66,21	63,18	59,91	49,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,64	40,82	58,65
4	59,67	57,11	54,64	45,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,56	36,62	52,83
5	54,48	52,43	50,52	41,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,10	33,32	48,30
6	50,38	48,87	47,22	38,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,07	30,75	44,88
7	47,00	46,19	44,61	35,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,31	28,65	42,32
8	43,70	43,04	40,99	31,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,06	25,97	39,29
9	40,11	39,29	36,38	26,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,16	22,61	35,59
10	36,15	34,67	30,35	20,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,39	18,25	31,10
11	32,24	30,31	24,95	14,90	0,00	0,00	-1,86	-2,88	0,00	2,49	14,17	26,74
12	28,43	26,05	20,08	10,46	0,00	0,00	-5,98	-6,72	0,00	0,00	10,19	22,51
13	24,67	22,12	15,95	7,15	0,00	0,00	-8,94	-9,17	-1,46	0,00	6,45	18,48
14	21,66	19,08	12,63	4,56	0,00	-1,45	-11,33	-11,34	-3,82	0,00	3,75	15,38
15	19,52	17,04	10,28	2,79	0,00	-2,92	-12,95	-12,81	-5,32	0,00	2,14	13,31
16	18,25	16,06	8,94	1,91	0,00	-3,71	-13,76	-13,55	-5,94	0,00	1,73	12,29
17	17,98	15,94	8,51	1,95	0,00	-3,81	-13,79	-13,56	-5,74	0,00	2,07	12,22
18	18,64	16,72	9,09	2,84	0,00	-3,26	-13,15	-12,85	-4,81	0,00	3,28	13,01
19	20,25	18,19	10,67	4,65	0,00	-2,31	-11,97	-11,43	-3,23	0,00	5,17	14,58
20	21,68	19,54	12,29	6,57	0,00	-0,15	-9,77	-9,60	-1,54	0,00	6,93	16,10
21	23,05	20,80	13,86	8,53	0,00	0,00	-7,22	-7,52	0,00	0,00	8,44	17,50
22	24,25	21,94	15,37	10,23	0,00	0,00	-4,49	-5,45	0,00	0,00	9,79	18,74
23	25,56	23,11	17,04	11,99	0,00	0,00	-1,90	-3,45	0,00	0,65	11,13	20,07
24	26,80	24,28	18,86	13,82	0,00	0,00	0,00	-1,54	0,00	2,24	12,51	21,41
	880,31	827,90	706,24	507,45	0,00	-17,61	-117,09	-121,89	-31,87	209,91	433,69	736,84

Tabella 152: Bilanci energetici per solo calore sensibile in funzionamento normale

Gli indici di prestazione energetica calcolati per il solo calore sensibile sono:

880,31	827,90	706,24	507,45	0,00	-17,61	-110,70	-111,45	-31,87	209,91	433,69	736,84	kWh/giorno
27289,68	23181,29	21893,43	7611,73	0,00	-528,27	-3431,84	-3454,89	-956,01	3148,62	13010,58	22841,90	kWh/mese
	QH	102818,03	kWh/anno			QC	-8371,02	kWh/anno				
	EPci.inv	105,87	kWh/(m ² .anno)			Epce.inv	-8,62	kWh/(m ² .anno)				
	Eta	0,72										
	EPci	146,65	kWh/(m ² .anno)									

Tabella 153: Indici di prestazione energetica per calore sensibile con funzionamento normale

Imp. Acce	Imp. Acce
Inverno	Estate
1	0
1	0
1	0
1	0
1	0
1	0
1	0
1	0
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	0
1	0
1	0
1	0

Tabella 156: Ore di accensione e di spegnimento degli impianti

Queste differenze sono dovute agli andamenti dell’umidità relativa a Torino nei mesi invernali, come illustrato nella figura seguente (dati IGDG):

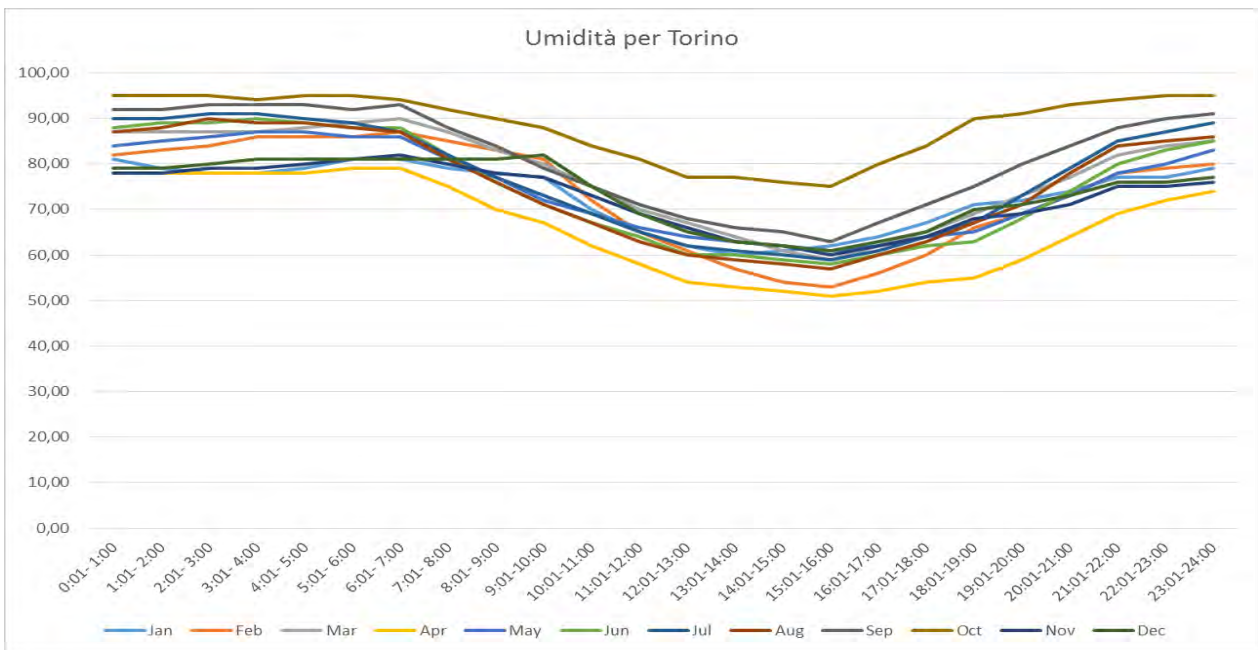


Figura 54: Andamento dell’umidità relativa esterna a Torino

7.2 Soluzione con impianti accesi e temperatura attenuata

Si suppone che gli impianti restino accesi durante il giorno ma che la temperatura sia attenuata a 16 °C fra le ore 9:00 e le 17:00. Restano valide le ipotesi di calcolo del caso precedente e in particolare sono le stesse le ore di accensione degli impianti. La tabella dei dati di controllo è la seguente:

Giorni	31				
ft.ms	1				-
Ht,ms	22093,38		Per bilancio Sensibile	CTRL b	
Ht,em	2790,87		Per bilancio Totale	CTRL t	
ft.is	1		Per impianti accesi	CTRL a	1
Ht.is	10624,69		Per Impianti spenti	CTRL s	0
VMC	0	T mandata	17	Um. Aria. Vent. Est.	70
Port. Variab	0	n.ric.var	1	Um. Aria. Vent. Inv.	40
Attenuazione	1	Temp. Atten	16	C. Lat.S.Int (W/m²)	2,8
Coef. Sorg. Int	4,75	[W/m²]			
I-sky,nom	36	[W/m²]	U.R. Ar. VMC	90	%
Temp. Aria Int	20	°C	U.R. Aria Int.	50	%
Pressione Totale	0,95	Bar	Coeff. Infilt. fL	0	m

Tabella 157: Centro di controllo per temperatura attenuata

I dati calcolati tramite il foglio R5C1 per il mese di marzo sono:

Energia Sensibile	Energia Latente	Energia Totale
kWh	kWh	kWh
49,82	-2,18	47,64
43,95	-1,93	42,02
39,69	-1,65	38,04
36,61	-1,43	35,18
34,23	-1,32	32,91
32,32	-1,28	31,04
57,21	-1,09	56,12
51,05	-1,69	49,36
44,41	-2,65	41,75
10,39	-4,45	5,94
7,13	-5,32	1,81
3,95	-5,94	-1,99
1,18	-6,33	-5,15
0,00	-6,46	-6,46
0,00	-6,33	-6,33
0,00	-6,00	-6,00
0,00	-5,56	-5,56
24,34	-4,75	19,59
22,86	-4,03	18,83
22,02	-3,61	18,41
21,63	-3,31	18,32
21,58	-3,07	18,51
0,00	-2,92	-2,92
0,00	-2,56	-2,56
524,36	-85,86	438,50

Tabella 158: Flussi energetici per impianti attenuati a marzo

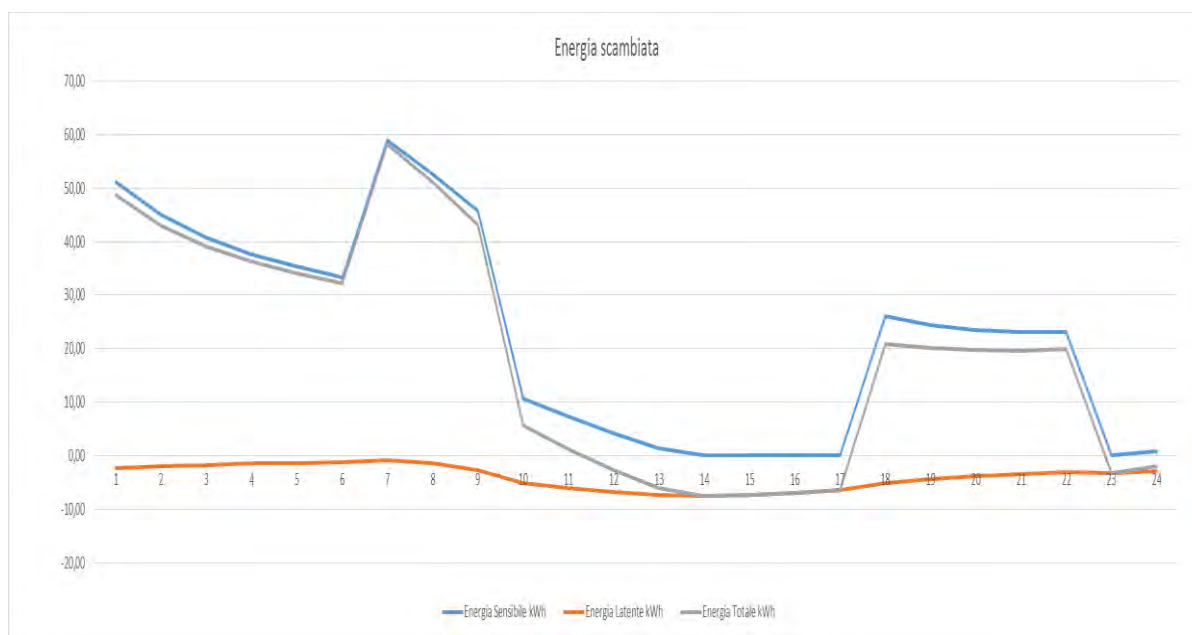


Figura 55: Flussi energetici per impianti attenuati a marzo

Energia Sensibile kWh	Energia Latente kWh	Energia Totale kWh
36,79	-3,02	33,77
32,46	-2,74	29,71
29,25	-2,52	26,73
26,98	-2,30	24,68
25,02	-2,30	22,72
23,18	-2,43	20,75
47,63	-2,48	45,15
41,26	-3,21	38,05
34,30	-4,46	29,83
0,17	-6,53	-6,36
0,00	-7,30	-7,30
0,00	-7,66	-7,66
0,00	-7,59	-7,59
0,00	-7,52	-7,52
0,00	-7,30	-7,30
0,00	-6,94	-6,94
0,00	-6,40	-6,40
18,10	-5,52	12,57
16,84	-4,80	12,03
16,30	-4,41	11,90
16,30	-4,03	12,27
16,44	-3,82	12,62
0,00	-3,70	-3,70
0,00	-3,35	-3,35
381,03	-112,35	268,68

Tabella 159: Flussi energetici per impianti attenuati ad aprile

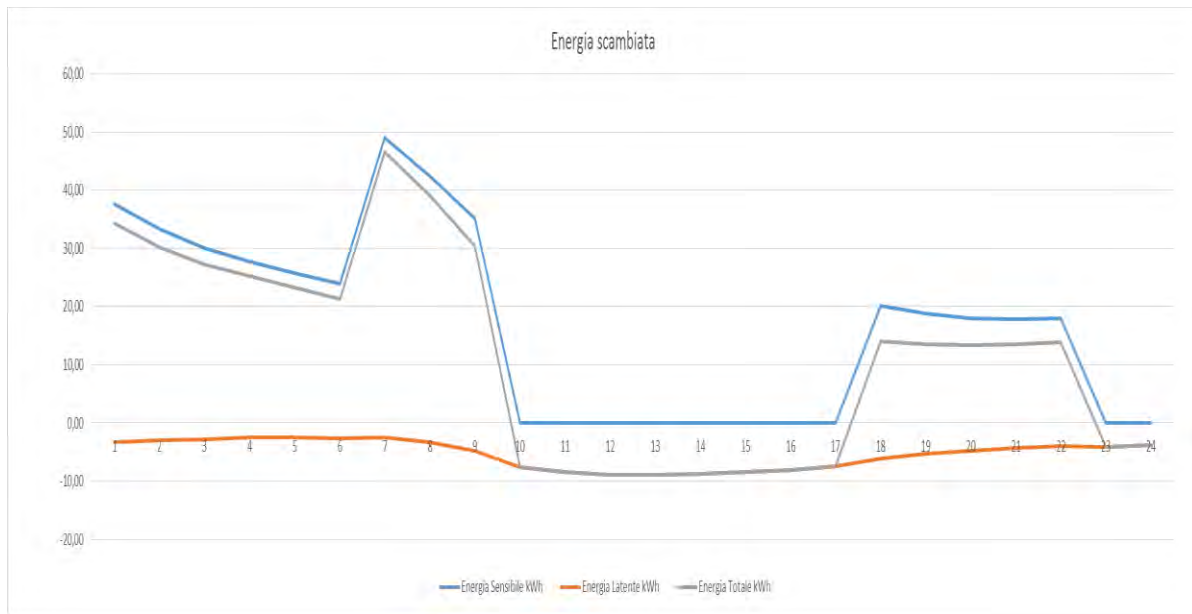


Figura 56: Flussi energetici per impianti attenuati ad aprile

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembr	Ottobre	Novembr	Dicembre
Ora	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	58,74	54,62	49,82	36,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,25	26,50	49,13
2	51,56	48,01	43,95	32,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,65	23,13	43,09
3	46,00	42,97	39,69	29,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,43	20,60	38,43
4	41,64	39,08	36,61	26,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,53	18,59	34,79
5	38,19	36,14	34,23	25,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,81	17,03	32,01
6	35,49	33,97	32,32	23,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,18	15,85	29,98
7	59,59	58,78	57,21	47,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	31,90	41,25	54,91
8	53,75	53,10	51,05	41,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,12	36,02	49,35
9	48,14	47,32	44,41	34,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,19	30,64	43,63
10	16,19	14,71	10,39	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,14
11	14,41	12,48	7,13	0,00	0,00	0,00	-1,86	-2,88	0,00	0,00	0,00	8,91
12	12,31	9,92	3,95	0,00	0,00	0,00	-5,98	-6,72	0,00	0,00	0,00	6,38
13	9,90	7,35	1,18	0,00	0,00	0,00	-8,94	-9,17	-1,46	0,00	0,00	3,72
14	7,99	5,41	0,00	0,00	0,00	-1,45	-11,33	-11,34	-3,82	0,00	0,00	1,70
15	6,71	4,23	0,00	0,00	0,00	-2,92	-12,95	-12,81	-5,32	0,00	0,00	0,50
16	6,13	3,94	0,00	0,00	0,00	-3,71	-13,76	-13,55	-5,94	0,00	0,00	0,18
17	6,41	4,37	0,00	0,00	0,00	-3,81	-13,79	-13,56	-5,74	0,00	0,00	0,66
18	33,90	31,97	24,34	18,10	0,00	-3,26	-13,15	-12,85	-4,81	7,73	18,54	28,26
19	32,44	30,37	22,86	16,84	0,00	-2,31	-11,97	-11,43	-3,23	6,46	17,35	26,77
20	31,41	29,28	22,02	16,30	0,00	-0,15	-9,77	-9,60	-1,54	5,76	16,66	25,83
21	30,82	28,57	21,63	16,30	0,00	0,00	-7,22	-7,52	0,00	5,39	16,21	25,27
22	30,46	28,15	21,58	16,44	0,00	0,00	-4,49	-5,45	0,00	5,29	16,00	24,94
23	4,14	1,69	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,90	-3,45	0,00	0,00	0,00	0,00
24	7,81	5,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,54	0,00	0,00	0,00	2,42
	684,12	631,71	524,36	381,03	0,00	-17,61	-117,09	-121,89	-31,87	139,69	314,38	541,99

Tabella 160: Bilanci energetici annuali con calore sensibile per impianti attenuati

684,12	631,71	524,36	381,03	0,00	-17,61	-110,70	-111,45	-31,87	139,69	314,38	541,99	kWh/giorno
21207,58	17687,78	16255,29	5715,41	0,00	-528,27	-3431,84	-3454,89	-956,01	2095,35	9431,26	16801,70	kWh/mese
	QH	77667,76	kWh/anno				QC	-8371,02	kWh/anno			
		79,98	kWh/(m ² .anno)					Epce.inv	-8,62	kWh/(m ² .anno)		
		0,72										
		110,78	kWh/(m ² .anno)									

Tabella 161: Indici di prestazione energetica con calore sensibile per impianti attenuati

nel calcolo è quello medio del data base IGDG che non è direttamente correlato ai consumi energetici misurati.

Inoltre si risente molto della mancata definizione dei profili d'uso degli impianti e dei carichi interni.

Se si fossero conosciuti gli andamenti reali della temperatura esterna, dell'irraggiamento solare e dell'umidità relativa nello stesso periodo di misura dei consumi si sarebbe potuto effettuare una verifica più congrua del modello R5C1.

I dati medi giornalieri rilevati nel mese di marzo 2015 sono riportati nella seguente tabella:

Giorno	T Media	T min	T max	Umidità	Vento Max
1	7 °C	2 °C	13 °C	62%	9 km/h
2	10 °C	4 °C	17 °C	57%	33 km/h
3	10 °C	4 °C	15 °C	44%	15 km/h
4	8 °C	4 °C	12 °C	67%	13 km/h
5	7 °C	2 °C	13 °C	35%	24 km/h
6	7 °C	0 °C	13 °C	38%	13 km/h
7	6 °C	1 °C	11 °C	46%	13 km/h
8	7 °C	-1 °C	12 °C	53%	11 km/h
9	7 °C	1 °C	13 °C	57%	13 km/h
10	9 °C	1 °C	16 °C	58%	11 km/h
11	11 °C	4 °C	18 °C	56%	19 km/h
12	10 °C	4 °C	15 °C	53%	17 km/h
13	9 °C	2 °C	14 °C	52%	9 km/h
14	8 °C	7 °C	9 °C	62%	17 km/h
15	7 °C	5 °C	8 °C	78%	26 km/h
16	5 °C	3 °C	6 °C	89%	20 km/h
17	8 °C	6 °C	9 °C	85%	17 km/h
18	10 °C	3 °C	16 °C	75%	11 km/h
19	12 °C	9 °C	16 °C	70%	13 km/h
20	11 °C	10 °C	12 °C	73%	7 km/h
21	11 °C	8 °C	14 °C	75%	17 km/h
22	7 °C	7 °C	8 °C	90%	20 km/h
23	11 °C	6 °C	15 °C	69%	13 -24 km/h
24	10 °C	8 °C	11 °C	80%	15 km/h
25	8 °C	7 °C	11 °C	86%	22 km/h
26	11 °C	7 °C	17 °C	79%	11 km/h
27	14 °C	6 °C	20 °C	44%	35 km/h
28	12 °C	4 °C	20 °C	39%	15 km/h
29	13 °C	5 °C	19 °C	54%	11 km/h
30	16 °C	8 °C	23 °C	51%	46 -65 km/h
31	16 °C	7 °C	26 °C	47%	59-85 km/h

Tabella 164: Dati climatici medi giornalieri per Torino a marzo 2015

Si osservi che nei giorni di massimo consumo energetico (16-18 marzo 2015) si hanno temperature massime variabili da 6 a 16 °C e che i consumi del 18/03/2015 (da 630 a 680 kWh/giorno) non appaiono correlati alle temperature esterne (3-16 °C).

data	MWh	kWh
13/03/2015	0,53	530
14/03/2015	0,5	500
15/03/2015	0,59	590
16/03/2015	0,68	680
17/03/2015	0,63	630
18/03/2015	0,63	630

Tabella 165: Giorni di massimo consumo energetico

Il calcolo dei flussi energetici del modello R5C1 è molto dipendente dalle condizioni climatiche esterne (dati orari per il sito considerato) che dai profili d'uso sia degli impianti che dei carichi interni che non sono conosciuti per il caso considerato.

La non definizione dei profili d'uso degli impianti porta di fatto ad una variabilità sensibile dei risultati finali di calcolo. Si consideri, infatti, che se anziché utilizzare per 14 ore al giorno gli impianti, come previsto dall'attuale legislazione, si fossero mantenuti accesi per 16 o 18 ore si sarebbero calcolati consumi energetici superiori e più vicini ai consumi misurati.

Queste considerazioni ed i risultati ottenuti possono anche indurre a pensare che ci sia stato un uso più intensivo degli impianti, specialmente nelle giornate più fredde, come dimostrato dalla grande variabilità dei consumi di Figura 51.

Nei giorni 15/03/2015 al 20/03/2015 si passa, infatti, da un massimo di 630 kWh/giorno a 480 kWh/giorno. Inoltre considerando il periodo dal 13/03/2015 al 12/04/2015 si ha anche un minimo dei consumi energetici di 300 kWh/giorno registrato il 31/03/2015.

8 Conclusioni

Il modello di calcolo R5C1 completo con il bilancio del calore latente, qui presentato, è realmente di tipo *dinamico* e consente di ottenere risultati di notevole pregio rispetto ai metodi statici. Inoltre esso consente di studiare gli effetti dell'accoppiamento *edificio – impianto* e definire profili d'uso standard per le varie tipologie di edifici (scuole, uffici, ospedali, ...).

A questo scopo è possibile tenere conto della nuova *Proposta di Norma del CT n. 102* sul “Calcolo del comportamento degli edifici in regime termico non stazionario”.

Il metodo di calcolo dinamico richiede, tuttavia, dati di input più numerosi ed estesi, non potendosi utilizzare solamente i valori medi giornalieri della temperatura esterna e dell'irraggiamento solare.

Si possono utilizzare le banche dati internazionali oppure ricostruire le sequenze orarie medie giornaliere mediante metodi di *detrending* partendo, ad esempio, dai dati delle UNI 10349. E' questo un tipico problema di *Detailed Simulation Tools (DST)*.

L'implementazione del modello R5C1 completo con il calore totale è stata fatta utilizzando un foglio di calcolo prototipale in Excel. Questo consente di avere uno strumento di calcolo agevole, veloce, affidabile e facile da utilizzare.

I dati climatici sono stati desunti dal data base IGDG per le località di riferimento italiane ivi comprese. A questo scopo si sono predisposti numerosi fogli di calcolo per le località italiane più importanti.

Si ritiene che in questa modalità di calcolo si possano avere risultati molto più aderenti alla realtà, oltre che fornire informazioni più dettagliate sia sui consumi energetici che, con riferimento al passo di calcolo orario, ai carichi termici.

Si è analizzata anche la possibilità di utilizzare impianti di *Ventilazione Meccanica Controllata (VMC)* con temperatura dell'aria di ventilazione imposta per l'eventuale sistema di recupero o per la presenza di un'UTA. E' possibile avere una portata di ventilazione costante o anche variabile, con profilo orario comunque definito.

Inoltre, per le zone climatiche dalla C alla E, è possibile effettuare l'attenuazione diurna della temperatura al valore desiderato.

In definitiva è ora possibile definire un profilo d'uso completo degli impianti di climatizzazione, possibilità che con i metodi statici non è assolutamente possibile attuare. Per conseguenza il metodo dinamico qui esaminato si presenta suscettibile di numerose applicazioni sia per la verifica energetica degli edifici che per la verifica di funzionamento degli impianti di climatizzazione che per la corretta progettazione degli impianti (potendosi avere i carichi di picco mensili e stagionali per ciascuna stagione di calcolo).

Sono state effettuate alcune comparazioni con casi reali per i quali si hanno le simulazioni con il metodo statico. I risultati ottenuti portano, in genere, ad una sovrastima dei modelli dinamici R5C1 (sia con il solo calore sensibile che con il calore totale) rispetto alle valutazioni energetiche del modello statico. Quest'ultimo è aggiornato alle nuove UNI TS 11300:2014.

La possibilità di utilizzare un foglio di calcolo Excel contribuisce alla facilità di calcolo ed ad una ampia diffusione della metodologia.

Certamente la funzione del foglio di calcolo qui implementato è quella di dimostrare la fattibilità del metodo R5C1 integrato con l'equazione del calore latente.

Un utilizzo veramente completo che tenga in considerazione le modalità di utilizzo diretto e indiretto (già evidenziate nel Rapporto Enea del 2014) avrebbe numerosi vantaggi rispetto al dimostratore in Excel.

Si propone di sviluppare un codice di calcolo completo del modello R5C1 completo sopra descritto in modo da disporre di uno strumento completo sia di analisi che di verifica energetica degli edifici.

9 Abbreviazioni ed acronimi

T_{air}	Temperatura dell'aria interna, °K
T_{sup}	Temperatura dell'aria di ventilazione, K
T_e	Temperatura dell'aria esterna, K
T_s	Temperatura superficiale delle pareti interne, K
F_m	Temperatura di massa delle pareti, K
H_x	Generica conduttanza, W/K
H_{ve}	Conduttanza per ventilazione, W/K
$H_{tr,w}$	Conduttanza per le superfici vetrate, W/K
$H_{tr,op}$	Conduttanza delle pareti opache, W/K
$H_{tr,em}$	Aliquota della $H_{tr,op}$ che fa capo al nodo T_m , W/K
$H_{tr,ms}$	Aliquota della $H_{tr,op}$ che fa capo al nodo T_s , W/K
$H_{tr,is}$	Conduttanza di accoppiamento fra T_s e T_{air} , W/K
$H_{v,x}$	ammettenza latente di ventilazione, $W/(kg_v/kg_{as})$;
$H_{inf,x}$	Ammettenza latente per infiltrazione, $W/(kg_v/kg_{as})$;
$Q_{s,i}$	Calore latente interno, W;
R_x	Generica resistenza termica, $1/G_x$, K/W
F_{int}	Flusso di energia delle sorgenti interne, W
F_{sol}	Flusso di energia solare sull'involucro, W
F_{ia}	Aliquota del flusso interno al nodo T_a , W
F_t	Flusso totale somma di F_{int} e di F_{sol} , W
F_{st}	Aliquota del flusso totale al nodo T_s , W
$F_{HC,nd}$	Flusso netto fra edificio ed esterno, W
ρ_a	Densità dell'aria, kg/m^3
c_a	Calore specifico dell'aria, $J/(K.kg)$
b_{tr}	Fattore correttivo per le differenze di temperatura
A_j	Area della superficie della generica parete, m^2
A_f	Area del pavimento, m^2
A_t	Area totale delle superfici che insistono nella zona considerata, m^2
A_m	Area equivalente della massa termica, m^2
U_j	Trasmittanza termica della generica parete, $W/(m^2K)$
h_{is}	Trasmittanza di accoppiamento per il nodo T_s , $W/(m^2K)$
h_{ms}	Trasmittanza di accoppiamento per il nodo T_m , $W/(m^2K)$
C_m	Capacità termica dell'edificio, J/K
κ	Capacità termica superficiale, $J/(m^2K)$
t	Variabile tempo, s
T	Passo di integrazione, s
F_{sh}	Fattore di ombreggiatura
A_{sol}	Area efficace di captazione solare, m^2
I_{sol}	Valore medio dell'irraggiamento solare, W/m^2
f_{rk}	Fattore di vista parete – cielo
F_{rk}	Extra flusso ad alta lunghezza d'onda verso la volta celeste, W/m^2 ;

p_{vs}	pressione di saturazione, Pa;
p_t	Pressione totale, Pa;
φ	Umidità relativa dell'aria (%).
ACS	Acqua Calda Sanitaria
TRY	Test Reference Year

10 Riferimenti bibliografici

1. Norma UNI EN 13790:2008
2. Norme UNI TS 11300 /1 e 2 edizione 02/10/2014
3. G. Cammarata – M. Cammarata – G. Capizzi: “Rapporto Tecnico RdS/”013/79239, Settembre 2014
4. G. Cammarata – M. Cammarata – G. Capizzi: “The Fully Dynamic Model Derived From ISO EN UNI 13790”, IX Congresso Nazionale AIGE 2015, Catania
5. G. Cammarata: “Valutazione dei consumi energetici degli edifici: analisi dinamica secondo la UNI EN 13790”, Quaderni di Legislazione Tecnica, N. 1-2015
6. G. Cammarata – L. Marletta: “Il codice BIOCLI per la analisi del transitorio termico negli edifici”, 38° Congresso Naz. ATI Bari, Settembre. 1983.
7. G. Cammarata – L. Marletta – F. Patania: "L'analisi di sensitività per la valutazione delle prestazioni degli edifici", 30° Congresso Naz. ATI, L'Aquila Settembre 1984.
8. G. Cammarata – L. Marletta – F. Patania: “New approach to building design by means of the sensitivity theory”, PLEA Mexico, 1984
9. V. Homics M. Kirkedal: “Evaluation of simplified models for checking compliance with building regulation”, Ed Aalborg University, 2013
10. R. Nielsen, S. Svendsen: “Simplified hourly calculation of energy performance in accordance with the Energy Performance of Buildings Directive”
11. G. Morris - G. Davies: “Building Heat Transfer”, Ed Wiley 2004
12. D. van Dijk: “Information paper for the EN ISO Standard on energy using for heating and cooling – EN ISO 13790”, EPBD Building Platform, P92
13. D. van Dijk –Arkesteijn: “Windows and space heating requirements; Parameter studies leading to a simplified calculation method”, I.A.E., Annex XII Windows and fenestration, 1987
14. C.P. Underwood e F.W.H Yik “Modelling methods for energy in buildings”, Ed Blackwell Science 2004
15. A. Rabl: “Parameter estimation in buildings: Methods for dynamic analysis of measured energy use”, Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 110, Feb. 1988
16. P. Bacher – H. Madsen: “Identifying suitable models for the heat dynamic of buildings”, Energy and Buildings, 2011 Vol. 43, Pagg. 1511-1522
17. J.A. Candanedo – V.R. Dehkordi – P. Lopez: “A control - oriented simplified building modelling strategy”; 13th Conference of building performance simulation association, Chambéry 2013
18. T. Chen: “A methodology for thermal analysis and predictive control of building envelope heating systems”, PhD Thesis, Concordia University Montreal, Canada, 1997
19. O. Mejri – B. Peuportier – A. Guiavarch: “Comparison of different method for estimating the building envelope thermal characteristics”, 13th Conference of building performance simulation association, Chambéry 2013
20. H. Masuda – D. E. Claridge: “ Estimation of building parameters using simplified energy balance model and metered whole building energy use”, 20th Conference for Enhanced Building Operation, Manchester UK, Oct. 2012
21. L. Yashen – B. Prabir: “Identification of control – oriented thermal models of rooms in multi – room building”, Transaction of Control System Technology, pagg. 1-30
22. H: Park – N. Martaj – M. Ruellan – R. Bennacer – E. Monmasson: “Modeling of a building system and its parameter identification”, F. of Elect. Tech. Vol8, pagg. 975-983, 2013

23. L. an- R. Horesh – Y, T. Chae – Y M. Lee: “Estimation of thermal parameters of building through inverse modeling and clustering for a portfolio of buildings”, 5th National Conference of IBPSA-USA, Madison, August 2012
24. S. Bengea – V. Adetola – K. J. Liba – D. Vrabie – R. Bitmead – S. Narayanan: “Parameter estimation of a building system model and impact of estimation on closed loop performance”, 50th Conference on Decision and Control, Orlando, FL, December 2011
25. S. Wang – X. Xu: “Parameter estimation of internal thermal mass of building dynamic model using genetic algorithm”, Energy Conservation and Management, Vol. 47, Pagg. 1927-1941, 2006
26. M. Beccali – L. Mazzarella – M. Motta: “Simplified models for building cooling energy”, Proceeding of Building simulation, Rio de Janeiro 2001
27. V. Corrado – E. Fabrizio: “Assessment of building cooling energy need through a quasi-steady state model- simplified correlation for gain-loss mismatch”, Energy Building Simulation, 1999 Kyoto
28. G. Kokogiannakis – J.P.A. Strachan – J.A. Clarke:” Comparison of the simplified methods of the ISO 13790 standard and detailed modeling programs in a regulatory context”, Journal of Building Performance simulation, pagg 209-219, ISSN 1940-1943
29. H. B. Gunay – L. O’Brien – R. Goldstein – S. Breslav – A. Khan: “Development of discrete event system specification (DEVS) Building Performance models for building energy design”, Carleton University, Canada
30. D. van Dijk: “ High Energy performance buildings: Design and evaluation methodologies – Standardized calculation methods in relation to the EPBD”, Bruxelles 2013
31. K. Sirén – A. Hasan: “Comparison of two calculation methods used to estimate cooling energy demand and indoor summer temperatures”, Proceeding of Clima 2007, WellBeing Indoors

11 Autori

Prof. Ing. Giuliano Cammarata

Laureato in Ingegneria Nucleare con lode, professore di prima fascia di Fisica Tecnica Industriale e docente di Impianti Termotecnici nel Corso di Laurea Magistrale per Ingegneria Meccanica di Catania. E' stato consigliere nazionale AICARR per tre mandati. E' direttore di ricerca contratti CNR, PON, Industria 2015 ed ENEA. Ha effettuato ricerche nel campo della CFD applicata alla combustione, allo smaltimento del calore in dispositivi di potenza e alla progettazione bioclimatica degli edifici. Ha effettuato studi nella progettazione dei sistemi di accumulo PCM in impianti solari termodinamici di tipo Fresnel, nell'energetica degli edifici nei modelli matematici avanzati per gli edifici. Ha esperienza progettuale pluriennale per l'impiantistica termotecnica in edifici pubblici e sanitari. Ha esperienza sulle problematiche energetiche ed ambientali industriali. E' autore di oltre 200 lavori su riviste nazionali ed internazionali e di quattro libri sulla Fisica Tecnica Ambientale, la Certificazione energetica degli edifici, gli Edifici a quasi zero energia e sulla Riqualificazione energetica.

Dott. Arch. Massimiliano Cammarata

Laureato in Architettura e docente di materie tecnologiche nella scuola media. E' dottorando dal 2012 in Energetica degli Edifici presso il Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Catania. Ha effettuato ricerche di CFD per la distribuzione dell'aria negli teatri, le condizioni di benessere, l'energetica degli edifici. E' autore di tre libri sulla Certificazione energetica degli Edifici, sugli gli Edifici a quasi zero energia e sulla Riqualificazione energetica. Coltiva interessi per le condizioni di benessere termico, per l'edilizia bioclimatica e per la sostenibilità architettonica.

Prof. Ing. Giacomo Capizzi

Ha conseguito la Laurea con lode in Ingegneria Elettronica presso l'Università di Catania, nel 1993 e il dottorato di ricerca in ingegneria elettronica presso l'Università di Reggio Calabria, nel 2000. Dal 1993 al 1996, è stato progettista di sistemi di cablaggio presso una azienda di telecomunicazioni. Dal gennaio 2000 al marzo 2002 è stato docente a contratto presso il DEEIS, dell'Università degli Studi di Catania. Nel marzo 2002, è entrato a far parte del Dipartimento stesso come ricercatore (ING-IND/31 elettrotecnica). I suoi interessi di ricerca includono la teoria wavelet, reti neurali, pattern recognition, reti Bayesiane, teoria e progettazione di filtri digitali / analogici lineari e non lineari, sistemi di generazione integrati, fonti energetiche rinnovabili e di modellizzazione e simulazione di sistemi di accumulo a batteria, metodi di ottimizzazione della propagazione e la determinazione di strutture multistrato di polaritoni plasmonici, il progetto degli elettrodi in batterie ioni Litio, gestione ottimale dei sistemi integrati di generazione di energia basata su architetture cloud e predittori di tipo neuro-wavelet per le fonti rinnovabili. E' autore di numerosi lavori a stampa su riviste internazionali.