



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Studio comparativo tra fabbisogni energetici netti, lato edificio,
sia per la climatizzazione estiva che per quella invernale di
edifici residenziali e del settore terziario situati in climi differenti

Piergiorgio Cesaratto, Michele De Carli

STUDIO COMPARATIVO TRA FABBISOGNI ENERGETICI NETTI, LATO EDIFICIO, SIA PER LA CLIMATIZZAZIONE ESTIVA CHE PER QUELLA INVERNALE DI EDIFICI RESIDENZIALI E DEL SETTORE TERZIARIO SITUATI IN CLIMI DIFFERENTI

prof. ing. Piergiorgio Cesaratto, Michele De Carli

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Area: Usi finali

Tema: Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione

Responsabile Tema: Gaetano Fasano- ENEA

SOMMARIO

1 Introduzione	5
2 Descrizione del software e approccio alle simulazioni	7
2.1. Il software TRNSYS 15	7
2.2 Dati climatici.....	9
3 Il Caso di un edificio del settore terziario	10
3.1 Descrizione dell’edificio tipo.....	10
3.2 Descrizione del procedimento	16
3.3 Risultati nel caso di edifici del settore terziario.....	18
4 Il caso di un edificio del settore residenziale	20
4.1 Descrizione dell’edificio tipo.....	20
4.2 Descrizione del procedimento	28
4.3 Risultati nel caso di edifici residenziali	31
5 Conclusioni	32
6 Bibliografia	34

1 INTRODUZIONE

In Italia l'aumento dei consumi energetici negli ultimi anni ha riguardato soprattutto il settore residenziale e terziario, sia per quanto riguarda i consumi di gas per il riscaldamento che per quanto concerne i consumi elettrici per la climatizzazione estiva come si vede in Fig. 1.1; a tal fine pertanto occorre prevedere strategie per ridurre tali consumi.

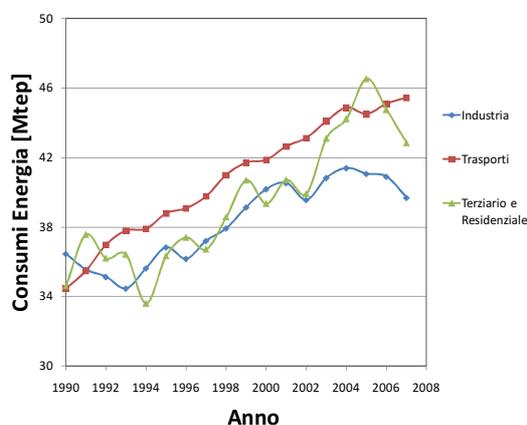


Fig. 1.1: consumo di energia per settori di uso finale (da Enea, Rapporto Energia e Ambiente 2007-2008)

Nel presente lavoro si è mirato ad uno studio comparativo tra fabbisogni energetici netti, lato edificio, sia per la climatizzazione estiva che per quella invernale di edifici residenziali e del settore terziario situati in climi differenti. Per ciascuna tipologia edilizia si è considerato un edificio tipo, con ottime caratteristiche di isolamento termico degli elementi d'involucro. L'analisi è stata eseguita con il codice di calcolo dinamico TRNSYS 15, attraverso simulazioni orarie: in tal modo sono stati presi in considerazione tutti i principali elementi che concorrono alla definizione del fabbisogno energetico netto dell'edificio. In particolare, si sono variate le caratteristiche legate alla gestione degli impianti di climatizzazione:

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

- per quanto riguarda la ventilazione sono stati considerati indici di ricambi orari differenti (costanti e variabili, secondo profili diversi); inoltre è stata considerata l’eventuale presenza del recuperatore di calore;
- per quanto concerne il raggiungimento e mantenimento di temperature di set-point all’interno degli ambienti attraverso i terminali d’impianto, sono stati imposti due diversi profili di temperatura (set-point fisso e set-point variabile).

Gli apporti dovuti alla presenza di carichi interni (ovvero occupanti apparecchiature ed illuminazione) sono stati assunti secondo quanto previsto da normativa italiana [1] ed adattando lo studio alle differenti utenze.

Gli edifici sono stati collocati all’interno di tre climi differenti, Milano, Roma e Palermo, a parità di orientazione, ma variando le caratteristiche di isolamento dell’edificio stesso (in conformità a quanto previsto dal quadro legislativo italiano [2-5]) attraverso l’implementazione dei file climatici del codice Energy Plus [9]. Ciò ha reso possibile il confronto tra condizioni al contorno, specialmente per quanto riguarda la radiazione solare, molto differenti e gradualmente più gravose per la climatizzazione estiva.

In tal modo si sono ricavati i fabbisogni netti dell’edificio per ciascuna tipologia edilizia e di gestione degli impianti di climatizzazione, distinguendo per la climatizzazione invernale, tra fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento laddove necessario, e per quella estiva tra fabbisogno di calore sensibile e latente.

Nomenclatura

Q_{Risc}	fabbisogno di energia netta dell'edificio per riscaldamento [kWh/m ²]
Q_{Raffr}	fabbisogno di energia netta dell'edificio per raffrescamento [kWh/m ²]
Q_{Sens}	fabbisogno di energia netta dell'edificio per raffrescamento – quota parte di calore sensibile [kWh/m ²]
Q_{Lat}	fabbisogno di energia netta dell'edificio per raffrescamento – quota parte di calore latente [kWh/m ²]
$Q_{h,W}$	fabbisogno di energia termica utile per acqua calda sanitaria [kWh/m ²]
$W_{illuminazione}$	fabbisogno di energia elettrica per illuminazione [kWh/m ²]
$W_{apparecchiature}$	fabbisogno di energia elettrica per apparecchiature [kWh/m ²]
MAD	tipologia di utenze oculato – simulazioni di edificio nel settore terziario
PM	tipologia di utenze non oculato – simulazioni di edificio nel settore terziario

2 DESCRIZIONE DEL SOFTWARE E APPROCCIO ALLE SIMULAZIONI

2.1. IL SOFTWARE TRNSYS 15

TRNSYS-15 [7] è una piattaforma completa e flessibile per la simulazione dinamica di vari sistemi, inclusi edifici multizona; è usato per verificare la validità teorica di nuove concezioni energetiche, da semplici sistemi domestici per la produzione di acqua calda sanitaria al progetto e alla simulazione di edifici e dei loro impianti, comprese le strategie di regolazione, il benessere degli abitanti, oltre a diversi sistemi ad energie alternative (eolica, solare, fotovoltaica, sistemi ad idrogeno), ecc.

Tale software ha una struttura modulare ed un codice di programmazione open source, ovvero, disponibile agli utenti che possono modificare i modelli esistenti o crearne di nuovi in base alle proprie esigenze mediante i più comuni linguaggi di programmazione (C, C++, PASCAL, FORTRAN, ecc.).

Il software utilizzato è composto da una suite di programmi integrati tra loro:

- l'interfaccia grafica che permette di connettere i diversi sistemi (IISIbat);
- il motore di simulazione TRNDll.dll e il suo eseguibile (TRNExe.exe);
- l'interfaccia grafica che permette di inserire i dati di input dell'edificio (Prebid.exe);
- l'Editor usato per creare programmi e subroutine (TRNEdit.exe).

La modellizzazione dell'involucro edilizio è stata realizzata con l'utilizzo di PREBID, un programma che guida l'utente alla creazione del modello attraverso una sequenza di semplici operazioni e definizioni di dati.

Il primo passo di ogni progetto è la definizione di un certo numero di superfici associate all'edificio e definite in base all'orientazione spaziale rispetto agli assi cardinali e all'inclinazione rispetto ad un piano orizzontale di riferimento.

Il secondo passo è stata la definizione delle zone termiche dell'edificio, come riportato in Fig. 2.1. Per ogni zona termica si sono impostati il volume, i valori iniziali di temperatura e umidità relativa e i dati necessari a valutare le variabili del sistema, quali parametri del sistema di riscaldamento, carichi interni, apporti di umidità, parametri degli impianti di ventilazione e raffrescamento. I parametri di progetto dell'impianto sono stati forniti in diversi modi; mediante un valore costante di

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

set-point o mediante una schedule programmabile giornalmente per valori orari o settimanalmente per valori giornalieri, infine mediante file di input esterni in formato testo.

Una volta definite le zone termiche si sono descritte le strutture murarie che le delimitano e i componenti finestrati in essi presenti, definendo le proprietà di ciascuno strato componente l'elemento di involucro. Si è proceduto, in tal modo, a costruire tutte le pareti esterne ed interne dell'edificio, i solai e la falda del tetto. Ogni superficie è stata poi allocata nello spazio dell'edificio, distinguendo tra parete esterna, ovvero di separazione tra la zona termica e l'ambiente esterno, adiacente, cioè di separazione tra zone termiche differenti dell'edificio stesso ed infine, 'boundary', ovvero a contatto con un ambiente le cui caratteristiche sono impostate dall'utente (come accade, ad esempio, nel caso di piano interrato, le cui pareti perimetrali confinano con il terreno a profilo di temperatura variabile). Per quanto riguarda i componenti finestrati si sono definiti la superficie dell'elemento trasparente e quella del telaio, le caratteristiche di trasmittanza termica e il fattore solare. Completata la creazione del modello dell'involucro edilizio si sono introdotte le condizioni per avviare la simulazione, ovvero:

- condizioni iniziali di temperatura e umidità relativa della zona
- condizioni al contorno di:
 - o temperature e umidità relative delle zone termiche adiacenti;
 - o temperatura e umidità relativa dell'ambiente esterno;
 - o apporto di calore dovuto alla radiazione solare incidente sulle superfici esterne.
- parametri di progetto e d'impianto che influenzano le condizioni termo igrometriche della zona:
 - o sistema di riscaldamento in condizioni invernali;
 - o sistema di raffrescamento in condizioni estive;
 - o carichi interni di calore sensibile e latente dovuti alla presenza di persone o all'utilizzo di elettrodomestici/macchinari;
 - o tasso di ricambio orario n per la ventilazione.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

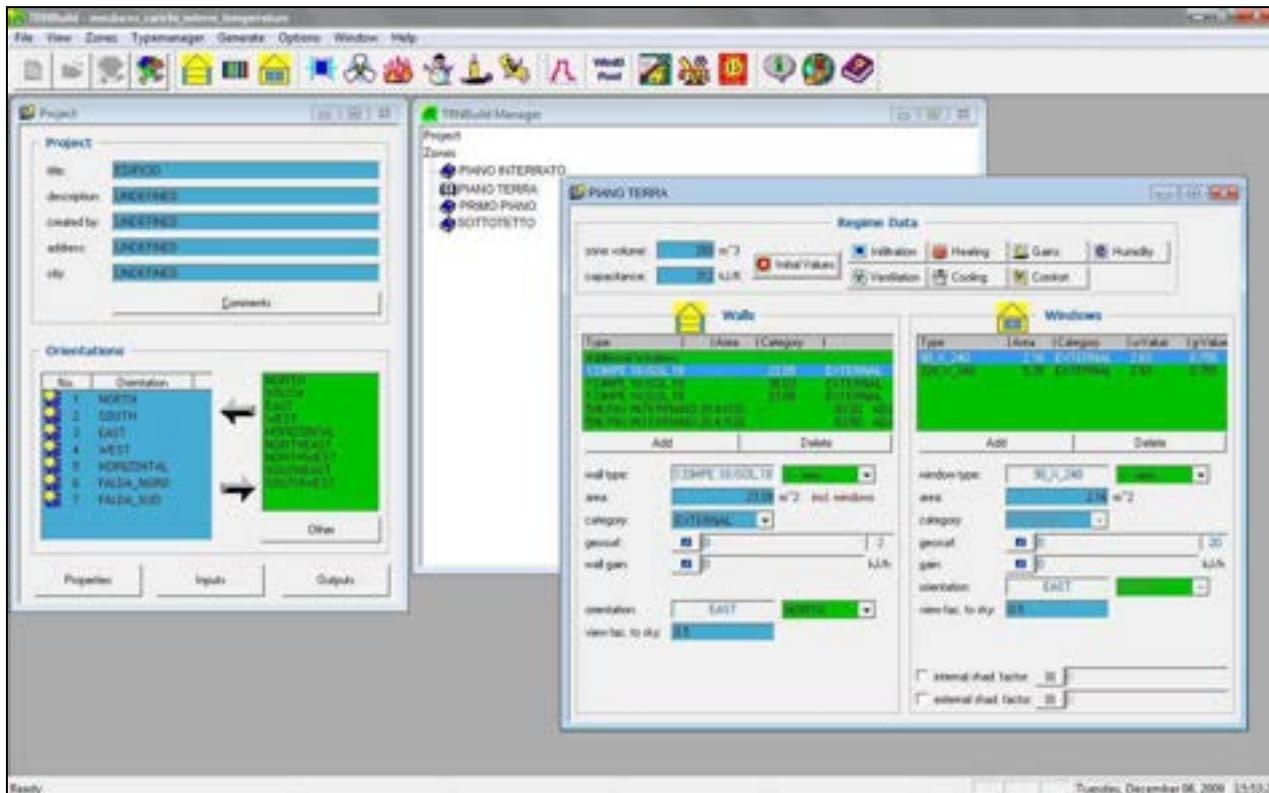


Fig. 2.1: schermata principale di PREBID, finestre di progetto, zone termiche e piano terra

2.2 Dati climatici

I dati climatici sono stati reperiti tramite il software di analisi energetica EnergyPlus [9]: essi contengono una completa definizione delle condizioni ambientali per la località considerata. Tra i dati riportati vi sono la temperatura dell'aria a bulbo secco e a bulbo bagnato, l'umidità relativa, la radiazione solare sull'orizzontale diretta, diffusa e globale. I climi considerati sono quelli di Milano, zona climatica E (2404 GG), Roma, zona D (1415 GG), e Palermo, zona B (751 GG) rispettivamente.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

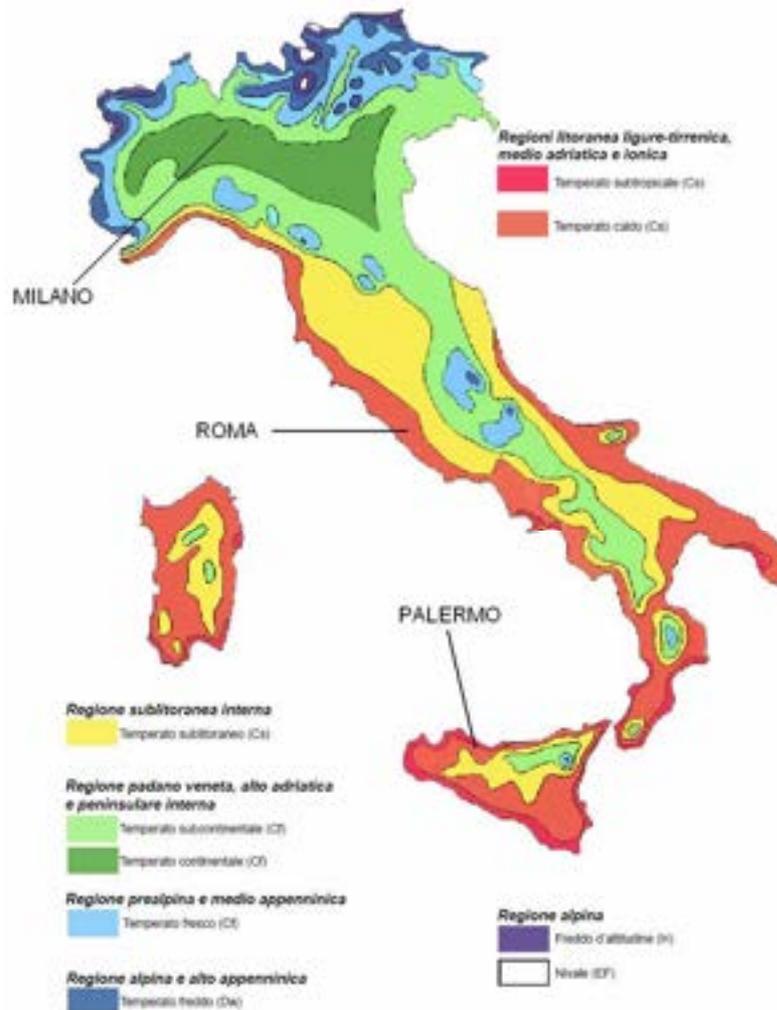


Fig. 2.2: mappa climatica dell'Italia; in evidenza le tre località Milano, Roma e Palermo

3 IL CASO DI UN EDIFICIO DEL SETTORE TERZIARIO

3.1 Descrizione dell'edificio tipo

L'edificio tipo considerato è sviluppato su tre piani e presenta per ogni piano dieci unità-ufficio, ciascuna ideata per quattro occupanti, due vani scale, due bagni e un corridoio. Tutti i vani sono

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

stati considerati riscaldati, le superfici finestrate sono equamente ripartite sui lati esposti ad Est ed Ovest. Le caratteristiche dell’edificio sono riassunte in Tab. 3.1.

Tab. 3.1: Caratteristiche dell’edificio simulato

Superficie Riscaldata Totale Lorda [m ²]	1107
Superficie Riscaldata Totale Netta [m ²]	941
Volume Totale Lordo [m ³]	3320
Volume Totale Netto [m ³]	2822
Superficie Uffici Totale Lorda [m ²]	714
Superficie Uffici Totale Netta [m ²]	607
Superficie Servizi/Scale Totale Lorda [m ²]	286
Superficie Servizi/Scale Totale Netta [m ²]	243
Superficie Corridoio Totale Lorda [m ²]	107
Superficie Corridoio Totale Netta [m ²]	91
Superficie Finestrata Totale [m ²]	162
Superficie del Telaio [m ²]	24
Rapporto Superficie Finestrata Totale/Superficie Netta Riscaldata	1/6

In Fig. 3.1 sono riportate le piante del piano-tipo e dell’unità ufficio tipo.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

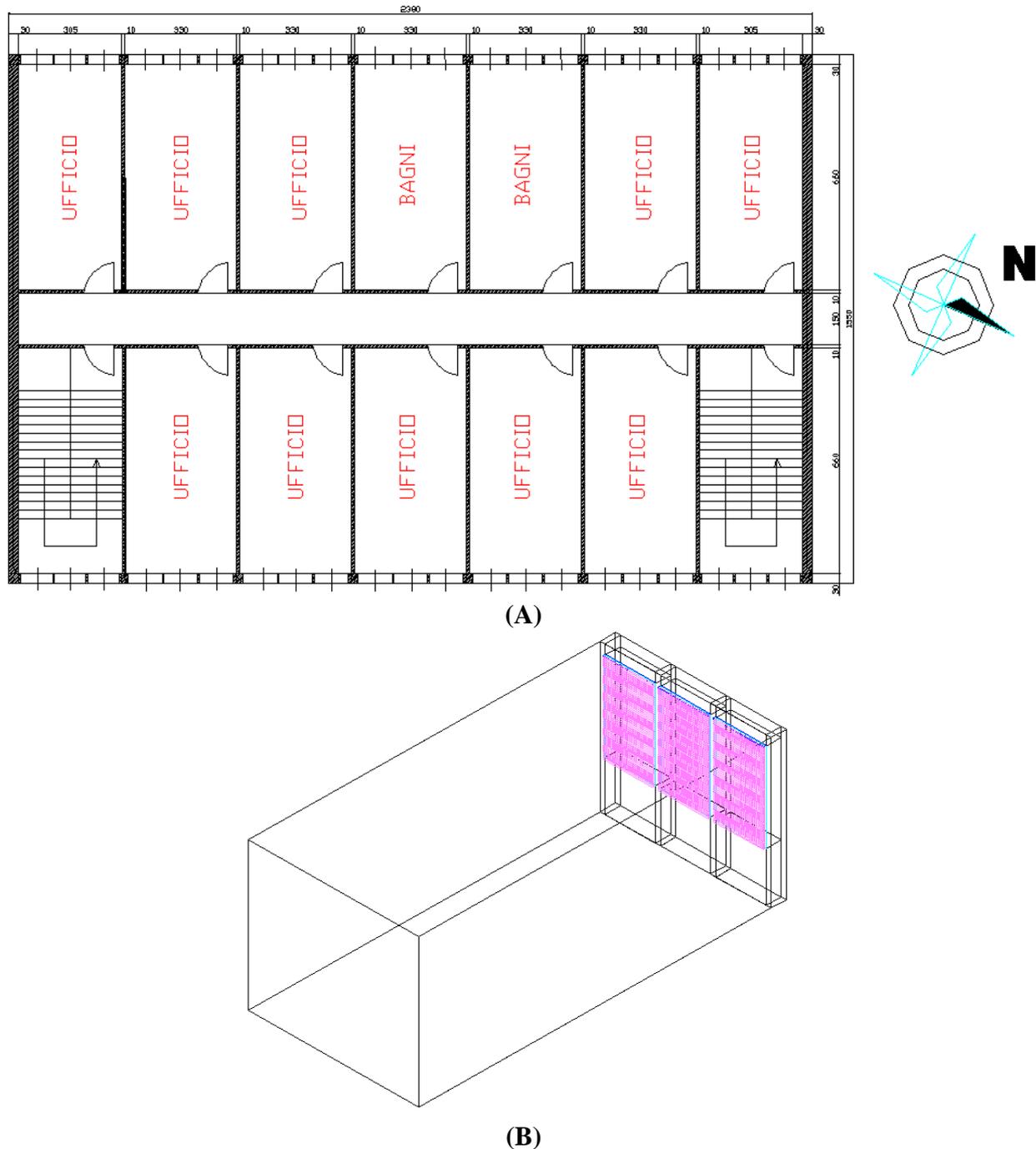


Fig. 3.1: pianta del piano tipo (quote in cm) (A), e modello dell'unità ufficio-tipo (non quotato) (B)

Per le analisi sono state utilizzate strutture ad elevate prestazioni di isolamento termico, con valori di trasmittanza termica inferiori allo standard edilizio italiano imposti dai recenti decreti [2-5]. Al variare della zona climatica, dalla E alla B, si sono variate le strutture, mediante riduzione

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

progressiva dello spessore di isolante, utilizzando anche elementi finestrati con differenti prestazioni energetiche. Tali strutture sono riassunte nelle Tab. da 3.2 a 3.7.

Tab. 3.2: Strutture opache utilizzate per l'edificio tipo nel clima di Milano

Parete esterna					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	0.234
Isolante	0.034	20	1.45	0.11	
Laterizio Porizzato	0.204	960	1.00	0.17	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Tetto					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Isolante	0.034	20	1.45	0.12	0.230
CLS Allegg.	0.250	600	0.84	0.04	
Solaio Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Solaio interpiano					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Piastrella	1.000	100	0.84	0.01	0.530
Massetto	1.200	2100	0.84	0.04	
Isolante	0.034	20	1.45	0.04	
Solaio Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Solaio controterra					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Piastrella	1.000	100	0.84	0.01	0.290
Massetto	1.200	2100	0.84	0.04	
Isolante	0.034	20	1.45	0.09	
Solaio Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1	0.01	
Divisorio interno					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.02	1.430
Laterizio	0.247	920	1.00	0.12	

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

porizzato forato				
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.02

Tab. 3.3: Strutture trasparenti utilizzate per l'edificio tipo nel clima di Milano

	U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	g
Superficie vetrata (vetro + telaio)	1.700	0.597

Tab. 3.4: Strutture opache utilizzate per l'edificio tipo nel clima di Roma

Parete esterna					
	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$kJ/(kg \cdot K)$]	s [m]	U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	0.250
Isolante	0.034	20	1.45	0.10	
Laterizio porizzato	0.204	960	1.00	0.17	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Tetto					
	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$kJ/(kg \cdot K)$]	s [m]	U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Isolante	0.034	20	1.45	0.11	0.246
CLS Allegg.	0.250	600	0.84	0.04	
Solaio Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Solaio interpiano					
	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$kJ/(kg \cdot K)$]	s [m]	U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Piastrella	1.000	100	0.84	0.01	0.530
Massetto	1.200	2100	0.84	0.04	
Isolante	0.034	20	1.45	0.04	
Solaio Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Solaio controterra					
	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$kJ/(kg \cdot K)$]	s [m]	U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Piastrella	1.000	100	0.84	0.01	0.323
Massetto	1.200	2100	0.84	0.04	
Isolante	0.034	20	1.45	0.08	
Solaio Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Divisorio interno					

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.02	1.430
Laterizio porizzato forato	0.247	920	1.00	0.12	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.02	

Tab. 3.5: Strutture trasparenti utilizzate per l'edificio tipo nel clima di Roma

	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	g
Superficie vetrata (vetro + telaio)	1.700	0.597

Tab. 3.6: Strutture opache utilizzate per l'edificio tipo nel clima di Palermo

Parete esterna					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	0.340
Isolante	0.034	20	1.45	0.07	
Laterizio porizzato	0.204	960	1.00	0.17	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Tetto					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Isolante	0.034	20	1.45	0.09	0.290
CLS Allegg.	0.250	600	0.84	0.04	
Solaio Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Solaio interpiano					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Piastrella	1.000	100	0.84	0.01	0.520
Massetto	1.200	2100	0.84	0.04	
Isolante	0.034	20	1.45	0.04	
Solaio Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Solaio controterra					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Piastrella	1.000	100	0.84	0.01	0.380
Massetto	1.200	2100	0.84	0.04	
Isolante	0.034	20	1.45	0.065	

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Solaio Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Divisorio interno					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.02	1.430
Laterizio porizzato forato	0.247	920	1.00	0.12	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.02	

Tab. 3.7: Strutture trasparenti utilizzate per l'edificio tipo nel clima di Palermo

	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	g
Superficie vetrata (vetro + telaio)	2.700	0.78

3.2 Descrizione del procedimento

Sono state ricreate tre diverse situazioni di occupazione degli edifici, denominate A, B e C. Esse differiscono tra loro per i diversi profili di temperature di set-point e umidità relative (RH) imposte, la gestione della ventilazione (con e senza recupero di calore), i profili di carichi interni legati alla presenza di occupanti, carichi di illuminazione, apparecchiature quali PC. Per generare tali profili si è utilizzato il software DAYSIM [8], mediante il quale si sono ottenuti gli andamenti di presenza di occupanti e accensione delle apparecchiature all'interno dell'ambiente. In particolare si è distinto tra due differenti tipologie di occupanti: un utente più oculato, denominato MAD, il quale gestisce sia la regolazione della veneziana che i carichi di illuminazione in funzione della presenza di radiazione solare o meno, ed un utente meno attento, denominato PM, che non utilizza la veneziana (sempre lasciata a schermare la radiazione solare) e non regola i carichi di illuminazione a seconda della presenza o meno di radiazione solare incidente. Nel caso di impostazione di temperatura di set-point costante si è seguito l'approccio della UNI/TS 11300-1 [1] per valutazioni di progetto o standard. Le soluzioni implementate sono riportate in Tab. 3.8.

Tab. 3.8: condizioni di temperatura, umidità relativa, carichi interni e ventilazione per il caso A

Profilo di temperature di set-point invernali	21°C da lunedì a venerdì h. 07:00-17:00 18°C da lunedì a venerdì h. 17:00-07:00 e nel week-end
Profilo di temperature di set-	25°C, RH=50% da lunedì a venerdì h. 07:00-17:00

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

point e umidità relativa estive	30°C, RH=80% da lunedì a venerdì h. 17:00-07:00 e week end
Carichi interni	30 unità uffici da 4 occupanti ciascuno, equivalenti alla presenza di 120 persone di picco. Il profilo di occupazione è generato dal software DAYSIM, ad ogni persona corrispondono 75 W di carico sensibile e 75 W di carico latente (secondo ISO 7730, ‘light work’); a ciascuna persona è associato un PC corrispondente ad un carico di 140 W. Il carico di illuminazione è generato dal software DAYSIM e prevede un carico massimo di 15 W/m ² in riferimento alla superficie netta. I carichi sono differenziati tra configurazione utente MAD e PM.
Ventilazione	40 m ³ /h di aria di rinnovo per persona, cui corrisponde un picco di tasso di rinnovo pari a 1.45 h ⁻¹ , da lunedì a venerdì h. 07:00-17:00; Impianto non attivo da lunedì a venerdì h. 17:00-07:00 e nel week-end

Tab. 3.9: condizioni di temperatura, umidità relativa, carichi interni e ventilazione per il caso B

Profilo di temperature di set-point invernali	21°C da lunedì a venerdì h. 07:00-17:00 18°C da lunedì a venerdì h. 17:00-07:00 e nel week-end
Profilo di temperature di set-point e umidità relativa estive	25°C, RH=50% da lunedì a venerdì h. 07:00-17:00 30°C, RH=80% da lunedì a venerdì h. 17:00-07:00 e week-end
Carichi interni	30 unità uffici da 4 occupanti ciascuno, equivalenti alla presenza di 120 persone di picco. Il profilo di occupazione è generato dal software DAYSIM, ad ogni persona corrispondono 75 W di carico sensibile e 75 W di carico latente (secondo ISO 7730, ‘light work’); a ciascuna persona è associato un PC corrispondente ad un carico di 140 W. Il carico di illuminazione è generato dal software DAYSIM e prevede un carico massimo di 15 W/m ² in riferimento alla superficie netta. I carichi sono differenziati tra configurazione utente MAD e PM.
Ventilazione	40 m ³ /h di aria di rinnovo per persona cui corrisponde un picco di tasso di rinnovo pari a 1.45 h ⁻¹ , con recuperatore ad efficienza ϵ pari a 75%, da lunedì a venerdì h. 07:00-17:00 Impianto non attivo da lunedì a venerdì h. 17:00-07:00 e nel week-end

Tab. 3.10: condizioni di temperatura, umidità relativa, carichi interni e ventilazione per il caso C

Profilo di temperature di set-point invernali	20.5°C costante
Profilo di temperature di set-	25.5°C costante , deumidificazione assente

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

point e umidità relativa estive	
Carichi interni	30 unità uffici da 4 occupanti ciascuno, equivalenti alla presenza di 120 persone di picco. Il profilo di occupazione è generato dal software DAYSIM, ad ogni persona corrispondono 75 W di carico sensibile e 75 W di carico latente (secondo ISO 7730, ‘light work’); a ciascuna persona è associato un PC corrispondente ad un carico di 140 W. Il carico di illuminazione è generato dal software DAYSIM e prevede un carico massimo di 15 W/m ² in riferimento alla superficie netta. I carichi sono differenziati tra configurazione utente MAD e PM.
Ventilazione	tasso di rinnovo pari a 0.3 h ⁻¹ costante

Per quanto riguarda la climatizzazione invernale la stagione considerata è stata quella definita dalla legge italiana italiana [2-5], ovvero dal 15 ottobre al 15 aprile per Milano (zona E), dall’1 aprile al 15 novembre per Roma (zona D), e dall’1 dicembre al 31 marzo per Palermo (zona B). Per quanto riguarda la climatizzazione estiva si sono considerate tutte le ore dell’anno non facenti parte della stagione di riscaldamento sopraccitata per ciascuna località.

I carichi di illuminazione e il fabbisogno di energia elettrica per le apparecchiature elettriche per le tipologie di utente MAD e PM sono riassunti in Tab. 3.11.

Tab. 3.11: Riassunto dei fabbisogni di energia elettrica per le varie tipologie di utente

Tipologia utente	Fabbisogno per apparecchiature	Fabbisogno illuminazione	Fabbisogno totale
	[kWhe/m ²]	[kWhe/m ²]	[kWhe/m ²]
	$W_{\text{apparecchiature}}$	$W_{\text{illuminazione}}$	W_{Totale}
MAD	37	22	59
PM	37	40	77

3.3 Risultati nel caso di edifici del settore terziario

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni per il caso di edifici settore terziario, con la distinzione tra utente oculato, MAD, e meno oculato, PM.

Tab. 3.12: Risultati delle simulazioni per il clima di Milano

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Soluzioni	Fabbisogno invernale			Fabbisogno estivo			Fabbisogno totale climatizzazione
	[kWh/m ²]			[kWh/m ²]			[kWh/m ²]
	Q _{Risc}	Q _{Raffr}	Q _{Totale}	Q _{Sens}	Q _{Lat}	Q _{Totale}	Q _{Totale}
A, MAD	9	2	11	57	10	67	78
A, PM	9	3	12	55	10	65	77
B, MAD	0	2	2	56	9	65	67
B, PM	0	3	3	54	9	63	66
C, MAD	10	3	13	55	0	55	68
C, PM	10	4	14	52	0	52	66

Tab. 3.13: Risultati delle simulazioni per il clima di Roma

Soluzioni	Fabbisogno invernale			Fabbisogno estivo			Fabbisogno totale climatizzazione
	[kWh/m ²]			[kWh/m ²]			[kWh/m ²]
	Q _{Risc}	Q _{Raffr}	Q _{Totale}	Q _{Sens}	Q _{Lat}	Q _{Totale}	Q _{Totale}
A, MAD	0	9	9	69	20	89	98
A, PM	0	8	8	65	21	86	94
B, MAD	0	10	10	70	15	85	95
B, PM	0	9	9	65	15	80	89
C, MAD	0	10	10	66	0	66	76
C, PM	0	9	9	62	0	62	71

Tab. 3.14: Risultati delle simulazioni per il clima di Palermo

Soluzioni	Fabbisogno invernale			Fabbisogno estivo			Fabbisogno totale climatizzazione
	[kWh/m ²]			[kWh/m ²]			[kWh/m ²]
	Q _{Risc}	Q _{Raffr}	Q _{Totale}	Q _{Sens}	Q _{Lat}	Q _{Totale}	Q _{Totale}
A, MAD	0	8	8	98	27	125	133
A, PM	0	5	5	84	27	111	116
B, MAD	0	10	10	99	19	118	128
B, PM	0	6	6	84	19	103	109
C, MAD	0	9	9	99	0	99	108
C, PM	0	6	6	82	0	82	88

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

4 IL CASO DI UN EDIFICIO DEL SETTORE RESIDENZIALE

4.1 Descrizione dell'edificio tipo

L'edificio tipo modellato per il caso residenziale si sviluppa su tre piani, con altezza interpiano di tre metri, con quattro unità abitative di superficie calpestabile pari a circa 94 m². Nell'edificio si distinguono due zone: la zona 1, riscaldata e corrispondente alla superficie occupata dagli appartamenti, e la zona 2, non riscaldata, che corrisponde al vano scala in comune. In Fig. 4.1 è riportata la pianta di un piano tipo.

Tab. 4.1: Caratteristiche dell'edificio simulato

Superficie Totale Lorda [m ²]	1200
Superficie Totale Netta [m ²]	1020
Volume Totale Lordo [m ³]	3600
Volume Totale Netto [m ³]	3060
Superficie Riscaldata Totale Lorda [m ²]	1125
Superficie Riscaldata Totale Netta [m ²]	956
Superficie Non Riscaldata Totale Lorda [m ²]	75
Superficie Non Riscaldata Totale Netta [m ²]	64
Superficie Finestrata Totale [m ²]	121
Superficie del Telaio [m ²]	18.2
Rapporto Superficie Finestrata Totale/Superficie Netta Riscaldata	1/8

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

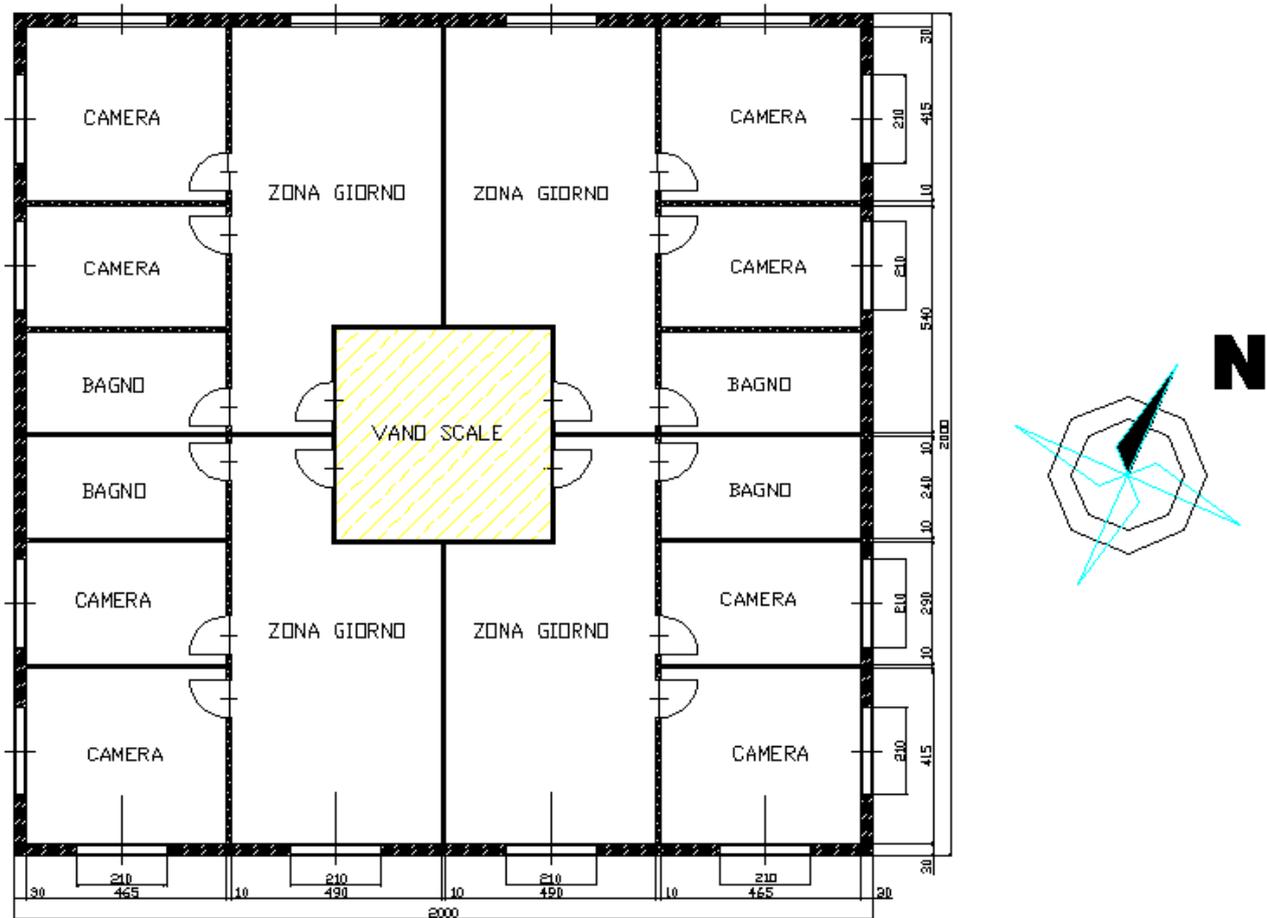


Fig. 4.1: pianta del piano tipo realizzato nell'edificio in analisi (quote in cm)

Le strutture utilizzate sono di due tipi differenti, uno massivo in laterizio ed uno più leggero in legno: entrambe le tipologie presentano elevate prestazioni di isolamento termico con valori di trasmittanza termica inferiori allo standard edilizio minimo richiesto dalle attuali leggi vigenti in Italia [2-5]. Il confronto è stato eseguito a parità di trasmittanza delle strutture stesse. Al variare della zona climatica, dalla E alla B, si sono fatte variare le strutture mediante riduzione progressiva dello spessore di isolante, combinando l'utilizzo di elementi finestrati a prestazioni energetiche decrescenti. Tali strutture sono riportate nelle Tabelle da 4.2 a 4.10.

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Tab. 4.2: Strutture massive opache utilizzate per l'edificio tipo nel clima di Milano

Parete esterna					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Isolante	0.039	20	1.45	0.08	0.270
Laterizio Porizzato	0.204	960	1.00	0.30	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Tetto					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Isolante	0.039	20	1.45	0.12	0.257
CLS Allegg.	0.250	600	0.84	0.04	
Solaio Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Solaio interpiano					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Piastrella	1.000	100	0.84	0.01	0.565
Massetto	1.200	1200	0.84	0.04	
Isolante	0.039	20	1.45	0.04	
Solaio Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Solaio controterra					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Piastrella	1.000	100	0.84	0.01	0.290
Massetto	1.200	1200	0.84	0.04	
Isolante	0.039	20	1.45	0.11	
Solaio Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Divisorio interno					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	1.460
Laterizio forato	0.247	920	1.00	0.12	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Divisorio verso ambiente non riscaldato					

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Isolante	0.039	20	1.45	0.05	0.370
Solaio Laterocemento	0.204	960	1.00	0.25	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.02	

Tab. 4.3: Strutture leggere opache utilizzate per l'edificio tipo nel clima di Milano

Parete esterna					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Fibra di legno A	0.058	250	2.10	0.04	0.270
Fibra di legno B	0.040	160	2.10	0.06	
Legno massiccio	0.130	530	2.10	0.17	
Cartongesso	0.210	100	0.86	0.01	
Tetto					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.12	0.257
Fibra di legno C	0.038	45	2.10	0.02	
Perline	0.130	200	2.10	0.02	
Solaio interpiano					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Piastrella	1.000	100	0.86	0.01	0.565
Massetto	1.200	2100	0.84	0.06	
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.05	
Ghiaia	1.400	800	0.86	0.24	
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.01	
Solaio controterra					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Piastrella	1.000	100	0.86	0.01	0.290
Massetto	1.200	2100	0.84	0.06	
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.11	
Ghiaia	1.400	800	0.86	0.24	
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.01	
Divisorio interno					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Cartongesso	0.210	100	0.86	0.11	1.460
Divisorio verso ambiente non riscaldato					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Cartongesso	0.210	100	0.86	0.01	0.370
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.10	
Cartongesso	0.210	100	0.86	0.01	

Tab. 4.4: Strutture trasparenti utilizzate per l'edificio tipo nel clima di Milano

	U [W·m⁻²·K⁻¹]	g
Superficie vetrata (vetro + telaio)	1.700	0.597

Tab. 4.5: Strutture massive opache utilizzate per l'edificio tipo nel clima di Roma

Parete esterna					
	λ [W·m⁻¹·K⁻¹]	ρ [kg/m³]	c_p [kJ/(kg·K)]	s [m]	U [W·m⁻²·K⁻¹]
Isolante	0.039	20	1.45	0.07	0.290
Laterizio Porizzato	0.204	960	1.00	0.30	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Tetto					
	λ [W·m⁻¹·K⁻¹]	ρ [kg/m³]	c_p [kJ/(kg·K)]	s [m]	U [W·m⁻²·K⁻¹]
Isolante	0.039	20	1.45	0.12	0.260
CLS Allegg.	0.250	600	0.84	0.04	
Solaio Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Solaio interpiano					
	λ [W·m⁻¹·K⁻¹]	ρ [kg/m³]	c_p [kJ/(kg·K)]	s [m]	U [W·m⁻²·K⁻¹]
Piastrella	1.000	100	0.84	0.01	0.565
Massetto	1.200	1200	0.84	0.04	
Isolante	0.039	20	1.45	0.04	
Solaio Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Solaio controterra					
	λ [W·m⁻¹·K⁻¹]	ρ [kg/m³]	c_p [kJ/(kg·K)]	s [m]	U [W·m⁻²·K⁻¹]
Piastrella	1.000	100	0.84	0.01	0.305
Massetto	1.200	1200	0.84	0.04	
Isolante	0.039	20	1.45	0.10	
Solaio Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Divisorio interno					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	1.460
Laterizio	0.247	920	1.00	0.12	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Divisorio verso ambiente non riscaldato					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Isolante	0.039	20	1.45	0.05	0.370
Solaio Laterocemento	0.204	960	1.00	0.25	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.02	

Tab. 4.6: Strutture leggere opache utilizzate per l'edificio tipo nel clima di Roma

Parete esterna					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Fibra di legno A	0.058	250	2.10	0.05	0.290
Fibra di legno B	0.040	160	2.10	0.04	
Legno massiccio	0.130	530	2.10	0.17	
Cartongesso	0.210	100	0.86	0.01	
Tetto					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.12	0.260
Fibra di legno C	0.038	45	2.10	0.02	
Perline	0.130	200	2.10	0.02	
Solaio interpiano					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Piastrella	1.000	100	0.86	0.01	0.565
Massetto	1.200	2100	0.84	0.06	
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.05	
Ghiaia	1.400	800	0.86	0.24	
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.01	
Solaio controterra					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Piastrella	1.000	100	0.86	0.01	0.305
Massetto	1.200	2100	0.84	0.06	
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.10	

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Ghiaia	1.400	800	0.86	0.24	
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.01	
Divisorio interno					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Cartongesso	0.210	100	0.86	0.11	1.460
Divisorio verso ambiente non riscaldato					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Cartongesso	0.210	100	0.86	0.01	0.370
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.10	
Cartongesso	0.210	100	0.86	0.02	

Tab. 4.7: Strutture trasparenti utilizzate per l'edificio tipo nel clima di Roma

	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]	g
Superficie vetrata (vetro + telaio)	1.700	0.597

Tab. 4.8: Strutture massive opache utilizzate per l'edificio tipo nel clima di Palermo

Parete esterna					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Isolante	0.039	20	1.45	0.04	0.390
Laterizio Porizzato	0.204	960	1.00	0.30	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Tetto					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Isolante	0.039	20	1.45	0.09	0.320
CLS Allegg.	0.250	600	0.84	0.04	
Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Solaio interpiano					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$]	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
Piastrella	1.000	100	0.86	0.01	0.565
Massetto	1.200	1200	0.84	0.04	
Isolante	0.039	20	1.45	0.04	
Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Solaio controterra					
	λ [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	ρ	c_p	s [m]	U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

		$[\text{kg}/\text{m}^3]$	$[\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$		
Piastrella	1.000	100	0.86	0.01	0.360
Massetto	1.200	1200	0.84	0.04	
Isolante	0.039	20	1.45	0.08	
Laterocemento	0.490	1200	0.84	0.24	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Divisorio interno					
	λ $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	ρ $[\text{kg}/\text{m}^3]$	c_p $[\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$	s [m]	U $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	1.460
Laterizio	0.247	920	1.00	0.12	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.01	
Divisorio verso ambiente non riscaldato					
	λ $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	ρ $[\text{kg}/\text{m}^3]$	c_p $[\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$	s [m]	U $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$
Isolante	0.039	20	1.45	0.03	0.480
Laterocemento	0.204	960	1.00	0.25	
Intonaco	0.700	1500	1.00	0.02	

Tab. 4.9: Strutture leggere opache utilizzate per l'edificio tipo nel clima di Palermo

Parete esterna					
	λ $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	ρ $[\text{kg}/\text{m}^3]$	c_p $[\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$	s [m]	U $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$
Fibra di legno A	0.058	250	2.10	0.02	0.390
Fibra di legno B	0.040	160	2.10	0.03	
Legno massiccio	0.130	530	2.10	0.18	
Cartongesso	0.210	100	0.86	0.01	
Tetto					
	λ $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	ρ $[\text{kg}/\text{m}^3]$	c_p $[\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$	s [m]	U $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.10	0.320
Fibra di legno C	0.038	45	2.10	0.01	
Perline	0.130	200	2.10	0.02	
Solaio interpiano					
	λ $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$	ρ $[\text{kg}/\text{m}^3]$	c_p $[\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$	s [m]	U $[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$
Piastrella	1.000	100	0.86	0.01	0.565
Massetto	1.200	2100	0.84	0.06	
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.05	
Ghiaia	1.400	800	0.86	0.24	
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.01	

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Solaio controterra					
	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$kJ/(kg \cdot K)$]	s [m]	U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Piastrella	1.000	100	0.86	0.01	0.360
Massetto	1.200	2100	0.84	0.06	
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.09	
Ghiaia	1.400	800	0.86	0.24	
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.01	
Divisorio interno					
	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$kJ/(kg \cdot K)$]	s [m]	U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Cartongesso	0.210	100	0.86	0.11	1.460
Divisorio verso ambiente non riscaldato					
	λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]	ρ [kg/m^3]	c_p [$kJ/(kg \cdot K)$]	s [m]	U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
Cartongesso	0.210	100	0.86	0.01	0.480
Fibra di legno B	0.040	150	2.10	0.07	
Cartongesso	0.210	100	0.86	0.01	

Tab. 4.10: Strutture trasparenti utilizzate per l'edificio tipo nel clima di Palermo

	U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	g
Superficie vetrata (vetro + telaio)	2.700	0.78

4.2 Descrizione del procedimento

Sono state considerate quattro soluzioni (denominate A, B, C e D), che si differenziano per i diversi profili di temperature di set-point e umidità relativa (RH) imposte e per due gestioni differenti della ventilazione. Per quanto riguarda i carichi interni, si è seguito quanto indicato nel prospetto 9 della UNI/TS 11300-1 [1], facendo un'ulteriore distinzione tra carichi sensibili e latenti. Le soluzioni implementate sono riportate in Tab. 4.11.

Tab. 4.11: condizioni di temperatura, umidità relativa, carichi interni e ventilazione per la Soluzione A edifici residenziali

Profilo di temperature di set-point invernali	21°C da lunedì a venerdì e week end h. 07:00-17:00 18°C da lunedì a venerdì e week end h. 17:00-07:00
Profilo di temperature di set-point e umidità relativa estive	25.5°C, RH=50% da lunedì a venerdì e week end h. 07:00-17:00 28°C, RH=60% da lunedì a venerdì e week end h. 17:00-07:00
Carichi interni	12 unità abitative con la presenza costante di 2 occupanti ciascuno, equivalenti alla presenza costante di 24 persone. Ad ogni persona corrispondono 65 W di carico sensibile e 75 W di carico latente

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

	secondo ISO 7730 ('very light writing'). Il restante apporto per raggiungere quanto espresso nel prospetto 9 di UNI/TS 11300-1 è imposto sotto forma di carico equamente ripartito in convettivo e radiante.
Ventilazione	$n=0.3 \text{ h}^{-1}$ costante

Tab. 4.12: condizioni di temperatura, umidità relativa, carichi interni e ventilazione per la Soluzione B edifici residenziali

Profilo di temperature di set-point invernali	20.5°C costante
Profilo di temperature di set-point e umidità relativa estive	25.5°C costante, deumidificazione assente
Carichi interni	12 unità abitative con la presenza costante di 2 occupanti ciascuno, equivalenti alla presenza costante di 24 persone. Ad ogni persona corrispondono 65 W di carico sensibile e 75 W di carico latente secondo ISO 7730 ('very light writing'). Il restante apporto per raggiungere quanto espresso nel prospetto 9 di UNI/TS 11300-1 è imposto sotto forma di carico equamente ripartito in convettivo e radiante.
Ventilazione	$n=0.3 \text{ h}^{-1}$ costante

Tab. 4.13: condizioni di temperatura, umidità relativa, carichi interni e ventilazione per la Soluzione C edifici residenziali

Profilo di temperature di set-point invernali	21°C da lunedì a venerdì e week end h. 07:00-17:00 18°C da lunedì a venerdì e week end h. 17:00-07:00
Profilo di temperature di set-point e umidità relativa estive	25.5°C, RH=50% da lunedì a venerdì e week end h. 07:00-17:00 28°C, RH=60% da lunedì a venerdì e week end h. 23:00-07:00
Carichi interni	12 unità abitative con la presenza costante di 2 occupanti ciascuno, equivalenti alla presenza costante di 24 persone. Ad ogni persona corrispondono 65 W di carico sensibile e 75 W di carico latente secondo ISO 7730 ('very light writing'). Il restante apporto per raggiungere quanto espresso nel prospetto 9 di UNI/TS 11300-1 è imposto sotto forma di carico equamente ripartito in convettivo e radiante.
Ventilazione	$n=0.5 \text{ h}^{-1}$ costante

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

Tab. 4.14: condizioni di temperatura, umidità relativa, carichi interni e ventilazione per la Soluzione D edifici residenziali

Profilo di temperature di set-point invernali	20.5°C costante
Profilo di temperature di set-point e umidità relativa estive	25.5°C costante, deumidificazione assente
Carichi interni	12 unità abitative con la presenza costante di 2 occupanti ciascuno, equivalenti alla presenza costante di 24 persone. Ad ogni persona corrispondono 65 W di carico sensibile e 75 W di carico latente secondo ISO 7730 ('very light writing'). Il restante apporto per raggiungere quanto espresso nel prospetto 9 di UNI/TS 11300-1 è imposto sotto forma di carico equamente ripartito in convettivo e radiante.
Ventilazione	n=0.5 h ⁻¹ costante

Per quanto riguarda le stagioni di climatizzazione, sono state considerate le medesime del caso del terziario per le diverse località.

Infine, poiché si tratta di edifici residenziali, si è considerato anche il fabbisogno di acqua calda sanitaria (ACS) secondo quanto descritto in UNI/TS 11300-2 [6].

$$Q_{h,w} = \sum_t \rho \cdot c \cdot V_w \cdot (\theta_{er} - \theta_0) \cdot G \quad (1)$$

dove

- $Q_{h,w}$ fabbisogno di energia termica per acqua calda sanitaria ACS [Wh]
- ρ massa volumica dell'acqua [kg/m³]
- c_p calore specifico dell'acqua [Wh/(kg °C)]
- V_w volume dell'acqua richiesta durante il periodo di calcolo [m³/G]
- θ_{er} temperatura di erogazione [°C]
- θ_0 temperatura di ingresso dell'acqua di rete [°C]
- G numero di giorni del periodo di calcolo [G]

Come da UNI/TS 11300-2 si è considerata una differenza di temperatura tra l'acqua fredda sanitaria e l'erogazione pari a 25°C; il fabbisogno così ottenuto è riportato in Tab. 4.15.

Tab. 4.15: Fabbisogno di acqua calda sanitaria per l'edificio tipo residenziale nei climi considerati

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

$Q_{h,w}$ [kWh/m ²]	17
---------------------------------	----

4.3 Risultati nel caso di edifici residenziali

Sono di seguito riportati i risultati delle simulazioni per i tre diversi climi considerati: si è distinto fra le quattro soluzioni A, B, C e D massive e leggere, come sopra menzionato.

Tab. 4.16: Risultati delle simulazioni per il clima di Milano

Soluzioni	Fabbisogno invernale	Fabbisogno estivo			Fabbisogno ACS	Fabbisogno totale
	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]			[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
	Q_{Risc}	Q_{Sens}	Q_{Lat}	Q_{Totale}	$Q_{h,W}$	Q_{Totale}
A Massiva	37	12	4	16	17	70
B Massiva	39	14	0	14	17	70
C Massiva	52	10	5	15	17	84
D Massiva	56	11	0	11	17	84
A Leggera	34	11	5	16	17	67
B Leggera	39	13	0	13	17	69
C Leggera	50	9	7	16	17	83
D Leggera	56	11	0	11	17	84

Tab. 4.17: Risultati delle simulazioni per il clima di Roma

Soluzioni	Fabbisogno invernale	Fabbisogno estivo			Fabbisogno ACS	Fabbisogno totale
	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]			[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
	Q_{Risc}	Q_{Sens}	Q_{Lat}	Q_{Totale}	$Q_{h,W}$	Q_{Totale}
A Massiva	12	23	10	33	17	62
B Massiva	12	24	0	24	17	53

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 “Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione”.

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

C Massiva	20	20	15	35	17	72
D Massiva	22	21	0	21	17	60
A Leggera	11	20	10	30	17	58
B Leggera	13	23	0	23	17	53
C Leggera	19	18	15	33	17	69
D Leggera	23	20	0	20	17	60

Tab. 4.18: Risultati delle simulazioni per il clima di Palermo

Soluzioni	Fabbisogno invernale	Fabbisogno estivo			Fabbisogno ACS	Fabbisogno totale
	[kWh/m²]	[kWh/m²]			[kWh/m²]	[kWh/m²]
	Q_{Risc}	Q_{Sens}	Q_{Lat}	Q_{Totale}	Q_{h,W}	Q_{Totale}
A Massiva	4	36	14	50	17	71
B Massiva	4	39	0	39	17	60
C Massiva	8	33	19	52	17	77
D Massiva	8	37	0	37	17	62
A Leggera	4	31	14	45	17	66
B Leggera	5	36	0	36	17	58
C Leggera	7	29	20	49	17	73
D Leggera	10	34	0	34	17	61

5 CONCLUSIONI

I risultati delle simulazioni in 3.3 e 4.3 mettono in evidenza alcuni aspetti interessanti.

Per quanto riguarda il caso degli uffici, nei tre climi considerati si è evidenziato come sia necessario il raffrescamento anche in inverno (tuttavia si potrebbe ricorrere al free cooling). Nel settore

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

terziario, data l'entità dei carichi interni, il fabbisogno per il riscaldamento rappresenta sicuramente una quota minoritaria dell'intero fabbisogno per la climatizzazione (circa il 15 % per Milano, addirittura nullo per Roma e Palermo), pertanto si segnala come l'aspetto fondamentale da considerare per questa tipologia edilizia in sede di progettazione sia il raffrescamento estivo, non solo sensibile, ma anche latente. Inoltre all'utente PM, ovvero quello meno oculato nella gestione dei dispositivi di shading e dell'illuminazione, corrisponde il minor fabbisogno netto dell'edificio, in particolare con il picco di circa il 10% nella riduzione del fabbisogno per la climatizzazione estiva nel clima di Palermo, tuttavia è da sottolineare che il fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione pressoché raddoppia nel passare da utente MAD a utente PM. La presenza del recuperatore è apparsa molto utile in inverno per il solo riscaldamento nel clima di Milano, dove il fabbisogno si è ridotto da 10 kWh/m² a 0 kWh/m², mentre d'estate si è osservata una diminuzione non apprezzabile della richiesta di energia. Nei climi di Roma e Palermo, invece, la riduzione della domanda di energia totale per la climatizzazione è stata di circa il 5% con la presenza del recuperatore. Si noti che le simulazioni di tipo C sono coerenti con le condizioni al contorno disposte dalla UNI-TS 11300-1, mentre le simulazioni di tipo A e B tengono conto dei valori medi di affollamento, come denotano alcuni recenti lavori di letteratura. I valori dei fabbisogni energetici sono decisamente differenti, pertanto è consigliabile una revisione delle condizioni al contorno e del set-point per i calcoli della UNI TS 11300 per quanto riguarda il settore del terziario.

Per quanto riguarda gli edifici del settore residenziale, si è evidenziato come la quota per la climatizzazione estiva sia stata maggioritaria nel fabbisogno globale per i climi di Roma (circa il 50%) e Palermo (circa il 70%), mentre in quello di Milano essa ha rappresentato circa il 20% del totale. Fra struttura massiva e leggera non si è notata una differenza apprezzabile delle prestazioni per il clima di Milano, mentre per Roma si è ottenuta una differenza del fabbisogno globale al massimo di circa il 6% (soluzione A); per il clima di Palermo tale entità ha raggiunto il picco pari a circa il 7% (soluzione A). Per il settore residenziale, inoltre, si è notato come considerare una temperatura costante di set-point, come da approccio standard o di progetto della UNI/TS 11300-1, non abbia generato notevoli differenze nel fabbisogno sensibile di riscaldamento, mentre si apprezza una maggiore differenza nel caso del fabbisogno di raffrescamento sensibile.

Inoltre occorre evidenziare come il contributo della deumidificazione non sia trascurabile, specialmente nei climi più caldi, in quanto il carico latente rappresenta nel settore terziario circa il

Tema di ricerca 5.4.1.1/5.4.1.2 "Determinazione dei fabbisogni e dei consumi energetici dei sistemi edificio-impianto, in particolare nella stagione estiva e per uso terziario e abitativo e loro razionalizzazione. Interazione condizionamento e illuminazione".

RAPPORTO FINALE DELLA RICERCA Settembre 2010

16%-20% nei tre climi, mentre nel settore residenziale l'energia per la deumidificazione si attesta a circa il 25% del fabbisogno di raffrescamento netto totale dell'edificio.

Tra gli sviluppi futuri del lavoro si prevede di inserire gli impianti per la valutazione del consumo di energia primaria, che tenga conto di tutti i consumi energetici cumulati.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] UNI/TS 11300-1:2008 Prestazioni energetiche degli edifici – Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
- [2] Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192 "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia"
- [3] Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n.311 "Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia"
- [4] Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009 , n. 59 "Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia".
- [5] Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412 (G. U. n.96 del 14/10/1993) "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia", in attuazione dell'art. 4, comma 4 della Legge 9 Gennaio 1991, N.10.
- [6] UNI/TS 11300-2:2008 Prestazioni energetiche degli edifici – Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria
- [7] TRNSYS Manual, A Transient Simulation Program – Solar Energy Laboratory University of Winsconsin-Madison, March 2000.
- [8] DAYSIM, Dynamic Daylight Simulations, National Research Council Canada.
- [9] ENERGY PLUS Energy Simulation Software, U.S. Department of Energy.