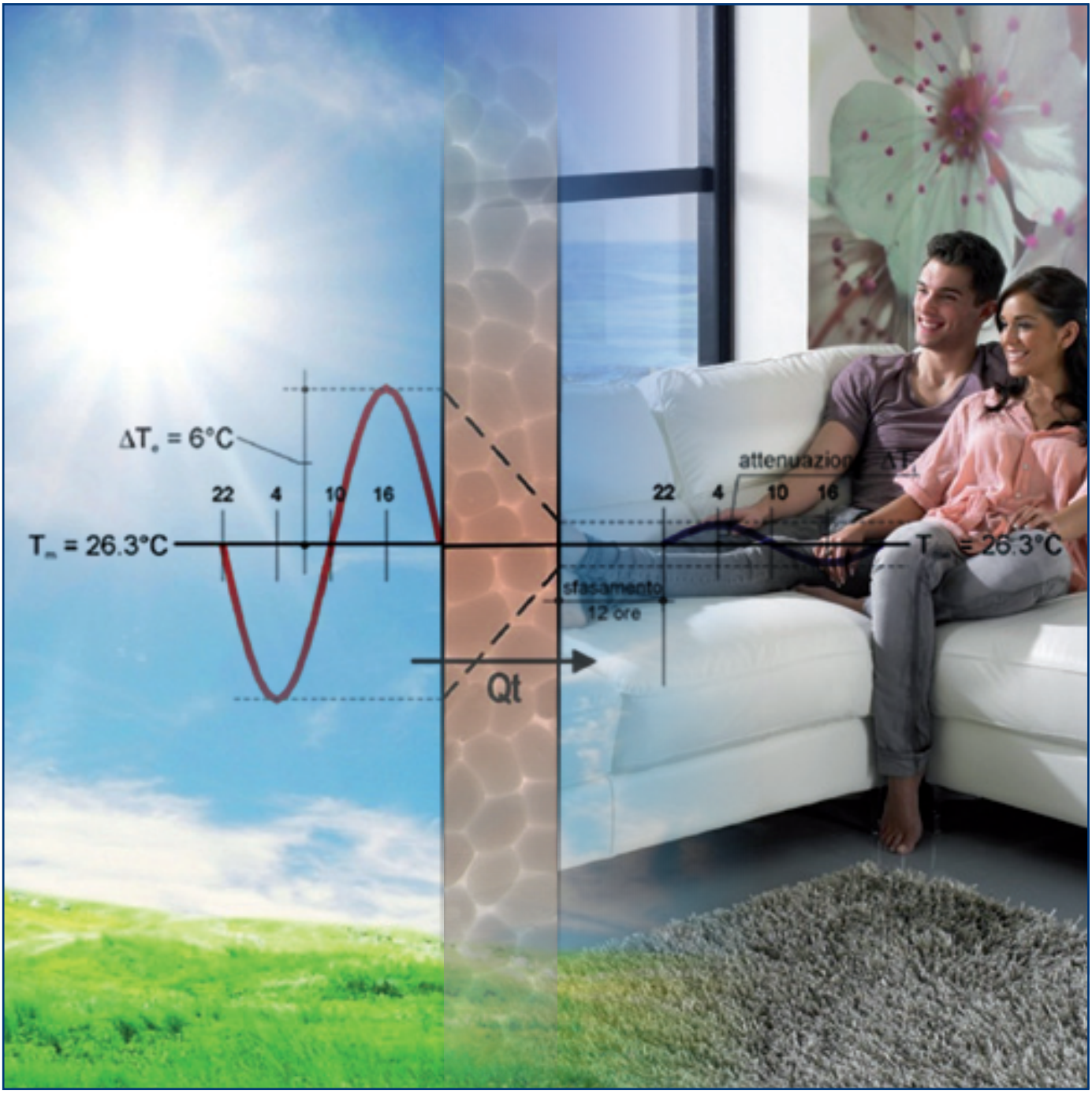
L'EPS E IL COMFORT ESTIVO

Polistirene Espanso Sinterizzato in Edilizia



VOLUME 13

AIPE
Associazione Italiana Polistirene Espanso

L'EPS
E IL COMFORT ESTIVO

VOLUME 13

Quest'opera è protetta dalla legge sul diritto d'autore. Tutti i diritti, in particolare quelli relativi alla traduzione, alla ristampa, all'uso di figure e tabelle, alla citazione orale, alla trasmissione radiofonica o televisiva, alla riproduzione su microfilm o in database, alla diversa riproduzione in qualsiasi altra forma (stampa o elettronica) rimangono riservati anche nel caso di utilizzo parziale. Una riproduzione di quest'opera, oppure di parte di questa, è anche nel caso specifico solo ammessa nei limiti stabiliti dalla legge sul diritto d'autore, ed è soggetta all'autorizzazione scritta dell'Editore. La violazione delle norme comporta le sanzioni previste dalla legge.

L'utilizzo di denominazioni generiche, nomi commerciali, marchi registrati, ecc, in quest'opera, anche in assenza di particolare indicazione, non consente di considerare tali denominazioni o marchi liberamente utilizzabili da chiunque ai sensi della legge sul marchio.

Editing editoriale a cura di Ing. Marco Piana
Progetto grafico e stampa Jona srl, Paderno Dugnano (MI)

SOMMARIO

Capitolo 1
IL PROBLEMA ESTIVO 1

Capitolo 2
INQUADRAMENTO LEGISLATIVO 5

Capitolo 3
LE PRESCRIZIONI DI LEGGE PER IL PERIODO ESTIVO 13

Capitolo 4
CARATTERISTICHE INERZIALI 17

Capitolo 5
REGIME STAZIONARIO E REGIME DINAMICO:
LA TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA 19

Capitolo 6
L'ISOLAMENTO TERMICO E LA MASSA 31

Capitolo 7
LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO: LE UNI/TS 11300 41

Capitolo 8
LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA PER L'ESTIVO 53

Capitolo 9
SOLUZIONI CON L'EPS E PROGRAMMI
DI CALCOLO AIPE 55

Capitolo 10
L'INFLUENZA DEL COLORE DELLE PARETI
SUL COMPORTAMENTO ESTIVO DEGLI EDIFICI 67

Capitolo 11
SISTEMI SCHERMANTI.
IL RUOLO DELLE SCHERMATURE SOLARI 71

Capitolo 12
SISTEMI DI OSCURAMENTO ESTERNI - SIMULAZIONE 75

Capitolo 13
IL COMFORT TERMICO 83

Appendice A
RADIAZIONE SOLARE E IRRADIANZA MASSIMA 95

IL PROBLEMA ESTIVO

1 capitolo

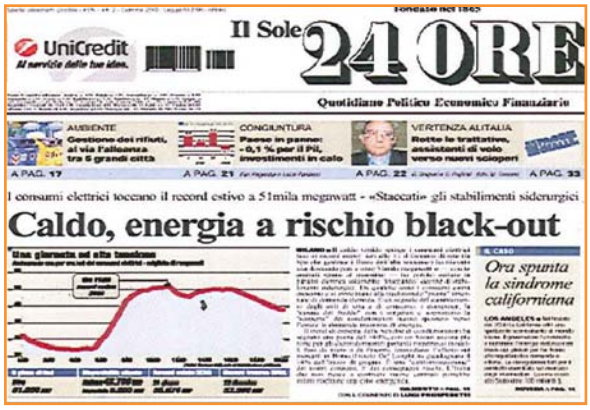
Negli ultimi anni, caratterizzati da estati sempre più calde, la climatizzazione estiva degli edifici ha influito sensibilmente sui consumi energetici del nostro Paese e ha conseguentemente determinato una crescita dei consumi di elettricità.

Di fatto, l'ampia diffusione dei sistemi di climatizzazione estiva per il raffrescamento degli ambienti, oltre ad altri fattori quali la ridotta capacità produttiva nazionale e i problemi di interconnessione con l'estero, hanno reso il sistema italiano sempre più vulnerabile e predisposto a potenziali blackout.

Anche per quanto riguarda i picchi di fabbisogno giornaliero di energia elettrica è in atto un'insolita tendenza da qualche anno, ovvero il graduale avvicinamento e superamento della punta estiva rispetto a quella invernale di tale fabbisogno. Se nel 2001 il divario inverno-estate era di 3000 MW a favore del periodo invernale, dal 2003 la punta estiva si è attestata su valori prossimi a quella invernale, fino al sorpasso avvenuto nel 2006. In termini percentuali, dal 2001 al 2006 il fabbisogno massimo invernale è aumentato del 4,6%, quello estivo del 14,4%.

Diviene pertanto interessante, e ancor più doveroso, prestare la dovuta attenzione al comportamento dell'edificio in regime estivo, sia in termini di involucro edilizio, sia in termini di impianto a cui compete il raffrescamento, in modo da definire un comportamento ottimale.

Numerosi studi hanno dimostrato come in Italia, con riferimento ad un edificio "mal progettato" o "molto vetrato", il rapporto tra consumi estivi ed invernali risulta 6:1 a Palermo, 3:1 ad Ancona, 1:1 a Cuneo. Si consuma, dunque, di più per il condizionamento estivo che per il riscaldamento invernale. Con un buon progetto dell'involucro edilizio, il rapporto tra consumi estivi e invernali diminuisce a 3:1 a


UniCredit
Il Sole 24 ORE
Quotidiano Politico Economico Finanziario
AMBIENTE
Gestione dei rifiuti, al via l'alleanza tra 5 grandi città
A PAG. 17
CONGIUNTURA
Paese in panne: -0,1 % per il Pil, investimenti in calo
A PAG. 21
VERTENZA ALITALIA
Rotte le trattative, assistenti di volo verso nuovi scioperi
A PAG. 22
A PAG. 33
I consumi elettrici toccano il record estivo a 51mila megawatt - «Staccati» gli stabilimenti siderurgici
Caldo, energia a rischio black-out
IL CASO
Ora spunta la sindrome californiana

Palermo e 1,5:1 ad Ancona, mentre rimane 1:1 a Cuneo. Emerge dunque l'importanza di una corretta progettazione del raffrescamento estivo e la priorità del problema dei consumi estivi in Italia.

Se il problema del risparmio energetico sui consumi di riscaldamento (comune a tutti i Paesi europei) è stato ampiamente affrontato dalle normative a livello comunitario e nazionale, la questione del risparmio energetico in fase estiva e il conseguente comfort abitativo, di prioritaria importanza nei nostri climi, è stata presa in considerazione solo negli ultimi anni.

Nei climi temperati, ad elevata escursione termica diurna/notturna, non basta ragionare solo in termini di consumi invernali. È necessario pensare ad una casa confortevole tutto l'anno e a basso consumo (estivo e invernale), che ottimizza il comfort interno adeguandosi il più possibile al clima specifico, senza un eccessivo ricorso agli impianti per la climatizzazione degli ambienti.

La grande diffusione degli impianti di condizionamento ha permesso il raggiungimento di richieste sempre maggiori di comfort in fase estiva, pur con grande dispendio energetico (fino al raggiungimento di picchi che hanno causato dei black-out). Ciò ha generato l'aumento dei livelli attesi di comfort estivo, fino all'individuazione di modelli di verifica definiti "adattivi" diversi in base alla presenza o meno dell'impianto di climatizzazione. In tali modelli, infatti, i livelli di comfort sono distinti nel caso in cui l'edificio si trovi in Paesi in via di sviluppo, in cui vi è un uso poco diffuso degli impianti di condizionamento, oppure in Paesi sviluppati, cioè dove gli impianti di condizionamento sono presenti diffusamente.

La problematica energetica relativa al periodo estivo richiede attualmente particolare attenzione in sede di progettazione dell'edificio e dei suoi sistemi impiantistici, per fronteggiare da un lato l'alterazione climatica che caratterizza oramai il nostro clima a tutte le latitudini, con un aumento delle temperature ed estensione dei periodi caldi, dall'altro gli elevati consumi energetici connessi alle più diffuse modalità di climatizzazione estiva degli edifici, basate sull'uso di condizionatori d'aria e climatizzatori non sempre caratterizzati da un' elevata efficienza energetica.

Tali problematiche richiedono oramai una presa di coscienza ed una specifica risposta anche di livello legislativo e normativo: la tradizionale concezione della problematica energetica, da sempre in Italia correlata ai consumi energetici relativi al riscaldamento invernale, dalla vecchia legge 373 del 1976 alla legge 10 del 1991, appare oramai del tutto superata, anche in considerazione del fatto che i dati inerenti i consumi energetici indicano che nel periodo estivo vi sono "punte" di consumo energetico superiori, soprattutto per quel che riguarda l'utilizzazione di energia elettrica.

La risposta legislativa e normativa a tali problematiche è arrivata con il D.Lgs n. 192 del 19 agosto 2005, che introduce l'obbligatorietà di considerare la problematica energetica estiva nella progettazione e nella realizzazione degli edifici, ed operare conseguentemente a livello progettuale e realizzativo ricorrendo a specifici sistemi di schermatura esterni, verificando la massa superficiale delle pareti (che se adeguata-

mente dimensionata può fornire un valido contributo alla riduzione ed al controllo delle temperature interne), predisponendo alternativamente anche tecniche e materiali innovativi che permetteranno di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare.

Le prescrizioni del D.Lgs n. 192/2005 hanno trovato, con il DPR del 2 Aprile 2009 n. 59, importanti indicazioni tecnico-attuative, tra cui l'introduzione di alcuni parametri termici dinamici.

Fondamentale appare l'introduzione di un indice di prestazione energetica specificatamente preposto alla valutazione del comportamento energetico dell'edificio nel periodo estivo, analogamente a quanto già in vigore per quanto riguarda l'aspetto della climatizzazione invernale. Il cosiddetto "EPi" (indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale) trova così il suo corrispettivo in fase estiva nell' "EPe" (indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva).

INQUADRAMENTO LEGISLATIVO

2 capitolo

"Negli ultimi anni si osserva una crescente proliferazione degli impianti di condizionamento dell'aria nei paesi europei.

Ciò pone gravi problemi di carico massimo, che comportano un aumento del costo dell'energia elettrica e uno squilibrio del bilancio energetico. Dovrebbe essere accordata priorità alle strategie che contribuiscono a migliorare la prestazione termica degli edifici durante il periodo estivo.

A tal fine, occorrerebbe concentrarsi sulle misure che evitano il surriscaldamento, come l'ombreggiamento e una sufficiente capacità termica dell'opera edilizia, nonché sull'ulteriore sviluppo e applicazione delle tecniche di rinfrescamento passivo, soprattutto quelle che contribuiscono a migliorare le condizioni climatiche interne e il microclima intorno agli edifici."

È questo il considerandum 25 che si legge nell'introduzione della Direttiva 2010/31/CE, la più recente disposizione comunitaria sulle prestazioni energetiche degli edifici, che aggiorna la direttiva 2002/91/CE (direttiva EPBD) e che focalizza maggiormente l'attenzione sul fabbisogno energetico durante il periodo estivo, ribadendo la centralità del problema estivo.

Legge 30 aprile 1976, n. 373

Il primo provvedimento di risparmio energetico in Italia, la legge 373/76, ed i suoi strumenti applicativi, il DPR 38 Giugno 1977 n. 1052 ed il DM 10 marzo 1977, fissavano limiti alla potenza degli impianti di riscaldamento, senza fornire indicazioni sul metodo di calcolo da utilizzare per la verifica.

I tecnici del settore hanno tuttavia spontaneamente ed ordinatamente utilizzato la norma italiana UNI 7357.

La legge 373/76 ha di fatto prescritto l'isolamento termico degli edifici, dimenticando però, praticamente, l'efficienza degli impianti. Va inoltre osservato che il limite alla potenza non costituiva affatto un limite reale, in quanto la norma UNI 7357, finalizzata al calcolo del carico termico per il dimensionamento, forniva dati molto cautelativi (si riferiva a condizioni climatiche limite, non teneva conto degli apporti, aggiungeva un 20% alle dispersioni delle strutture a nord, invece di toglierlo a quelle esposte a sud, non teneva conto dell'inerzia delle strutture, ecc.).

Non solo per queste ragioni, la legge è risultata assai poco efficace, ma ha avuto il merito di destare un certo interesse intorno all'argomento del risparmio energetico.

Legge 9 Gennaio 1991, n. 10

La legge n. 10 del 9 Gennaio 1991 tratta, in modo esteso ed esauriente, le problematiche del piano energetico nazionale, con particolare attenzione al risparmio energetico ed allo sviluppo delle fonti rinnovabili di energia. Lo scopo di questa legge era quello di migliorare i processi di trasformazione dell'energia, di ridurre i consumi ed incrementare le condizioni di compatibilità ambientale, oltre che prevedere la certificazione energetica del patrimonio edilizio.

La legge promuoveva il contenimento dei consumi di energia nella produzione e nell'utilizzo, oltre che l'utilizzazione delle fonti rinnovabili. Vengono quindi definite le fonti rinnovabili o assimilate: il sole, il vento, l'energia idraulica, le risorse geotermiche, le maree il moto ondoso e la trasformazione dei rifiuti organici ed inorganici o di prodotti vegetali.

Sono inoltre considerate fonti di energia assimilate alle fonti rinnovabili di energia: la cogenerazione, intesa come produzione combinata di energia elettrica o meccanica e di calore, il calore recuperabile nei fumi di scarico e da impianti termici, da impianti elettrici e da processi industriali, nonché le altre forme di energia recuperabile in processi, in impianti e in prodotti ivi compresi i risparmi di energia conseguibili nella climatizzazione e nell'illuminazione degli edifici con interventi sull'involucro edilizio e sugli impianti.

Per incrementare la realizzazione di iniziative volte a ridurre il consumo specifico di energia, il miglioramento dell'efficienza energetica, l'utilizzo delle fonti della stessa nella climatizzazione e nell'illuminazione degli ambienti, anche adibiti ad uso industriale, artigianale, commerciale, turistico, sportivo ed agricolo, potevano essere concessi contributi in conto capitale nella misura minima del 20% e nella mi-

sura massima del 40% della spesa di investimento ammissibile. Questi contributi erano a sostegno dell'utilizzo delle fonti rinnovabili di energia edilizia.

Esistevano, inoltre, dei contributi per il contenimento dei consumi energetici nel settore industriale, artigianale e terziario.

Questa legge è fondamentale, in quanto inizia così un ciclo importante e duraturo nel tempo, in costante ascesa e di importante dibattito nel nostro Paese (e non solo), per il miglioramento, il rinnovo e il risparmio energetico.

La legge 10/1991 contiene quindi le "Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia": la norma è da considerare sicuramente come un'ottima legge che avrebbe potuto porre l'Italia all'avanguardia in Europa per quanto riguarda il contenimento dei consumi energetici in quanto, come già sottolineato, introduceva già la certificazione energetica di edifici ed i piani energetici comunali, oltre all'obbligo di fonti rinnovabili degli edifici pubblici.

Nonostante i diversi decreti attuativi previsti e attesi, fu pubblicato soltanto, due anni dopo,

il decreto 412 che conteneva le "Norme per la progettazione, l'istallazione, l'esercizio degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia".

Per tal motivo, pur essendo una norma invidiata a livello comunitario, è stata purtroppo disattesa a seguito della mancata emanazione dei decreti attuativi, lasciando, per esempio, nel cassetto la certificazione energetica.

DPR 26 Agosto 1993, n. 412

Il DPR 26 Agosto 1993, n. 412 è un 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 della legge 9 Gennaio 1991, n. 10.

Questo decreto crea una divisione del territorio nazionale in zone climatiche e in gradi giorno (GG). Per il conteggio dei gradi giorno calcolata per ogni giorno di riscaldamento la differenza tra la temperatura interna desiderata di progetto (fissata di 20°C) e la temperatura esterna misurata. I gradi giorno annuali sono la somma delle differenze relative a tutti i gradi giorno di una stagione di riscaldamento.

I GG consentono, quindi, di dare delle indicazioni sull'energia termica richiesta per il riscaldamento in relazione al clima e alla localizzazione dell'edificio.

I GG, quindi, non sono specifici dell'edificio, ma della località all'interno della quale lo stesso si colloca. Tanto più è alto il valore di GG, tanto più è rigido il clima e tanto maggiore sarà la quantità di energia necessaria per il riscaldamento dell'edificio .

Il territorio nazionale è diviso nelle seguenti sei zone climatiche:

- zona A: comuni che presentano un numero di GG non superiori a 600;
- zona B: comuni che presentano un numero di GG maggiore di 600 e non superiore a 900;
- zona C: comuni che presentano un numero di GG maggiore di 900 e non superiore a 1400;
- zona D: comuni che presentano

un numero di GG maggiore di 1400 e non superiore a 2100;
- zona E: comuni che presentano un numero di GG maggiore di 2100 e non superiore a 3000;
- zona F: comuni che presentano un numero di GG maggiore di 3000.

Viene creata, inoltre, una classificazione generale degli edifici per categorie. Qualora un edificio sia costituito da parti individuabili come appartenenti a categorie diverse, le stesse devono essere considerate separatamente, ciascuna nella categoria che le compete.

Queste classi sono otto e nello specifico:
- E1. Edifici adibiti a residenze e assimilabili;
- E2. Edifici adibiti a uffici e assimilabili;
- E3. Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili;
- E4. Edifici adibiti ad attività ricreative, associative o di culto e assimilabili;
- E5. Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili;
- E6. Edifici adibiti ad attività sportive;
- E7. Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;
- E8. Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili [16].

D.Lgs. 19 Agosto 2005, n. 192 (e s.m.i - D.LGS. 29 Dicembre 2006 n. 311)

La carenza normativa a livello italiano fu colmata, dopo più di dieci anni, grazie all'emanazione della direttiva europea 2002/91/CE inerente il rendimento energetico nell'edilizia. A seguito di tale normativa comunitaria, gli Stati membri dovettero provvedere al recepimento emanando uno specifico decreto valido a livello nazionale, e fu così che, nell'agosto del 2005, fu emanato il decreto legislativo n. 192.

Il D.Lgs n. 192 quindi "stabilisce i criteri, le condizione, e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica, contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazioni delle emissioni di gas a effetto serra posti dal protocollo di Kyoto, promuovere la competitività dei comparti più avanzati attraverso lo sviluppo tecnologico.

Il decreto disciplina in particolare:
- la metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici;
- l'applicazione dei requisiti minimi in materie di prestazioni energetiche;
- i criteri generali per la certificazione energetica degli edifici;
- le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione;
- i criteri per garantire la qualificazione e l'indipendenza degli esperti incaricati della certificazione energetica e delle ispezioni degli impianti;
- la raccolta delle informazioni e delle esperienze, delle elaborazioni e degli studi necessari all'orientamento della politica energetica del settore;
- la promozione dell'uso razionale dell'energia anche attraverso l'informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali, la for-

mazione e l'aggiornamento degli operatori del settore.

Il decreto n. 192 è finalizzato, quindi, al contenimento dei consumi energetici, alla progettazione e realizzazione di edifici di nuova costruzione ed a impianti in essi istallati, oltre che a nuovi impianti installati in edifici esistenti; inoltre è finalizzato alla certificazione energetica degli edifici.

Fino all'applicazione dei suoi decreti attuativi, il calcolo della prestazione energetica degli edifici nella climatizzazione invernale e, in particolare, del fabbisogno annuo di energia primaria (FEP), è stato disciplinato dalla legge 9 gennaio 1991, n.10, come modificata dal D.Lgs 192/2005 e dalle norme attuative.

La legge n. 192 è stata modificata ed integrata dal decreto legislativo 29 dicembre 2006, n. 311.

D.Lgs. 30 Maggio 2008, n. 115

Il 30 Maggio 2008 è stato pubblicato il D.Lgs n. 115 relativo a "Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE". Questo decreto introduce alcune interessanti novità per la sicurezza dell'approvvigionamento energetico e la tutela dell'ambiente, già introdotte con la direttiva 2006/32/CE.

Per quanto riguarda l'efficienza energetica nell'edilizia, introduce una serie di misure aventi lo scopo di migliorare l'efficienza energetica degli edifici. In particolare si introducono semplificazioni di carattere urbanistico per lo scomputo dei volumi e deroghe per le distanze dei fabbricati e le altezze.

Il decreto 115 introduce all'art. 18 i criteri generali di prestazione energetica per l'edilizia pubblica e privata nonché i requisiti professionali dei tecnici e degli organismi abilitati alla certificazione energetica. L'allegato III dello stesso decreto individua le metodologie di calcolo ed i requisiti per l'esecuzione delle diagnosi energetiche e la certificazione energetica degli edifici.

DPR 2 Aprile 2009, n. 59

Il DPR n. 59 del 3 aprile 2009, che costituisce il decreto di attuazione dell'articolo 4 del Decreto legislativo n. 192/2005, fornisce importanti precisazioni tecnico-attuative in merito alle prescrizioni del citato D.Lgs n. 192 e relative alle problematiche di efficienza energetica dell'edificio nel periodo estivo.

Tra le novità introdotte ai fini della valutazione dell'efficienza energetica degli edifici nel periodo estivo, particolare attenzione merita il parametro "YIE" (W/m2K) che esprime la cosiddetta "trasmittanza termica periodica", che rappresenta il parametro di valutazione della "capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore".

Tecnicamente la YIE esprime il prodotto tra il cosiddetto fattore di attenuazione "fd" (parametro adimensionale che esprime il rapporto tra l'ampiezza del flusso termico in uscita e quello in entrata in una specifica parete dell'edificio) ed il valore della trasmittanza termica in regime stazionario "U" (espressa in W/m2K). Pertanto il valore della

trasmittanza termica periodica assume la stessa unità di misura della trasmittanza termica stazionaria, e rappresenta sostanzialmente sia il grado di smorzamento che il grado di sfasamento dell'onda termica (tempo che impiega il flusso termico a passare dalla superficie esterna della parete a quella interna da cui viene irraggiato verso lo spazio abitato).

Per quanto riguarda le metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici l'art. 3 del DPR definisce che si debbano adottare le norme tecniche nazionale, definite nel contesto delle norme EN a supporto della direttiva 2002/91/CE, della serie UNI/TS 11300 e loro successive modificazioni, che riguardano:

1. fabbisogno di energia termica utile per la climatizzazione invernale ed estiva;
2. fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale e per la preparazione di acqua calda sanitaria;
3. fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva;
4. utilizzo di energia rinnovabile

L'art. 4 definisce poi i criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici ed impianti, riprendendo il transitorio dell'Allegato I del D.Lgs. 192/2005 con alcune novità.

In generale bisogna rispettare i seguenti requisiti minimi:

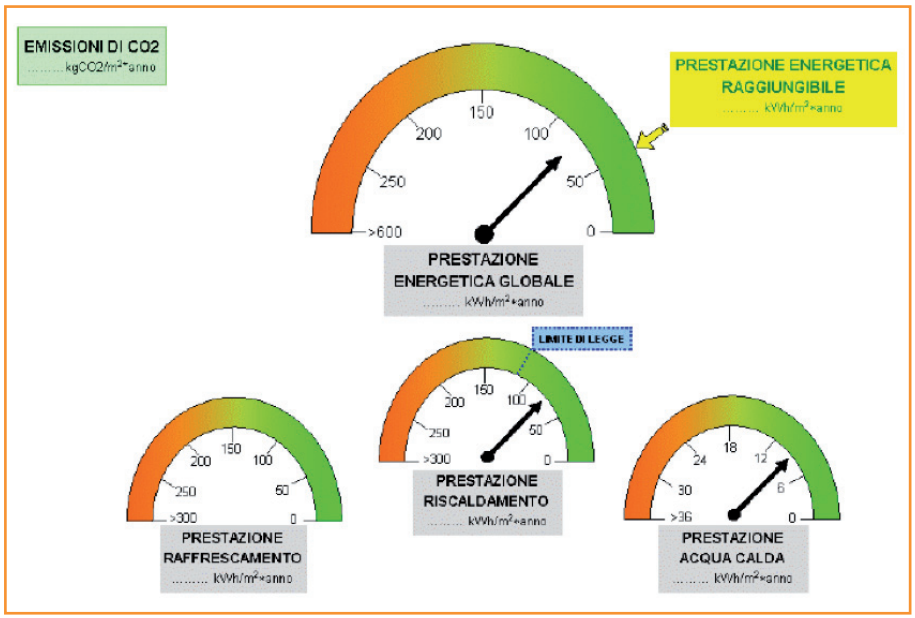
- il valore dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale EPi deve essere minore ai valori riportati nel D.Lgs 192/2005;
- il valore dell'indice Epe, invol, prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio, dato dal rapporto tra il fabbisogno annuo di energia termica per il raffrescamento dell'edificio quale risultato della procedura di calcolo della UNI/TS 11300 parte 1, e la superficie utile, per gli edifici residenziali, o il volume per gli edifici con altre destinazione d'uso, deve essere inferiore a quanto previsto dallo stesso art. 4.

Per la prima volta nella legislazione italiana si introduce un limite relativo al comportamento energetico durante il regime estivo.

Linee guida nazionali sulla certificazione energetica

Il 25 luglio 2009 è entrato in vigore il Decreto 26 giugno 2009, contenente le linee guida nazionali sulla certificazione energetica degli edifici che rappresenta uno degli attesi decreti di attuazione del D.Lgs 192/05 sul rendimento energetico in edilizia. È stato pubblicato nello stesso periodo del DPR 59/2009 che fissa i requisiti energetici minimi per i nuovi edifici e per le ristrutturazioni di quelli esistenti, mentre prossimamente dovrebbe uscire il DPR che fissa i requisiti professionali ed i criteri di accreditamento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti e degli organismi a cui affidare la certificazione energetica degli edifici e l'ispezione degli impianti di climatizzazione. Quest'ultimo andrà a completare il quadro relativo all'aspetto normativo sulla certificazione energetica degli edifici.

Le Linee guida, oltre a definire gli strumenti che rendono uniforme e confrontabile la qualità energetica degli immobili, definisce gli strumenti di raccordo, concertazione e



cooperazione tra lo Stato e le Regioni, alcune delle quali hanno già definito proprie procedure di certificazione che, però, si dovranno integrare alla normativa nazionale, pur nel rispetto delle peculiarità di ciascuna Regione. Pertanto, le disposizioni contenute nelle Linee guida si applicano alle Regioni e Province autonome che non abbiano ancora provveduto ad adottare dei propri strumenti di certificazione energetica degli edifici e perderanno la loro efficacia nel momento in cui entreranno in vigore gli strumenti attuativi regionali di certificazione energetica. Tutte le regioni e le Province autonome che hanno già provveduto al recepimento della direttiva 2002/91/CE, devono comunque assicurare un graduale avvicinamento dei propri strumenti di certificazione alle Linee guida nazionali.

Tra i principali contenuti che le Linee guida definiscono, si segnalano:

- <u>prestazione energetica degli edifici:</u>
  ai fini della certificazione energetica, nella fase di avvio, la determinazione dell'indice di prestazione considera solamente la climatizzazione invernale e la preparazione dell'acqua calda sanitaria. Per la climatizzazione estiva si fa riferimento ad una valutazione qualitativa dell'involucro. Con successivi provvedimenti la certificazione verrà estesa alla determinazione dell'indice di prestazione energetica per l'illuminazione degli ambienti;
- <u>metodologia di classificazione degli edifici:</u>
  le Linee guida considerano due differenti metodologie:
  a) metodo calcolato di progetto, di riferimento per gli edifici di nuova costruzione e quelli completamente ristrutturati;
  b) metodo di calcolo da rilievo o standard, di riferimento per gli edifici esistenti;
- <u>metodi di calcolo:</u>
  per il metodo di calcolo della prestazione energetica degli edifici vengono stabiliti specifici riferimenti tecnici:

a) norme UNI TS 11300, parte 1 e 2, per il metodo calcolato di progetto;
b) le norme UNI TS 11300, il programma DOCET di ENEA/CNR ed il metodo semplificato riportato all'Allegato 2 al decreto, per il metodo di calcolo da rilievo o standard
c) per la parte estiva, la valutazione qualitativa può essere effettuata valutando il fabbisogno di energia termica mediante la UNI TS 11300, ovvero considerando caratteristiche specifiche dell'involucro legate a fattori di attenuazione e dallo sfasamento del flusso termico;

- <u>rappresentazione grafica delle prestazioni e modello di attestato energetico:</u>
  L'attestato di certificazione energetica deve contenere l'informazione sintetica in termini di classe energetica globale definita secondo le modalità riportate nell'Allegato 4 per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.
  Per l'acqua calda sanitaria invece la classe limite di riferimento è definita sulla base dei valori delle tecniche nazionali. Le classi migliori (A, B e C) sono legate ad una riduzione di fabbisogno di energia dovuta all'uso di fonti rinnovabili.
  La rappresentazione grafica globale delle prestazioni energetiche (tachimetro) e della classificazione energetica è identificata come sommatoria delle prestazioni parziali relative alla climatizzazione invernale ed alla produzione di acqua calda sanitaria;
- <u>classificazione energetica per i singoli appartamenti:</u>
  le Linee guida stabiliscono che per gli edifici residenziali la certificazione energetica riguarda il singolo appartamento, indipendentemente dal tipo di impianto centralizzato o individuale, con casi specifici in funzione della tipologia di impianto termico e della presenza o meno della regolazione e contabilizzazione del calore.

LE PRESCRIZIONI DI LEGGE PER IL PERIODO ESTIVO

capitolo 3

Nel periodo estivo...

...è sempre più richiesta una quantità di energia tale da mantenere la temperatura di COMFORT negli ambienti abitati.

Il surriscaldamento estivo è un problema che si sta aggravando negli ultimi anni.

Il collasso della rete elettrica nazionale nell'agosto 2003 fu principalmente causato dall'aumento del consumo per il raffrescamento estivo.

La crescita del consumo di energia ha più motivi: l'aumento della parte vetrata, la diminuzione della massa nelle nuove costruzioni, il maggior utilizzo di sottotetti come abitazioni, la richiesta di un comfort interno più alto e il clima più caldo degli ultimi anni.

L'importanza del comfort interno estivo è ovvio e può essere risolto in due modi differenti:

- soluzione attiva: l'impianto di raffrescamento con il consumo d'energia altissimo e i costi elevati
- soluzione passiva: progettazione e costruzione dell'edificio nel modo adatto ai clima caldi.

Interventi per evitare il surriscaldamento estivo degli ambienti (DLgs. 192/05 - D.P.R. 59/09)

Il DPR 59/09 è il primo dei decreti attuativi previsti dal DLgs 192/05 di recepimento della direttiva europea 2002/91/CE afferente l'efficienza energetica degli edifici.

Il decreto introduce un nuovo quadro di disposizioni obbligatorie a partire dal 25 Giugno 2009 in sostituzione alle indicazioni "transitorie" dell'Allegato I del DLgs 192/05 e tra queste alcune specificatamente riferite alla "problematica estiva".

Il legislatore italiano, al fine di:

- limitare il fabbisogno per la climatizzazione estiva e
- contenere la temperatura interna degli ambienti

propone delle regole adottando un approccio prescrittivo che focalizza l'attenzione su:

- controllo della ventilazione (ottimizzazione ventilazione naturale - eventuale ventilazione meccanica)
- controllo dell'irraggiamento (sistemi schermanti delle superfici vetrate - esterni o interni, sistemi filtranti)
- **controllo delle caratteristiche inerziali delle strutture opache** (massa sup, YIE, ϑ ,fa)
- controllo del bilancio energetico estivo (EPe,inv)

Gli interventi per evitare il surriscaldamento estivo degli ambienti si riconducono quindi a questi aspetti.

Prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio: Epe,invol

Verifica in base all'Art. 4 del DPR 59/09, Comma 3

Il DPR 59/09 ha introdotto la verifica del comportamento complessivo dell'involucro di un edificio in condizioni estive tramite il parametro Epe, invol.

Verificare l'indice di prestazione energetica estiva Epe,invol ≤ Epe, invol limite dove Epe,invol rappresenta la prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio pari al rapporto tra il fabbisogno annuo di energia termica per il raffrescamento dell'edificio, calcolata tenendo conto della temperatura di progetto estiva secondo la Norma UNI/TS 11300-1, e:

- la superficie utile dell'edificio per gli edifici residenziali
- il volume per gli edifici con altre destinazioni d'uso.

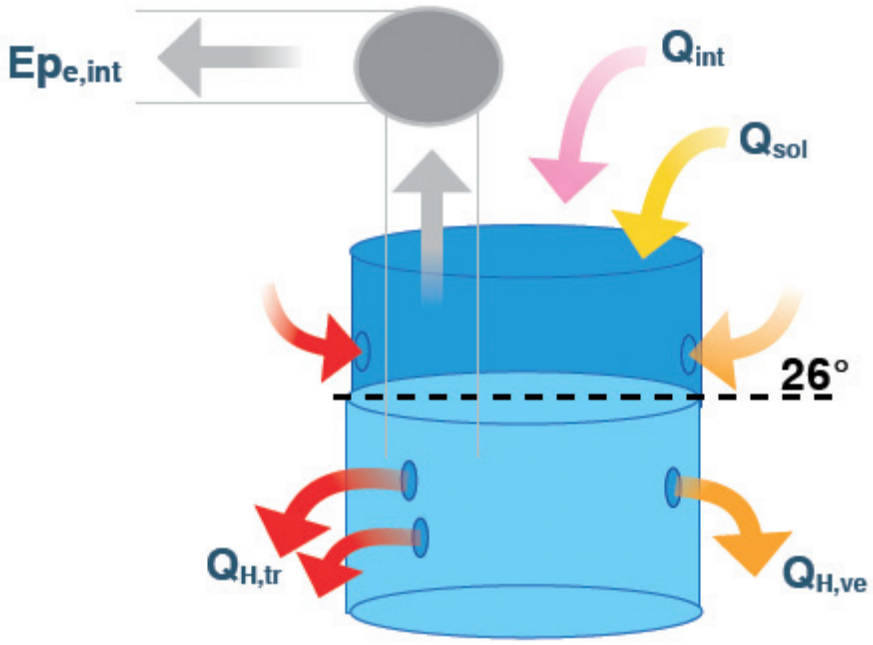
A questo proposito sono stati indicati, in funzione della zona climatica invernale, valori limite massimi per il fabbisogno annuo specifico di energia termica per il raffrescamento dell'edificio (del solo involucro) Epe,invol calcolato secondo la norma UNI/TS 11300 - 1: le componenti impiantistiche, contrariamente alle analoghe verifiche in fase invernale, non vengono considerate nelle valutazioni.

Il calcolo del parametro Epe,invol tiene conto degli apporti solari sulle superficie trasparenti e opache, della temperatura dell'aria esterna, delle sorgenti interne, della ventilazione e delle caratteristiche termiche delle strutture.

Q_{int}: Carichi termici interni
Q_{sol}: Carichi termici solari
$Q_{H,tr}$: Dispersioni per trasmissione
$Q_{H,ve}$: Dispersioni per ventilazione

- Fabbisogno energia termica per il raffrescamento: calcolato secondo UNI/TS 11300-1 ed è la quantità di calore da sottrarre per mantenere l'ambiente climatizzato alla temperatura di progetto (il parametro non riguarda l'intero sistema edifico-impianto)
- Temperatura interna di regolazione (set point) per la stagione di raffrescamento: temperatura di progetto estiva 26°C per tutti gli edifici ad esclusione di piscine e saune (28°C) e palestre (24°C)
- Periodo di raffrescamento: la stagione non è definita a priori come nel caso invernale

BILANCIO ENERGETICO IN CONDIZIONI ESTIVE DI UN EDIFICIO IN REGIME SEMI-STAZIONARIO



	EPe,invol	EPe,invol
	Edifici classe E1 Esclusi collegi, conventi, caserme	***Per tutti gli altri edifici***
Zona climatica A, B	40 KWh/m^2	14 KWh/m^3
Zona climatica C, D, E, F	30 KWh/m^2	10 KWh/m^3

I limiti imposti per il parametro Epe,invol sono indipendenti dalle caratteristiche morfologiche dei fabbricati (il grado di compattezza dell'edificio rappresentato dal rapporto S/V) e sono assegnati solo in funzione della zona climatica e della destinazione d'uso degli edifici.

È opportuno osservare come la norma tecnica di riferimento per le valutazioni della prestazione dell'involucro per la climatizzazione estiva sia basata su una metodologia di calcolo in regime semistazionario.

Tale metodologia non è in grado di valutare direttamente le caratteristiche dinamiche dei componenti opachi dell'involucro (trasmittanza termica periodica Yie [W/m²K]) e il relativo contributo che sono in grado di offrire al comportamento energetico dell'edificio, ma considera solo gli effetti di isolamento termico rappresentati dalla trasmittanza termica U [W/m²K]. Le componenti impiantistiche, contrariamente alle analoghe verifiche in fase invernale, non vengono considerate nelle valutazioni.

CARATTERISTICHE INERZIALI

capitolo 4

Il controllo del comportamento dell'involucro opaco ai fini del contenimento del surriscaldamento estivo nei nostri climi è da attuarsi con la progettazione di adeguate caratteristiche inerziali.

La problematica dei mesi caldi è proprio cercare di limitare, grazie all'involucro, le forti variazioni di temperatura interna degli ambienti per effetto dell'irraggiamento solare diurno e dell'attenuazione notturna. Comfort estivo sicuramente vuol dire non avere temperature eccessive nei locali abitati ma altrettanto importante è non fare subire sbalzi termici eccessivi al nostro corpo e alle nostre abitazioni (materiali e soluzioni tecnologiche sono soggetti a variazioni tali da modificare le proprie prestazioni).

Il DLgs 192/2005 per la prima volta introduce in Italia questo problema, limitandosi però a dare delle indicazioni troppo vaghe basate solo sul concetto di "pesantezza" di una struttura.

Solo con il DPR 59/09 si considerano requisiti specifici proponendo un approccio che supera il solo discorso delle masse superficiali prescrivendo limiti sulla trasmittanza termica periodica Yie.

Anche le regioni che hanno legiferato autonomamente nel rispetto della possibilità di recepire la direttiva 91/02/CE hanno come riferimenti la Yie e parametri da essa dipendenti (sfasamento e attenuazione).

La legislazione attuale

Il DPR 59/09 art. 2 definisce:

Trasmittanza termica periodica YIE (W/m²K), è il parametro che valuta la capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore, definita e determinata secondo la norma UNI EN ISO 13786:2008 e successivi aggiornamenti.

DPR 59/09 art. 4 comma 18 prescrive:

[…] il progettista, al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti, nel caso di edifici di nuova costruzione e nel caso di ristrutturazioni totali di edifici esistenti:

[…] b) esegue, in tutte le zone climatiche ad esclusione della F, per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva, Im,s, sia maggiore o uguale a 290 W/m²:

1) relativamente a tutte le pareti verticali opache con l'eccezione di quelle comprese nel quadrante nord-ovest / nord / nord-est, almeno una delle seguenti verifiche:

- *che il valore della massa superficiale Ms, di cui al comma 22 dell'allegato A, sia superiore a 230 kg/mq;*
- *che il valore del modulo della*

trasmittanza termica periodica (YIE), di cui al comma 4, dell'articolo 2, sia inferiore a 0,12 W/mq°K;

2) relativamente a tutte le pareti opache orizzontali ed inclinate che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica YIE sia inferiore a 0,20 W/mq°K.

Gli effetti positivi che si ottengono con il rispetto dei valori di massa superficiale sopra riportati, possono essere raggiunti, in alternativa, con l'utilizzo di tecniche e materiali anche innovativi, che permettano di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare.

[…]

D.M. 26 giugno 2009 linee guida nazionali certificazione energetica

Il discorso è stato ripreso anche nel decreto 26 giugno 2009, "Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici", al paragrafo 6.2 (solo ai fini della valutazione della qualità termica estiva dell'involucro edilizio):

Congiuntamente all'applicazione delle metodologie di cui al paragrafo 5.2, punto 3, e con le limitazioni ivi previste, in alternativa alla metodologia di cui al paragrafo 6.1, si può procedere alla determinazione di indicatori quali: lo sfasamento (S), espresso in ore, ed il fattore di attenuazione (fa), coefficiente adimensionale.

Il riferimento nazionale per il calcolo dei predetti indicatori è la norma tecnica UNI EN ISO 13786, dove i predetti parametri rispondono rispettivamente alle seguenti definizioni:

- ***fattore di attenuazione o fattore di decremento** è il rapporto tra il modulo della trasmittanza termica dinamica e la trasmittanza termica in condizioni stazionarie.*
- ***sfasamento** è il ritardo temporale tra il massimo del flusso termico entrante nell'ambiente interno ed il massimo della temperatura dell'ambiente esterno.*

Sulla base dei valori assunti da tali parametri si definisce la seguente classificazione valida per tutte le destinazioni d'uso:

Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità prestazionale
S > 12	Fa < 0,15	ottime	I
12 ≥ S > 10	0,15 ≤ Fa < 0,30	buone	II
10 ≥S > 8	0,30 ≤ Fa < 0,40	medie	III
8 ≥S > 6	0,40 ≤ Fa < 0,60	sufficienti	IV
6 ≥ S	0,60 ≤ Fa	mediocri	V

Nei casi in cui le coppie di parametri caratterizzanti l'edificio non rientrano coerentemente negli intervalli fissati in tabella, per la classificazione prevale il valore dello sfasamento.

REGIME STAZIONARIO E REGIME DINAMICO: LA TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA

capitolo 5

Il DPR 59/09 introduce «nuovi» parametri che descrivono la reazione di un elemento edilizio ad una sollecitazione termica variabile nel tempo, più idonei a caratterizzare il comportamento estivo. La YIE permette di definire in maniera più completa, rispetto alla massa frontale, l'INERZIA TERMICA di un componente.

La trasmittanza termica periodica è un parametro guida ai fini del contenimento dell'onda termica entrante per effetto dell'irraggiamento solare; in alternativa alla trasmittanza è possibile verificare le strutture opache verticali rispettando il limite di massa superficiale minima di 230 kg/m²; tale limite è sensato a patto di avere strutture con quella massa isolate secondo i limiti invernali di trasmittanza.

Le logiche che accomunano la sola "massa" non isolata con il buon comportamento ai fini del surriscaldamento estivo, sono logiche superate: ad oggi è possibile progettare e realizzare strutture che siano in grado di contrastare adeguatamente l'energia entrante anche senza ricorrere a 230 kg/m², strutture che possono essere realizzate scegliendo materiali che riducono la velocità di propagazione dell'onda termica agendo sulla ridotta conduttività e di adeguate caratteristiche inerziali.

Il flusso termico per trasmissione è certamente uno dei componenti principali del carico termico complessivo di un impianto. La quantità di energia scambiata fra interno ed esterno è funzione del tipo di componente e della differenza di temperatura.

Nel caso di progettazione invernale tale flusso termico viene valutato in regime stazionario (temperatura indipendente dal tempo). Nel periodo di raffrescamento le condizioni climatiche esterne possono subire variazioni sensibili, sia in termini di temperatura che di radiazione solare, ben diverse di quelle che si possono ipotizzare d'inverno. Pertanto, il comportamento termico di un elemento opaco esposto al sole deve essere necessariamente valutato in condizioni dinamiche.

La trasmittanza termica periodica

La trasmittanza termica periodica non rappresenta una singola grandezza ma dovrebbe essere invece intesa come un framework (schema) per poter meglio valutare come un componente risponde a sollecitazioni periodiche (sinusoidali) di temperatura.

Per semplificare si potrebbe affermare che la trasmittanza termica periodica rappresenta l'"equivalente

estivo" della trasmittanza termica U utilizzata d'inverno, nel senso che viene utilizzata come parametro rappresentativo del comportamento di un elemento di involucro nel periodo estivo. Inoltre è il parametro che permette al progettista la scelta tra agire sull'isolamento o sulla massa.

Per meglio chiarire è possibile utilizzare un esempio: se su di una superficie incide un certo flusso termico dovuto alla radiazione solare, ebbene quel flusso termico farà sentire il suo effetto all'interno dell'ambiente con un certo ritardo temporale (sfasamento) e con una intensità ridotta (attenuazione).

La trasmittanza termica periodica Yie è data da:

$$Yie = f \times U \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

dove il fattore di decremento *f* è riferito ad una sollecitazione armonica con periodo di 24 ore.

Il metodo per il calcolo di tutti i dati richiesti (fattore di attenuazione, sfasamento e trasmittanza termica periodica) è disponibile nella UNI EN ISO 13786.

Il calore in ingresso dipende dunque in prima istanza dai valori di trasmittanza termica U della parete, come peraltro già avviene in condizioni stazionarie (adottate nel calcolo in condizioni invernali). Il primo intervento che può essere attuato per ridurre i carichi estivi consiste dunque nel limitare il più possibile il valore della trasmittanza termica, migliorando anche le prestazioni nella stagione fredda.

Inoltre si può intervenire sulle caratteristiche termiche in regime dinamico che compaiono nell'equazione precedente, ovvero il fattore di attenuazione fa (decrement factor) e il fattore di sfasamento dell'onda termica ϕa (time shift of the periodic thermal transmittance).

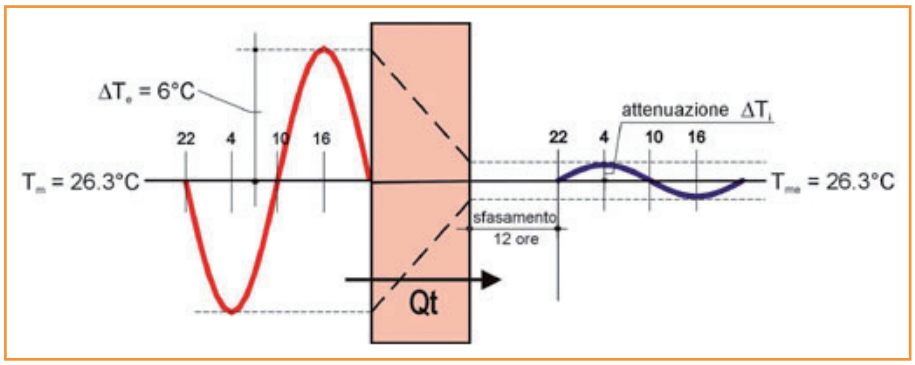
Le caratteristiche termiche in regime dinamico di un componente edilizio descrivono il comportamento termico del componente soggetto a condizioni al contorno variabili, ovvero flusso termico variabile o temperatura variabile su una o entrambe le facce con andamento sinusoidale; nella UNI EN ISO 13786 sono riportate le metodologie di calcolo di tali grandezze.

Il primo (fa) definisce il rapporto tra la trasmittanza termica periodica e la trasmittanza termica in condizioni stazionarie U; il prodotto di fa x U fornisce pertanto la trasmittanza termica dinamica (Y12), che definisce la trasmittanza delle strutture in regime variabile.

Il secondo parametro (ϕa) rappresenta il ritardo (in ore) che esiste fra l'oscillazione del flusso termico che passa attraverso la superficie interna della parete e l'oscillazione della temperatura nella superficie esterna. Un elevato sfasamento permette di ritardare i flussi termici in ingresso verso le ore serali, quando la ventilazione può contribuire al raffrescamento ovvero, in alcuni casi, quando gli edifici non sono più utilizzati (come nel caso specifico degli edifici commerciali.

I due parametri sono calcolati nella UNI EN ISO 13786 in funzione delle proprietà termofisiche di ciascuna parete opaca che costituisce l'involucro; in particolare, le grandezze che intervengono nella definizione delle caratteristiche dinamiche possono essere riassunte, per ogni strato che costituisce la parete, come segue:

- spessore;



L'effetto massa (smorzamento e sfasamento).

- conducibilità termica;
- capacità termica specifica;
- densità.

I valori delle caratteristiche termiche dinamiche sono funzione del periodo rappresentativo dell'oscillazione termica; nella valutazione del comportamento estivo di una parete, si fa riferimento alle 24 h, che tengono conto di variazioni meteorologiche e di temperatura giornaliere.

Il regime variabile estivo

Per una struttura opaca è altresì necessario considerare oltre alla capacità di isolare, descritta dal paramento invernale della trasmittanza U, anche la capacità di accumulare e rilasciare calore.

Sfasamento e inerzia termica

Lo sfasamento definisce la differenza di tempo fra l'ora in cui si registra la massima temperatura sulla superficie esterna della struttura e l'ora in cui si registra la massima temperatura sulla superficie interna della stessa.

Il valore ottimale dello sfasamento è di 12-13 ore.

È importante avere uno sfasamento di almeno 8 ore e non minore di 10 ore nelle zone geografiche con climi estivi più impegnativi.

Con tali valori di sfasamento infatti, il calore entrerà nelle ore notturne durante le quali può essere smaltito con ricambi di aria.

L'inerzia termica di una struttura consiste nella sua capacità di opporsi al passaggio del flusso di calore e di assorbirne una quota, senza rilasciarlo in maniera immediata e contribuendo al contenimento delle oscillazioni della temperatura interna.

L'inerzia termica può essere praticamente definita come l'effetto combinato dell'accumulo termico e della resistenza termica della struttura. Queste due caratteristiche dipendono dalla massa frontale della parete e dalla conduttività dei materiali che la costituiscono.

La soluzione tecnica migliore da adottare per una stratigrafia è quindi scegliere un sistema dotato contemporaneamente di sufficiente massa e bassa conduttività senza prediligere soltanto una di queste caratteristiche. In particolare all'aumentare della capacità cresce la quantità di energia immagazzinata e al diminuire della conduttività decresce anche la velocità con cui il calore viene ceduto.

Cos'è la conduttività?

La conduttività termica è definita dal rapporto tra il flusso di calore che attraversa il materiale in regime stazionario e il gradiente di temperatura che provoca il passaggio del calore; misura l'attitudine di un materiale alla trasmissione del calore.

Cos'è la capacità termica?

La capacità termica di un corpo con massa m è la quantità di calore necessaria per far variare di 1°C la sua temperatura; è data dal prodotto tra la massa [kg] ed il calore specifico unitario [kJ/kgK].

Come agisce l'inerzia termica?

L'inerzia termica è una proprietà che influenza il comportamento termico dinamico della parete, cioè la capacità di reagire a sollecitazioni di temperatura variabili nel corso del tempo, come accade principalmente durante la stagione estiva.

Considerando l'andamento giornaliero delle temperature esterne in estate, si ottiene un'onda termica sinusoidale che oscilla tra valori minimi e massimi. L'inerzia termica di una parete esterna comporta lo smorzamento dell'onda (quindi una riduzione dei picchi massimi) e il suo sfasamento (definito come il tempo che intercorre tra l'impatto dell'onda termica sulla superficie esterna della parete e il suo manifestarsi sulla faccia interna). Questi due fenomeni hanno ripercussioni pratiche sul sistema edificio-impianto, infatti:

- la riduzione dei valori di temperatura all'interno permette il dimensionamento d'impianti con potenza ridotta e quindi minore consumo;
- lo spostamento dell'onda termica nel tempo che determina il momento in cui le peggiori situazioni climatiche esterne (temperature minime in inverno e massime in estate) sono percepite all'interno, potrebbe comportare la comparsa della situazione critica in momenti in cui non è più causa di discomfort.

Lo sfruttamento dell'inerzia termica è fondamentale nei climi che hanno un'ampia escursione termica giornaliera. Generalmente è possibile affermare che se la differenza di temperatura tra valore minimo e massimo è inferiore a 5°C è più importante valorizzare l'aspetto d'isolamento della parete, se l'escursione è compresa tra 7°C e 10°C è necessario valutare di volta in volta in funzione del clima mentre se la differenza di temperatura supera i 10°C sono da preferire costruzioni con molta massa.

In estate…

Per l'ottenimento del miglior effetto possibile è necessario garantire che il calore accumulato venga smaltito sfruttando la ventilazione notturna.

Lo sfasamento è direttamente proporzionale alla capacità termica ed inversamente proporzionale alla conduttività, in particolare tanto più alta è la capacità quanto più lento sarà l'ingresso del calore, al contrario, tanto più alta è la conduttività quanto minore sarà il tempo necessario affinché il calore attraversi la struttura. Il calore accumulato nella struttura viene poi ceduto agli ambienti che si trovano ad una temperatura inferiore, quindi sia all'interno che all'esterno. Tuttavia è bene riflettere sul fenomeno delle "isole di calore" presente nelle grandi città che ha annullato quasi completamente l'effetto di escursio-

ne termica tra il giorno e la notte, vanificando il tentativo di raffrescare gli ambienti attraverso la ventilazione.

In inverno…

La capacità delle strutture che definiscono l'edificio può essere sfruttata per ridurre i consumi per il riscaldamento sfruttando la radiazione solare in ingresso o i sistemi di riscaldamento radianti.

Utilizzando ad esempio pannelli radianti il calore viene accumulato nelle strutture che li ospitano e rilasciato lentamente; grazie alla capacità termica dei materiali quindi le superfici in cui si trovano i pannelli radianti (pavimento, parete, ecc.) continueranno a fornire calore all'ambiente anche quando l'impianto sarà spento.

Come il posizionamento dell'isolante influenza l'inerzia termica

Lo sfruttamento della capacità termica è fortemente influenzato dal sistema d'isolamento adottato.

Prendiamo come riferimento tre possibili situazioni, isolamento interno, in intercapedine ed esterno a cappotto.

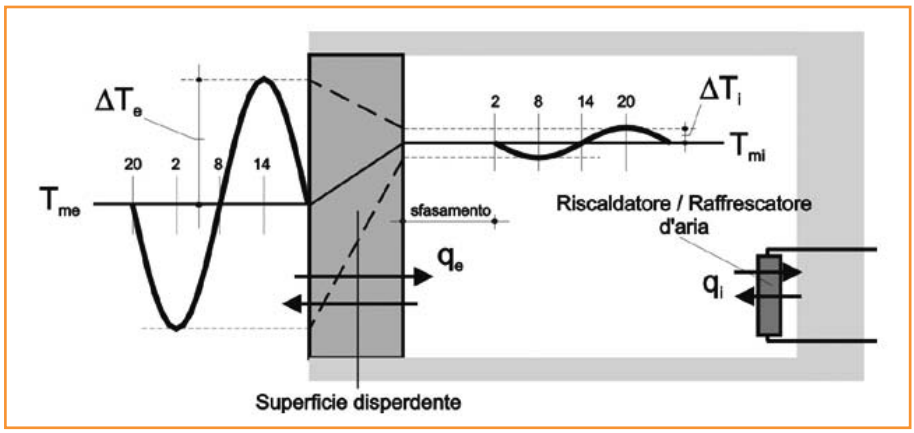
Nel primo caso la presenza di materiale coibente sulla faccia interna delle murature impedisce la fuoruscita del calore ma ne impedisce anche l'accumulo nella parete retrostante e dunque la possibilità sfruttare la capacità degli elementi.

L'isolamento in intercapedine può rendere difficoltoso il controllo dei ponti termici ma d'altra parte, proprio per com'è costituita questa soluzione costruttiva, presenta una massa termica esterna che con la sua capacità rallenta l'ingresso della sollecitazione termica, l'isolamento intermedio che blocca gran parte del calore grazie alla sua alta resistenza termica e la massa termica interna che invece contribuisce al mantenimento delle condizioni interne accumulando calore.

Nel caso di cappotto esterno, l'isolamento ostacola da subito l'ingresso di calore in estate mentre in inverno permette l'accumulo del calore prodotto internamente in tutta la parete esterna.

Per il corretto posizionamento della massa termica nell'involucro bisogna considerare se i maggiori consumi energetici sono legati al raffrescamento estivo o al riscaldamento invernale e ovviamente al tipo di utilizzo che si intende fare dell'edificio.

Per il riscaldamento: è bene posizionare le soluzioni con maggiore massa termica in posizioni in cui



possano ricevere molta radiazione solare o calore da sistemi radianti.

Per il raffrescamento: è necessario proteggere le soluzioni costruttive con elevata massa termica dalla radiazione solare con sistemi di oscuramento o isolamento ed è anche preferibile prevedere lo sfruttamento della ventilazione notturna e delle correnti d'aria per la rimozione del calore accumulato dalle superfici.

In ogni caso è bene sfruttare la massa dei solai, il pavimento, infatti, è utilizzabile come elemento ottimale per posizionare materiali pesanti.

Uso della trasmittanza termica periodica

La trasmittanza termica periodica Yie, riferita ad un periodo di 24 ore, sembra essere il parametro più idoneo per caratterizzare la capacità di un componente edilizio di attenuare una sollecitazione termica periodica sulla sua faccia esterna quale l'irraggiamento solare. Infatti essa:

- è il parametro di riferimento introdotto dalla nuova norma internazionale ISO/DIS 13786:2005;
- è il parametro già adottato dalla norma italiana UNI 10375 per il calcolo della temperatura estiva degli ambienti non climatizzati;
- è un parametro che dipende sia dalla capacita di accumulo termico sia dal grado di isolamento termico della parete e pertanto lascia al progettista la scelta tra agire sull'isolamento o sulla massa.

La massa superficiale è invece un parametro parziale ed inadeguato: non considera ne la conducibilità ne il calore specifico dei materiali. Come per le condizioni invernali, in cui la verifica della trasmittanza termica è alternativa a quella del fabbisogno energetico dell'edificio, anche per le condizioni estive la verifica della trasmittanza termica periodica viene richiesta come alternativa ad un approccio prestazionale che preveda il calcolo del fabbisogno estivo o della temperatura interna massima.

L'ampiezza della sollecitazione termica dinamica su un componente opaco di involucro esterno è legata all'escursione giornaliera della temperatura sole-aria Δt_{sa} esprimibile come

$$\Delta t_{sa} = \Delta t_e + \frac{\alpha}{h_e} I_{max}$$

dove Δt_e è l'escursione termica giornaliera dell'aria esterna, α è il coefficiente di assorbimento solare della faccia esterna del componente opaco, h_e è il coefficiente di scambio termico liminare esterno e I_{max} è l'irradianza solare massima sul componente. Imponendo un valore limite costante (per tutte le condizioni climatiche) al flusso termico entrante attraverso il componente per effetto dell'oscillazione giornaliera della temperatura sole – aria, assumendo α = 0,3 e h_e = 0,15 W/m^{2}K e considerando l'irradianza massima su piano orizzontale ($I_{h,max}$) riferibile al giorno di progetto, si ottiene la seguente espressione del valore limite della trasmittanza termica periodica:

$$Y_{ie,max} = \frac{K}{\Delta t_e + 0{,}02 I_{h,max}}$$

Il valore della costante K pari a 3 W/m^2, è stato ricavato considerando, in una località della zona climatica C (Bari, Δt_e = 8 °C, I_{max} = 940 W/m^2), una parete monostrato caratterizzata dai valori limite fissati dal D.Lgs. 192/2005 per la trasmittanza termica (U = 0,57 W/m^{2}K) e

per la massa superficiale (m = 230 Kg/m^2).

Per una serie di tipologie costruttive di parete esterna si è analizzata la relazione tra la trasmittanza termica periodica, la trasmittanza termica e la massa della parete e si può notare che:

- a parità di massa superficiale e trasmittanza termica, la trasmittanza termica periodica varia in funzione della tipologia costruttiva (stratigrafia);
- nelle zone più fredde, il maggiore grado d'isolamento termico richiesto, produce una riduzione della trasmittanza termica periodica a parità di massa superficiale.

Fabbisogno di energia primaria invernale ed estiva

Il bilancio energetico è l'operazione che consente di correlare tutti i termini di scambio energetico. In termini matematici l'equazione che esprime tale correlazione è il primo principio della termodinamica per il quale la somma di tutti gli scambi di energia di un sistema è uguale alla variazione della sua energia interna. Esso si può scrivere come:

$$Q_e = Q_i + Q_{imp} + Q_v = \sum_{j=1}^{n} M_i c_i \left(\frac{\partial \vartheta}{\partial_t} \right)$$

dove:

Q_e = somma di tutti i flussi termici scambiati attraverso l'involucro esterno per conduzione, convezione e irraggiamento

Q_i = somma di tutti i flussi termici dovuti a sorgenti di interne di energia

Q_{imp} = flusso termico dovuto all'impianto tecnologico di riscaldamento e/o raffrescamento

Q_v = flusso termico dovuto agli scambi per ventilazione con gli ambienti adiacenti compreso l'esterno

n = numero di elementi costituenti l'involucro edilizio

j = indice per indicare la parete generica compresa tra l e n

M = massa termica della j-esima parete

c = calore specifico del materiale della parete j-esima

∂ = simbolo di derivata

ϑ = temperatura della parete j-esima

t = tempo

NOTA: $\partial\vartheta / \partial_t$ è una notazione matematica (derivata della temperatura rispetto al tempo t) che esprime la velocità con cui tale grandezza cambia nel tempo.

L'equazione sopra riportata evidenzia come i diversi termini influenzano il flusso termico richiesto all'impianto tecnologico. Durante la stagione invernale si devono ridurre al minimo i flussi termici dovuti alla differenza di temperatura tra l'interno e l'esterno (uscenti per trasmissione e ventilazione) e aumentare quelli entranti (radiazione solare e sorgenti interne).

Durante l'estate è invece necessario ridurre l'effetto della radiazione solare ed il contributo della trasmissione di calore per differenza di temperatura quando la temperatura dell'aria esterna è superiore a quella interna.

Nell'equazione il termine a destra rappresenta la quantità di calore che viene accumulata nella struttura edilizia quando si manifestano variazioni di temperatura nel tempo. Come si può notare variazioni sa-

ranno tanto più piccole quanto più grande è il prodotto **cM**.

Questo termine è chiamato **capacità termica** del componente. In altre parole tutti i componenti immagazzinano energia al loro interno e possono accumularla o restituirla a seconda che si fornisca o si sottragga loro energia (attraverso lo scambio termico con l'ambiente adiacente). Da quanto detto è evidente come il fenomeno di scambio e di accumulo termico sia determinante per il funzionamento degli edifici. Infatti poiché tutti gli eventi sono fortemente variabili nel tempo, le strutture edilizie accumulano o cedono calore a seconda dei flussi termici scambiati in corrispondenza delle superfici estreme.

Requisiti energetici degli edifici

Limiti sul fabbisogno

Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale.

I valori limite riportati nelle tabelle sono espressi in funzione della zona climatica, cosi come individuata dal DPR 412/93 e del rapporto di forma dell'edificio S/V, dove:

- S e la superficie (m2) che delimita verso l'esterno (ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento) il volume riscaldato V;
- V e il volume lordo (m3) delle parti di edificio riscaldate, definito dalle superfici che lo delimitano.

Per valori di S/V compresi nell'intervallo 0.2 e 0.9 e, analogamente, per gradi giorno (GG) intermedi ai limiti delle zone climatiche riportati in tabella, si procede mediante interpolazione lineare.

Per località caratterizzate da un numero di GG > 3001 i valori limite sono determinati per estrapolazione lineare, sulla base dei valori fissati per la zona climatica E, con riferimento al numero di GG proprio della località in esame (DLgs. 311/06 All. C).

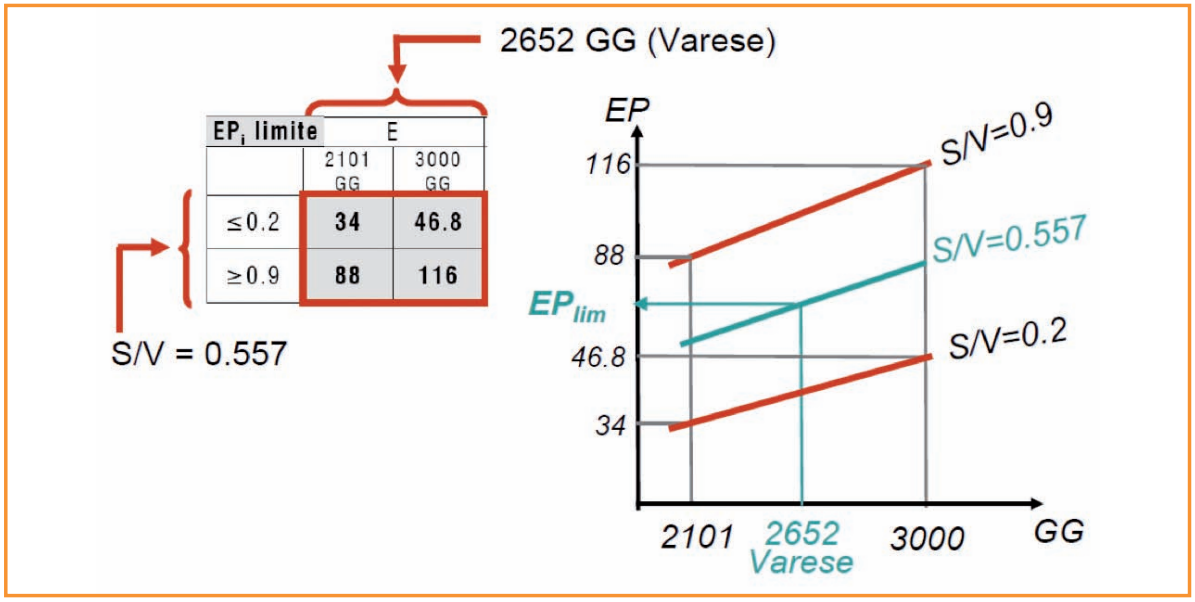
Limiti sempre più severi: 2006 → 2008 → 2010

Valori limite EPi – Edifici Residenziali [kWh/m² anno]

	S/V	Zona climatica									
		A	B		C		D		E		F
		<600 GG	601 GG	900 GG	901 GG	1400 GG	1401 GG	2100 GG	2101 GG	3000 GG	>3001 GG
EPi limite fino al 31/12/2007	0,2	10	10	15	15	25	25	40	40	55	55
	0,9	45	45	60	60	85	85	110	110	145	145
EPi limite dal 1 gennaio 2008	0,2	9,5	9,5	14	14	23	23	37	37	52	52
	0,9	41	41	55	55	78	78	100	100	133	133
EPi limite dal 1 gennaio 2010	0,2	8,5	8,5	12,8	12,8	21,3	21,3	34	34	46,8	46,8
	0,9	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116

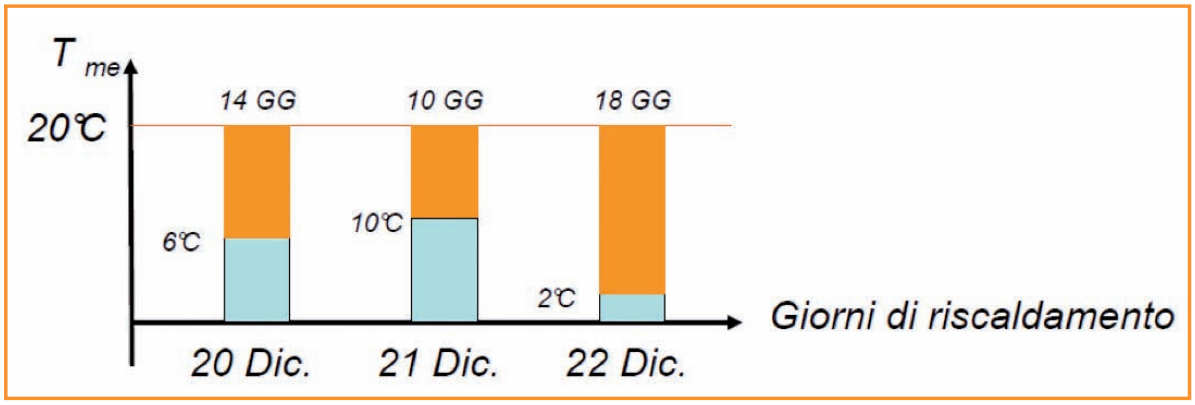
Valori limite EPi – Tutti gli altri edifici [kWh/m³ anno]

	S/V	Zona climatica									
		A	B		C		D		E		F
		<600 GG	601 GG	900 GG	901 GG	1400 GG	1401 GG	2100 GG	2101 GG	3000 GG	>3001 GG
EPi limite fino al 31/12/2007	0,2	2,5	2,5	4,5	4,5	7,5	7,5	12	12	16	16
	0,9	11	11	17	17	23	23	30	30	41	41
EPi limite dal 1 gennaio 2008	0,2	2,5	2,5	4,5	4,5	6,5	6,5	10,5	10,5	14,5	14,5
	0,9	11	11	14	14	20	20	26	26	36	36
EPi limite dal 1 gennaio 2010	0,2	2	2	3,6	3,6	6	6	9,6	9,6	12,7	12,7
	0,9	8,2	8,2	12,8	12,8	17,3	17,3	22,5	22,5	31	31



Gradi Giorno (GG)
I gradi giorno rappresentano la sommatoria delle differenze fra temperatura esterna media giornaliera e i 20°C di temperatura di progetto interna, estesa per il periodo di riscaldamento.

Interpolazione lineare (esempio)



Classificazione Climatica dei Comuni Italiani dal D.P.R. n. 412 del 26 agosto 1993

Gli oltre 8.000 comuni sono stati suddivisi in sei zone climatiche. Sono stati forniti inoltre, per ciascun comune, le indicazioni sulla somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20 °C, e la temperatura media esterna giornaliera; l'unità di misura utilizzata è il grado giorno (GG).

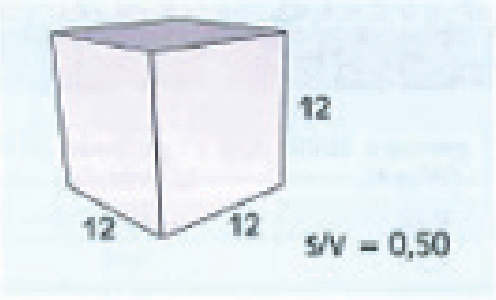
Zone climatiche

Il territorio nazionale è classificato in "zone climatiche" che sono indipendenti dalla localizzazione geografica, ma al contrario, sono legate alla loro temperatura. La classificazione è legata al contenimento dei consumi di energia degli impianti termici di riscaldamento. La tabella, che riporta a titolo di esempio tutti i capoluoghi di provincia per ogni zona climatica, indica il periodo dell'anno e il numero massimo di ore giornaliere in cui è consentita l'accensione degli impianti di riscaldamento. L'unità di misura utilizzata per identificare la zona climatica di appartenenza di ciascun comune è il "grado-giorno", che equivale alla somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20 °C, e la temperatura media esterna giornaliera.

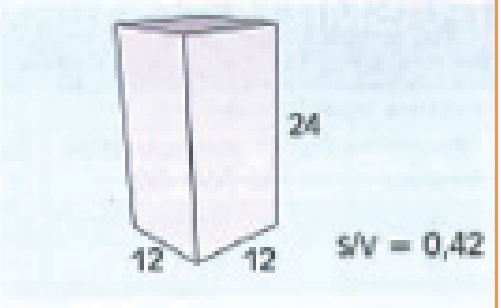
Più alto è il valore dei gradi giorno, più il clima è rigido; più il clima è rigido, più basso dovrà essere il valore della trasmittanza termica U.

Zona	Gradi giorno	Periodo	Ore	Esempi
A	Fino a 600	1 Dicembre – 15 Marzo	6	Lampedusa, Linosa, Porto Empedocle
B	Da oltre 600 a 900	1 Dicembre – 31 Marzo	8	Agrigento, Catania, Crotone, Messina
C	Da oltre 900 a 1400	15 Novembre – 31 Marzo	10	Palermo, Reggio Calabria, Siracusa, Trapani, Bari, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caserta, Catanzaro, Cosenza, Imperia, Latina, Lecce, Napoli, Oristano, Ragusa, Salerno, Sassari, Taranto
D	Da oltre 1400 a 2100	1 Novembre – 15 Aprile	12	Ancona, Ascoli Piceno, Avellino, Caltanissetta, Chieti, Firenze, Foggia, Forlì, Genova, Grosseto, Isernia, La Spezia, Livorno, Lucca, Macerata, Massa Carrara, Matera, Nuoro, Pesaro, Pescara, Pisa, Pistoia, Prato, Roma, Savona, Siena, Teramo, Terni, Verona, Vibo Valentia, Viterbo
E	Da oltre 2100 a 3000	15 Ottobre – 15 Aprile	14	Alessandria, Aosta, Arezzo, Asti, Bergamo, Biella, Bologna, Bolzano, Brescia, Campobasso, Como, Cremona, Enna, Ferrara, Cesena, Frosinone, Gorizia, L'Aquila, Lecco, Lodi, Mantova, Milano, Modena, Novara, Padova, Parma, Pavia, Perugia, Piacenza, Pordenone, Potenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rieti, Rimini, Rovigo, Sondrio, Torino, Trento, Treviso, Trieste, Udine, Varese, Venezia, Verbania, Vercelli, Vicenza
F	Oltre 3000	Nessuna limitazione	24	Belluno, Cuneo

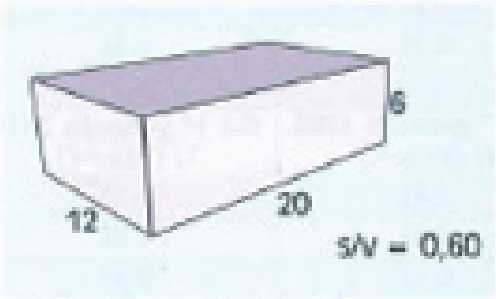
GRADO DI COMPATTEZZA DELL'EDIFICIO (RAPPORTO S/V)



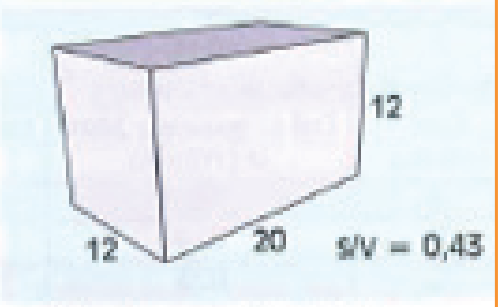
▲ **Edificio a torre**



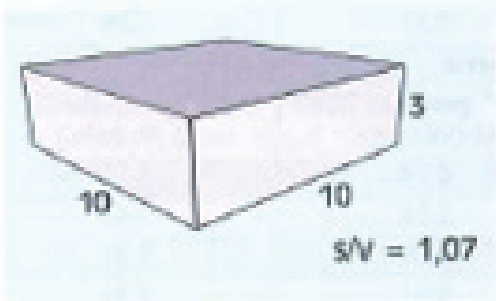
▲ **Edificio a torre alto**



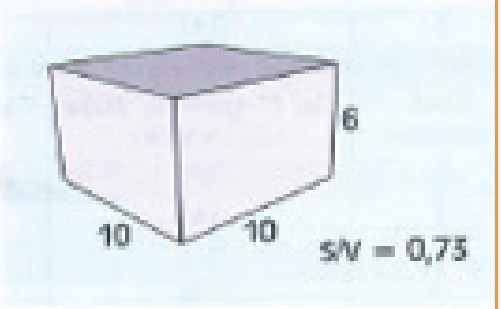
▲ **Palazzina a due piani**



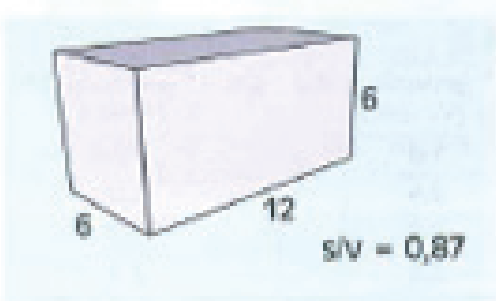
▲ **Palazzina a quattro piani**



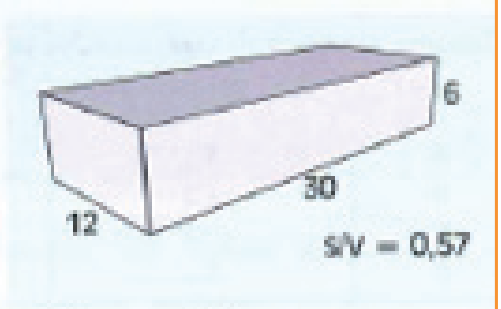
▲ **Villa su un piano**



▲ **Villa su due piani**



▲ **Villetta singola**



▲ **Villette a schiera**

Di seguito vengono riportati i valori limite U forniti dal D.Lgs. 311/06:

Valori limite di trasmittanza termica U degli elementi opachi

ZONA CLIMATICA	Strutture opache verticali			Coperture			Pavimenti vs locali non riscaldati o vs l'esterno		
	Dal 01/01/2006	Dal 01/01/2008	Dal 01/01/2010	Dal 01/01/2006	Dal 01/01/2008	Dal 01/01/2010	Dal 01/01/2006	Dal 01/01/2008	Dal 01/01/2010
	U (W/m²K)	U (W/m²K)	U (W/m²K)	U (W/m²K)	U (W/m²K)	U (W/m²K)	U (W/m²K)	U (W/m²K)	U (W/m²K)
A	0,85	0,72	0,62	0,80	0,42	0,38	0,80	0,74	0,65
B	0,64	0,54	0,48	0,60	0,42	0,38	0,60	0,55	0,49
C	0,57	0,46	0,40	0,55	0,42	0,38	0,55	0,49	0,42
D	0,50	0,40	0,36	0,46	0,35	0,32	0,46	0,41	0,36
E	0,46	0,37	0,34	0,43	0,32	0,30	0,43	0,38	0,33
F	0,44	0,35	0,33	0,41	0,31	0,29	0,41	0,36	0,32

Valori limite di trasmittanza termica U degli elementi trasparenti

ZONA CLIMATICA	Chiusure trasparenti comprensive di infissi			Vetri		
	Dal 01/01/2006	Dal 01/01/2008	Dal 01/01/2010	Dal 01/01/2006	Dal 01/01/2008	Dal 01/07/2010
	U (W/m²K)	U (W/m²K)	U (W/m²K)	U (W/m²K)	U (W/m²K)	U (W/m²K)
A	5,5	5,0	4,6	5,0	4,5	3,7
B	4,0	3,6	3,0	4,0	3,4	2,7
C	3,3	3,0	2,6	3,0	2,3	2,1
D	3,1	2,8	2,4	2,6	2,1	1,9
E	2,8	2,4	2,2	2,4	1,9	1,7
F	2,4	2,2	2,0	2,3	1,7	1,3

La legislazione richiede inoltre che la trasmittanza termica delle strutture edilizie tra edifici o unità abitative confinanti sia minore o uguale a 0,8 W/m2K. Lo stesso limite deve essere verificato anche da tutte le strutture opache verticali, orizzontali o inclinate che separano ambienti interni non riscaldati dall'esterno (Requisiti richiesti per tutte le categorie di edifici, ad esclusione della categoria E8, realizzati in zone climatiche C, D, E e F.).

Rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico

- Rendimento globale medio stagionale (µg) ≥ ε (75+3logPn)% se Pn <1000 kW
- Rendimento globale medio stagionale (µg) ≥ ε 84% se Pn ≥1000 kW

L'ISOLAMENTO TERMICO E LA MASSA

capitolo 6

Prof. Ing. Vincenzo Corrado,
Politecnico di Torino,
Dipartimento di Energetica

CONTENUTI DELLA PRESENTAZIONE

- REQUISITI TERMICI DEI COMPONENTI OPACHI: L'INERZIA TERMICA
- IL CONTROLLO DELL'INERZIA TERMICA NELLA LEGISLAZIONE
- LA SOLLECITAZIONE TERMICA SULLA PARETE
- IL METODO DELL'ANALISI ARMONICA
- LA TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA
- CONCLUSIONI

REQUISITI TERMICI DEI COMPONENTI OPACHI

- **Isolamento termico** (condizioni invernali)
  - ⇒ trasmittanza termica
    - ⇒ UNI EN ISO 6946:2007
- **Controllo dell'inerzia termica** (condizioni estive)
  - ⇒ parametri termici dinamici
    - ⇒ UNI EN ISO 13786:2008
- **Controllo della condensazione superficiale** (condizioni invernali)
  - ⇒ fattore di qualità termica
    - ⇒ UNI EN ISO 13788:2003
- **Controllo della condensazione interna** (condizioni invernali)
  - ⇒ profilo pressione di vapore
    - ⇒ UNI EN ISO 13788:2003

INERZIA TERMICA DELLA PARETE

È l'attitudine della parete a ridurre (smorzamento) e ritardare (sfasamento) l'effetto di sollecitazioni dinamiche sul carico termico dell'ambiente.

- Si distingue tra sollecitazioni termiche:
  - sul lato esterno del componente
    - variazione giornaliera della temperatura esterna
    - variazione giornaliera della radiazione incidente sul componente
  - sul lato interno sul lato interno del componente
    - radiazione solare attraverso i vetri
    - occupazione, apporti interni
    - intermittenza impianto di riscaldamento/raffrescamento

CONTROLLO DELL'INERZIA TERMICA

CONTROLLO DELL'INERZIA TERMICA (SOLLECITAZIONE ESTERNA)

- Questo requisito è tanto più importante quanto più elevata è l'escursione giornaliera della temperatura (stagione estiva, climi caldi secchi).
- L'inerzia termica di un componente è legata alla sua capacità di accumulo (massa), ma anche allo stesso isolamento termico.

CONTROLLO DELL'INERZIA TERMICA (SOLLECITAZIONE INTERNA)

- Questo requisito è tanto più importante quanto più elevata l'escursione giornaliera dei carichi interni (apporti interni variabili, grandi superfici vetrate non schermate).
- L'inerzia termica di un componente è legata alla capacità di accumulo (massa) dei primi 10 centimetri a contatto con l'aria interna, ma anche alla posizione dello strato di isolamento termico.

CONTROLLO DELL'INERZIA TERMICA: IL D. LGS. 311/2006

Riferimento legislativo	Decreto legislativo 192/05 (modificato dal decreto legislativo 311/06), allegato I comma 9 lettera b
Ambito di applicazione	• Edifici di nuova costruzione • Ristrutturazione integrale dell'involucro di edifici esistenti • Demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria di edifici esistenti • Ampliamento superiore al 20 % in volumetria dell'intero edificio esistente
Esclusioni	• Edifici adibiti ad attività sportive, industriali e artigianali • Zona climatica F • Località in cui l'irradianza media mensile sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione sia minore di 290 W/m²
Espressione del requisito	• Massa superficiale delle pareti opache verticali, orizzontali o inclinate superiore a 230 kg/m² Oppure • Utilizzo alternativo di tecniche e materiali, anche innovativi, che permettano in modo equivalente di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare

CONTROLLO DELL'INERZIA TERMICA: D.P.R. 59/09

Riferimento legislativo	DPR 2 aprile 2009 n°59 di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192
Ambito di applicazione	• Edifici di nuova costruzione • Ristrutturazione integrale dell'involucro di edifici esistenti • Demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria di edifici esistenti • Ampliamento superiore al 20 % in volumetria dell'intero edificio esistente
Esclusioni	• Edifici adibiti ad attività commerciali, sportive, scolastiche, industriali e artigianali • Zona climatica F • Località in cui l'irradianza media mensile sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione sia minore di 290 W/m²
Espressione del requisito	• Massa superficiale superiore a 230 kg/m² (pareti opache verticali con l'eccezione di quelle comprese nel quadrante nord-ovest /nord/nord-est) oppure • Modulo della trasmittanza termica periodica inferiore a 0,12 W/m²K (pareti opache verticali con l'eccezione di quelle nel quadrante nord-ovest/nord/nord-est) e inferiore a 0,20 W/m²K (pareti opache orizzontali o inclinate) oppure • Utilizzo alternativo di tecniche e materiali, anche innovativi, ovvero coperture a verde, che permettano in modo equivalente di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione dell'andamento dell'irraggiamento solare

LA SOLLECITAZIONE TERMICA SULLA PARETE

TEMPERATURA ESTERNA EQUIVALENTE

Temperatura uniforme dell'ambiente esterno con il quale la parete scambierebbe lo stesso flusso termico per irraggiamento e convezione scambiato con l'ambiente reale non uniforme

$$\theta_{e,eq} = \theta_e + \frac{F_r \cdot 5\varepsilon \cdot \Delta\theta_{er}}{h_e} + \frac{\alpha_s \cdot I}{h_e}$$

F_r = fattore di vista tra la parete e la volta celeste

ε = emissività della superficie esterna della parete [-]

h_e = adduttanza termica esterna [W/m²K]

$\Delta\theta_{er}$ = differenza tra la temperatura dell'aria esterna e la temperatura apparente della volta celeste [K]

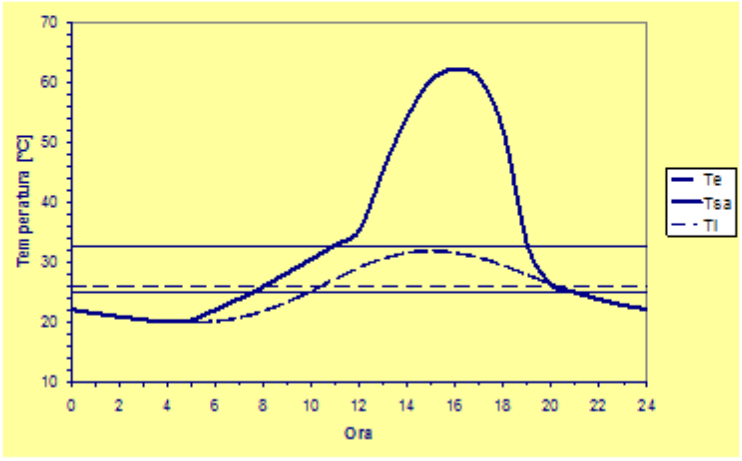
LA SOLLECITAZIONE TERMICA SULLA PARETE: ESEMPIO

- Località: Milano
- Parete verticale esposta a Ovest
- Giorno estivo di progetto (15 Luglio)
- h_e = 15 W/m²K α_{sol} = 0,6

Ora	Temperatura [°C]	Irradianza solare [W/m²]	Temperatura esterna equivalente [°C]
3	20,4	0	20,4
6	20,1	49	22,1
9	23,4	120	28,2
12	29,1	156	35,4
15	31,9	714	60,5
18	29,4	558	51,7
21	24,9	0	24,9
24	22,1	0	22,1

LA SOLLECITAZIONE TERMICA SULLA PARETE: ESEMPIO

- Località: Milano
- Parete verticale esposta a Ovest
- Giorno estivo di progetto (15 Luglio)



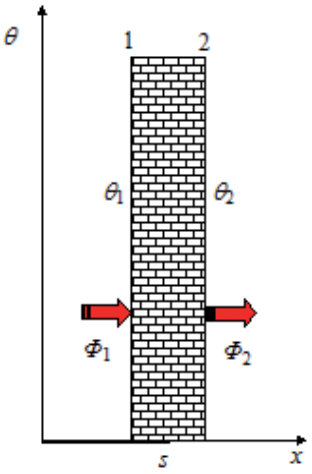
METODO DELL'ANALISI ARMONICA

$$\theta_1 = \bar{\theta}_1 + \sum_{j=1}^{n} \tilde{\theta}_1^{(j)} = \bar{\theta}_1 + \sum_{j=1}^{n} \left|\hat{\theta}_1^{(j)}\right| \cos\left(\omega^{(j)} t + \psi_1^{(j)}\right)$$

$$\theta_2 = \bar{\theta}_2 + \sum_{j=1}^{n} \tilde{\theta}_2^{(j)} = \bar{\theta}_2 + \sum_{j=1}^{n} \left|\hat{\theta}_2^{(j)}\right| \cos\left(\omega^{(j)} t + \psi_2^{(j)}\right)$$

$$\Phi_1 = \bar{\Phi}_1 + \sum_{j=1}^{n} \tilde{\Phi}_1^{(j)} = \bar{\Phi}_1 + \sum_{j=1}^{n} \left|\hat{\Phi}_1^{(j)}\right| \cos\left(\omega^{(j)} t + \chi_1^{(j)}\right)$$

$$\Phi_2 = \bar{\Phi}_2 + \sum_{j=1}^{n} \tilde{\Phi}_2^{(j)} = \bar{\Phi}_2 + \sum_{j=1}^{n} \left|\hat{\Phi}_2^{(j)}\right| \cos\left(\omega^{(j)} t + \chi_2^{(j)}\right)$$



MATRICE DI TRASFERIMENTO TERMICO DI UNO STRATO

Per uno strato piano omogeneo la relazione tra le funzioni sinusoidali che esprimono l'andamento di temperature e flussi sulle due facce dello strato è espressa da una matrice di numeri complessi:

$$\begin{pmatrix} \hat{\theta}_2 \\ \hat{q}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \hat{\theta}_1 \\ \hat{q}_1 \end{pmatrix}$$

$$Z_{11} = Z_{22} = \cosh(\xi)\cos(\xi) + j\sinh(\xi)\sin(\xi)$$

$$Z_{12} = -\frac{\delta}{2\lambda}\{\sinh(\xi)\cos(\xi) + \cosh(\xi)\sin(\xi) + j[\cosh(\xi)\sin(\xi) - \sinh(\xi)\cos(\xi)]\}$$

$$Z_{21} = -\frac{\lambda}{\delta}\{\sinh(\xi)\cos(\xi) - \cosh(\xi)\sin(\xi) + j[\sinh(\xi)\cos(\xi) + \cosh(\xi)\sin(\xi)]\}$$

$$\xi = \frac{d}{\delta} \qquad \delta = \sqrt{\frac{\lambda \cdot T}{\pi \cdot \rho \cdot c}} = \sqrt{\frac{a \cdot T}{\pi}}$$

MATRICE DI TRASFERIMENTO TERMICO DI UNA PARETE

1 2 3 4

$$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} = Z_{se} Z_N Z_{N-1} \ldots Z_3 Z_2 Z_1 Z_{si}$$

$$Z_s = \begin{pmatrix} 1 & -R_s \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

R_s è la resistenza termica dello strato liminare

LA TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA

TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA, FATTORE DI ATTENUAZIONE E SFASAMENTO

Se la temperatura esterna varia con legge sinuisodale e periodo di 24 h:

- $\theta_e = \theta_{e,m} + \Delta\vartheta_{e,max} \cdot \cos(2n \cdot t/24)$
- $\theta_i = \theta_{e,m}$

Il flusso termico areico sulla faccia interna della parete vale:

- in assenza d'inerzia termica →

$- q_i^* = U \cdot \Delta\,\theta_{e,max} \cdot \cos(2n \cdot t/24)$

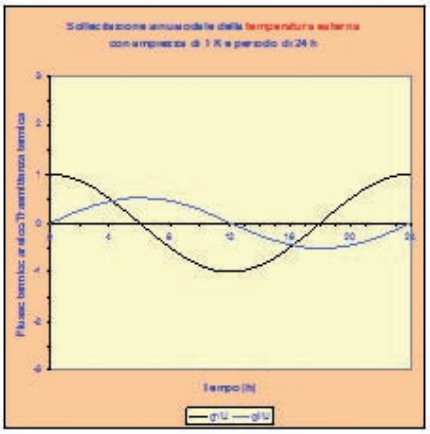
- in presenza d'inerzia termica →

$- q_i = f_a \cdot U \cdot \Delta\theta_{e,max} \cdot \cos(2n \cdot (t-\varphi_a)/24)$

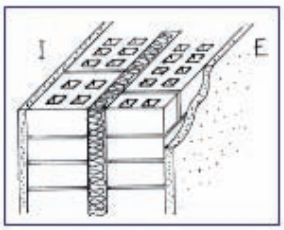
$= Y_{ie} \cdot \Delta\theta_{e,max} \cdot \cos(2n \cdot (t-\varphi_a)/24)$

f_a = fattore di attenuazione [-]
φ_a = sfasamento o ritardo temporale [h]

Y_{ie} = trasmittanza termica periodica [W/m²K]



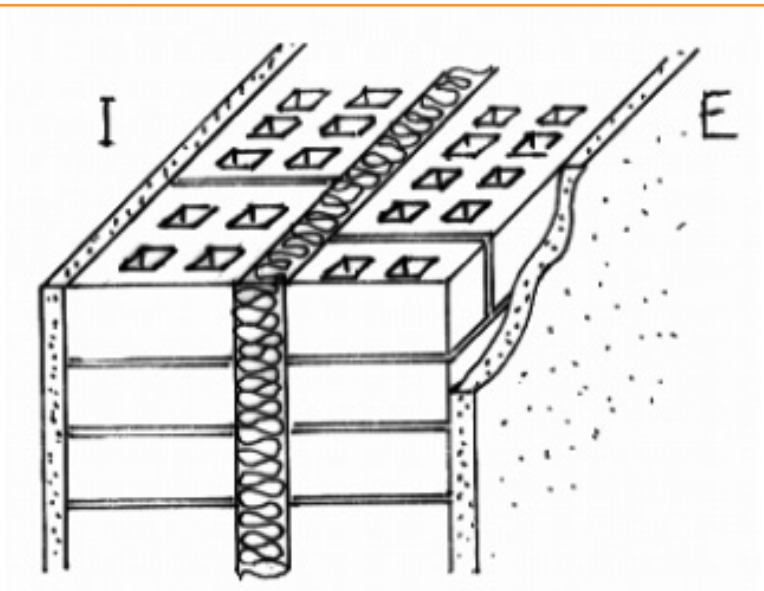
ESEMPIO DI CALCOLO DI PARAMETRI DINAMICI



Stratigrafia (int-est)		s (cm)	ρ (kg/m³)	c (J/kg°C)	λ (W/m°C)	R (m²°C/W)
Strato liminare interno						0,13
I	Intonaco	2,0	1800	910	0,900	
II	Calcestruzzo	12,0	1200	840	0,420	
III	Polistirolo espanso	6,0	15	1.220	0,054	
IV	Calcestruzzo	12,0	1200	840	0,420	
V	Intonaco	2,0	1800	910	0,900	
VI						
VII						
VIII						
IX						
X						
Strato liminare esterno						0,04

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	4,336 W/(m²K)	1,96 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	6,308 W/(m²K)	3,04 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0,139 W/(m²K)	-10,92 h
Capacità termica areica interna (κi)	61,5 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κe)	88,4 kJ/(m²K)	
Resistenza termica (R)	1,884 (m²K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0,531 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,262	

Spessore (s)	34,0 cm	
Massa superficiale (m)	361 kg/m²	
Sfasamento (φ)	10,92 h	

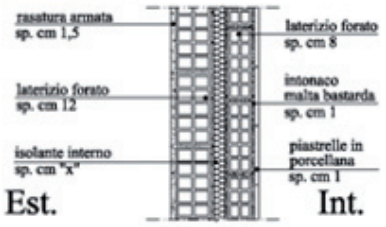


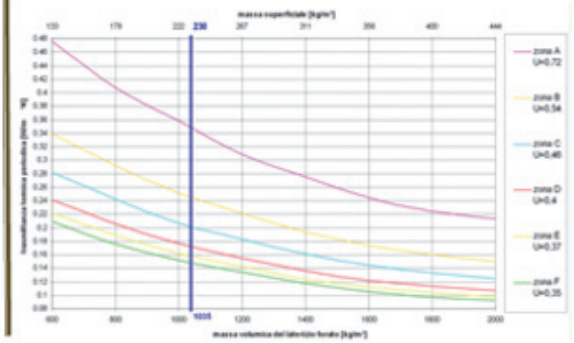
	Stratigrafia (int-est)	s (cm)	ρ (kg/m³)	c (J/kg°C)	λ (W/m°C)	R (m²°C/W)
Strato liminare interno						0,13
I	Intonaco	2,0	1800	910	0,900	
II	Calcestruzzo	12,0	1200	840	0,430	
III	Polistirolo espanso	6,0	15	1220	0,054	
IV	Calcestruzzo	12,0	1200	840	0,430	
V	Intonaco	2,0	1800	910	0,900	
VI						
VII						
VIII						
IX						
X						
Strato liminare esterno						0,04

Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	4,336 W/(m²K)	1,96 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	6,308 W/(m²K)	3,04 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0,139 W/(m²K)	-10,92 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	61,5 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	88,4 kJ/(m²K)	
Resistenza termica (R)	1,884 (m²K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0,531 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,262	
Spessore (s)	34,0 cm	
Massa superficiale (m)	361 kg/m²	
Sfasamento (φ)	10,92 h	

TRASM. TERMICA PERIODICA VS. ISOLAMENTO E MASSA

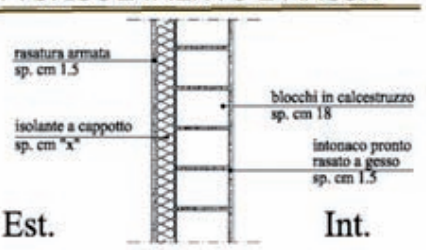
- Parete doppia
- Trasmittanza termica secondo D.Lgs. 311/06 (anno 2008)

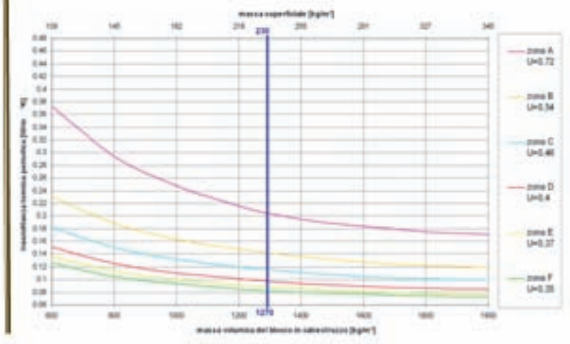




TRASM. TERMICA PERIODICA VS. ISOLAMENTO E MASSA

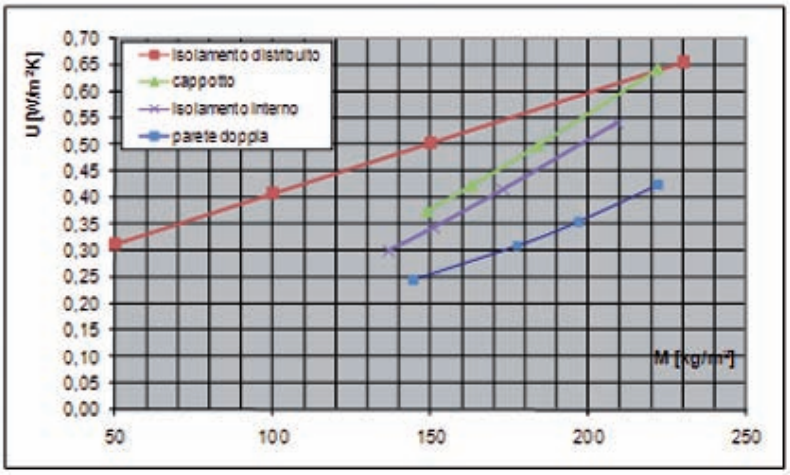
- Parete a cappotto
- Trasmittanza termica secondo D.Lgs. 311/06 (anno 2008)





TRASM. TERMICA PERIODICA VS. ISOLAMENTO E MASSA

Curve a trasmittanza termica periodica costante



CONCLUSIONI

- La trasmittanza termica periodica è il parametro più idoneo a caratterizzare la capacità di un componente edilizio di attenuare una sollecitazione termica periodica sulla sua faccia esterna quale è ad esempio la variazione dell'irraggiamento solare incidente.
- Il valore della trasmittanza termica periodica dipende sia dalla capacità di accumulo termico, sia dal grado di isolamento termico della parete: pertanto un limite di trasmittanza periodica lascia al progettista la scelta tra agire sull'isolamento o sulla massa.
- A parità di massa superficiale e di trasmittanza termica, la trasmittanza termica periodica varia anche in funzione della tipologia costruttiva (stratigrafia, posizione dell'isolante).
- Nelle zone più fredde, il maggiore grado d'isolamento termico richiesto, produce anche una riduzione della trasmittanza termica periodica tale da rendere superflua una massa elevata.
- Ulteriori approfondimenti sono necessari per soluzioni non convenzionali (pareti ventilate, uso di PCM).

LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO: LE UNI/TS 11300

capitolo 7

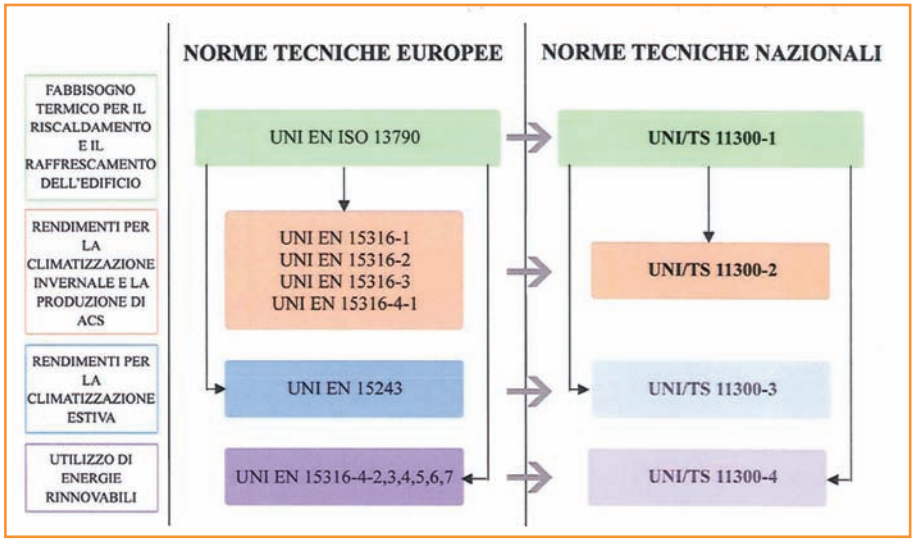
In merito alle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, la legislazione italiana fa riferimento a precise norme tecniche nazionali, definite nel contesto delle norme europee EN a supporto della direttiva 2002/91/CE, adottando le norme della serie UNI/TS 11300.

La Norma UNI TS 11300, suddivisa in quattro parti (di cui una ancora in fase di definizione alla data di pubblicazione del presente volume) è nata non molti anni fa con l'obiettivo di definire una metodologia di calcolo univoca per la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici.

Le specifiche tecniche UNI/TS 11300, elaborate in seno al Comitato Termotecnico Italiano (CTI), definiscono le modalità nazionali per l'applicazione della UNI EN ISO 13790:2008, con riferimento al metodo mensile per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per il riscaldamento QH,nd e per il raffrescamento QC,nd degli edifici residenziali e non.

Forniscono altresì dati e metodi per la determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS) e per la climatizzazione estiva.

In definitiva le UNI/TS 11300 costituiscono le istruzioni per l'applicazione a livello nazionale della direttiva 2002/91/CE e della norma europea UNI EN ISO 13790:2008 che da essa discende e adempiono similmente alla funzione svolta in passato dalla (ex)UNI 10379 che forniva le istruzioni per l'applicazione della (ex)UNI 10344, e poi



della (ex)UNI EN 832, alle verifiche richieste dalla legge.

Le specifiche tecniche UNI/TS 11300

- UNI/TS 11300 - 1
  Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.
- UNI/TS 11300 - 2
  Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.
- UNI/TS 11300 - 3
  Prestazioni energetiche degli edifici - Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.
- UNI/TS 11300 - 4
  Prestazioni energetiche degli edifici - Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e produzione di acqua calda sanitaria

Nota: le UNI TS, essendo delle specifiche tecniche, hanno una validità di 3 anni e vengono quindi poste in revisione al fine di essere aggiornate.

Strumenti di calcolo applicativi commerciali

Gli strumenti di calcolo applicativi delle metodologie per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici secondo le UNI TS 11300 e i software commerciali devono garantire uno scostamento massimo di più o meno il 5% rispetto ai corrispondenti parametri determinati con l'applicazione dello strumento nazionale di riferimento predisposto dal Comitato termotecnico italiano (CTI).

Il CTI, ai sensi del D.Lgs 115 del 30 maggio 2008 e come ribadito nell'art. 7 del DPR 59/09, è stato infatti incaricato di verificare la conformità dei programmi commerciali fornendo una dichiarazione di validazione.

Visionando il sito del CTI, è possibile conoscere tutti i Software ufficialmente abilitati e certificati (link: http://www.cti2000.it/index.php?controller=sezioni&action=show&subid=34).

In riferimento all'argomento trattato nella presente documentazione, si propone di seguito una sintesi delle UNI/TS 11300 parte 1 e parte 3.

UNI/TS 11300 - 1

Prestazioni energetiche degli edifici

Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale

Fornisce linee guida e dati nazionali d'ingresso per la norma UNI EN ISO 13790:2008 che specifica i metodi per calcolare:

- lo scambio termico per trasmissione e ventilazione dell'edificio quando riscaldato o raffrescato a temperatura interna costante
- il contributo delle sorgenti di calore interne e solari al bilancio termico dell'edificio
- i fabbisogni annuali di energia per riscaldamento e raffrescamento per mantenere le temperature di set-point

Nella sostanza definisce le modalità per l'applicazione nazionale

della UNI EN ISO 13790:2008 per il calcolo dei fabbisogni (netti) di energia termica per riscaldamento e per raffrescamento (sensibile) con riferimento al metodo mensile.

UNI EN ISO 13790:2008

Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento:

- consente il ricorso a due metodi alternativi di calcolo:
  1. basato su dati medi mensili (metodo adottato dalla normativa tecnica italiana)
  2. basato su dati orari dei giorni tipici di ogni mese

Tipi di valutazione

La specifica tecnica è rivolta a tutte le possibili applicazioni previste dalla UNI EN ISO 13790:

1. calcolo di progetto: riferito al progetto dell'edificio e ha un'applicazione fondamentale, ad esempio, per ottenere il permesso di costruire. Si fa riferimento a un utilizzo convenzionale del fabbricato.
2. valutazione standard: si riferisce all'edificio esistente così come è costruito, ed è finalizzato a fornire un indice di valutazione per la certificazione energetica. Si applica su fabbricati sia nuovi che già esistenti, facendo riferimento a condizioni di utilizzo convenzionali
3. calcolo nelle reali condizioni di esercizio: si effettua su edifici già realizzati e fa riferimento al modo in cui lo stabile è effettivamente utilizzato. E' la valutazione più realistica ed è finalizzata alla diagnosi energetica permettendo di capire perché un edificio consuma molto, proponendo eventuali interventi di riqualificazione e di valutarne l'efficacia in termini costi benefici.

Procedura di calcolo in sintesi

1. Definizione dei confini dell'insieme degli ambienti climatizzati e non climatizzati dell'edificio;
2. Se necessario definizione dei confini delle diverse zone di calcolo, tali confini sono costituiti da tutti gli elementi edilizi che separano lo spazio riscaldato dall'ambiente esterno o dalle altre zone adiacenti, non riscaldate o caratterizzate da una diversa temperatura di set point o da un diverso regime di riscaldamento;
3. definizione delle condizioni interne di calcolo e dei dati di ingresso relativi al clima esterno;
4. per ogni mese e per ogni eventuale zona dell'edificio calcolo di:
   - QH,nd (fabbisogno netto di energia termica per il riscaldamento);
   - QC,nd (fabbisogno netto di energia termica per il raffrescamento);

Tipo di valutazione	Determinazione della prestazione	Dati di ingresso			Funzione o scopo
		utenza	Clima	Edificio	
Di progetto (design rating)	calcolata	standard	standard	progetto	Permesso di costruire Certificato energetico del progetto
Standard (asset rating)	calcolata	standard	standard	reale	Certificato energetico, verifica di requisiti di legge
Adattata all'utenza (tailored rating)	calcolata	A seconda dello scopo	A seconda dello scopo	reale	Ottimizzazione, validazione, progetto di riqualificazione

5. aggregazione dei risultati relativi ai diversi mesi e alle diverse zone servite dagli stessi impianti.

Per il calcolo del fabbisogno dell'energia termica si specifica una procedura sintetizzata in due equazioni di bilancio termico in condizioni medie mensili, una per il riscaldamento e l'altra per il raffrescamento.

Al punto 4) della procedura i fabbisogni di energia termica per riscaldamento e raffrescamento si calcolano, per ogni zona termica (ZT) dell'edificio e per ogni mese, mediante un bilancio di energia termica dello spazio confinato (climatizzato) impostato come segue:

nella stagione di riscaldamento:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol}) \quad [MJ]$$

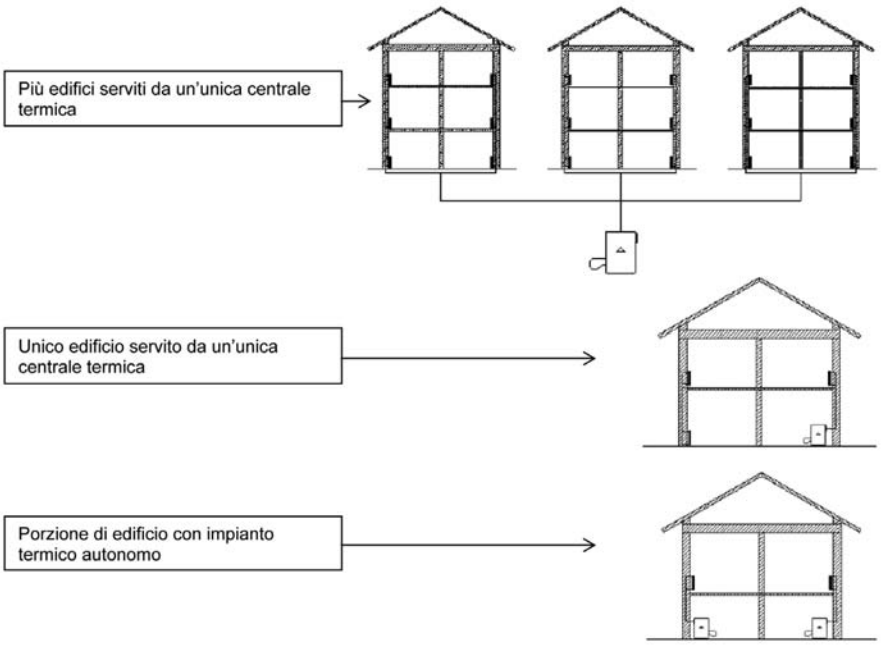
nella stagione di raffreddamento:

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,Is} \cdot Q_{C,ht} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,Is} \cdot (Q_{C,tr} + Q_{C,ve}) \quad [MJ]$$

Si tratta di un bilancio che considera solo il calore sensibile, in esso compaiono i seguenti termini, che rappresentano quantità di energia [MJ] riferite al periodo di calcolo:

- $Q_{H,nd}$ è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per riscaldamento;
- $Q_{C,nd}$ è il fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per raffrescamento;
- $Q_{H,ht}$ è lo scambio termico totale tra ambiente confinato ed esterno nel caso di riscaldamento;
- $Q_{C,ht}$ è lo scambio termico totale tra ambiente confinato ed esterno nel caso di raffrescamento;
- $Q_{H,tr}$ è lo scambio termico per trasmissione nel periodo di riscaldamento;
- $Q_{C,tr}$ è lo scambio termico per trasmissione nel periodo di raffrescamento;
- $Q_{H,ve}$ è lo scambio termico per ventilazione nel periodo di riscaldamento;
- $Q_{C,ve}$ è lo scambio termico per ventilazione nel periodo di raffrescamento;
- Q_{gn} sono i guadagni termici totali;
- Q_{int} sono i guadagni termici interni;
- Q_{sol} sono i guadagni termici solari;
- $\eta_{H,gn}$ è il fattore di utilizzazione degli apporti termici;
- $\eta_{C,ls}$ è il fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche.

INDIVIDUAZIONE DELLA ZONA TERMICA



La zonizzazione non è richiesta se si verificano le seguenti condizioni:

- le temperature interne di regolazione per il riscaldamento differiscono di non oltre 4 K;
- gli ambienti non sono raffrescati o comunque le temperature interne di regolazione per il raffrescamento differiscono di non oltre 4 K;
- gli ambienti sono serviti dallo stesso impianto di riscaldamento;
- se vi è un impianto di ventilazione meccanica, almeno l'80% dell'area climatizzata è servita dallo stesso impianto di ventilazione con tassi di ventilazione nei diversi ambienti che non differiscono di un fattore superiore a 4.

Dati di ingresso per i calcoli

Dati relativi alle caratteristiche tipologiche dell'edificio:

- volume lordo e volume netto (interno) dell'ambiente climatizzato;
- superficie utile (o netta calpestabile) dell'ambiente climatizzato;
- superfici di tutti i componenti dell'involucro e della struttura edilizia;
- tipologie e dimensioni dei ponti termici;
- orientamenti di tutti i componenti dell'involucro edilizio;
- fattori di ombreggiatura di tutti i componenti trasparenti.

Dati relativi alle caratteristiche termiche e costruttive dell'edificio:

- trasmittanza termica dei componenti dell'involucro edilizio;
- capacità termica areica dei componenti della struttura;
- trasmittanza di energia solare totale dei componenti trasparenti;
- fattori di assorbimento solare delle facce esterne dei componenti opachi dell'involucro edilizio,
- remissività delle facce esterne dei componenti dell'involucro edilizio;

- fattori di riduzione della trasmittanza di energia solare totale dei componenti trasparenti dell'involucro edilizio in presenza di schermature mobili;
- fattori di riduzione dovuti al telaio dei componenti trasparenti;
- coefficienti di trasmissione lineare dei ponti termici.

Dati climatici
- medie mensili di temperatura esterna
- medie mensili dell'irraggiamento solare totale per ciascun orientamento
- medie mensili dell'irradianza solare totale sul piano orizzontale

Dati relativi alle modalità di occupazione e di utilizzo dell'edificio
- temperature di set-point, (riscaldamento, raffrescamento);
- numero di ricambi d'aria;
- tipo di ventilazione (aerazione, ventilazione naturale o artificiale) e di regolazione della portata (costante, variabile);
- durata dei periodi di raffrescamento e riscaldamento;
- regime di funzionamento dell'impianto termico;
- modalità di gestione delle schermature mobili;
- modalità di gestione delle chiusure oscuranti;
- apporti di calore interni.

Altre indicazioni
- Temperatura interna
- Dati climatici
- Durata della stagione di riscaldamento e raffrescamento
- Parametri di trasmissione termica (con indicazioni su come procedere per valutare ponti termici e dispersioni verso il terreno negli edifici esistenti)
- Ventilazione
- Apporti termici interni
- Apporti termici solari
- Parametri dinamici (con indicazioni su come procedere per valutare la capacità termica negli edifici esistenti)

TEMPERATURA INTERNA
Valutazione di progetto o standard:
- *Climatizzazione invern*ale Per tutte le categorie di edifici ad esclusione delle categorie E.6(1), E.6(2) e E.8, si assume una temperatura interna costante pari a 20 °C.
- *Climatizzazione estiva* Per tutte le categorie di edifici ad esclusione delle categorie E.6(1) e E.6(2) si assume una temperatura interna costante pari a 26 °C.

VENTILAZIONE NATURALE
Valutazione di progetto o standard
Nel caso di aerazione o ventilazione naturale: - per gli edifici residenziali si assume un tasso di ricambio d'aria pari a 0,3 vol/h; - per tutti gli altri edifici si assumono i tassi di ricambio d'aria riportati nella UNI 10339. I valori degli indici di affollamento sono assunti pari al 60% di quelli riportati nella suddetta norma ai fini della determinazione della portata di progetto.

VENTILAZIONE MECCANICA

Valutazione di progetto o standard

Per gli edifici dotati di sistemi di ventilazione meccanica a semplice flusso (aspirazione) il tasso di ricambio d'aria è fissato pari a:

$$q_{ve} = q_{ve,des} \cdot K$$

dove $q_{ve,des}$ è la portata d'aria di progetto e k è un coefficiente di contemporaneità di utilizzo delle bocchette aspiranti.
In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, si può assumere k = 1 per sistemi a portata fissa, k = 0,6 per ventilazione igro-regolabile.
Per gli edifici dotati di sistemi di ventilazione meccanica a doppio flusso il tasso di ricambio d'aria è fissato pari a:

$$q_{ve} = q_{ve,des} \cdot (1 - \eta_{ve})$$

dove $q_{ve,des}$ è la portata d'aria di progetto del sistema per ventilazione meccanica, η ve è il fattore di efficienza dell'eventuale recuperatore di calore dell'aria (pari a 0 se assente).

Calcolo dei coefficienti di scambio termico per trasmissione delle zone di trasmissione → UNI EN ISO 13789 UNI EN ISO 13370

TRASMITTANZA TERMICA

COMPONENTI OPACHI

Proprietà termofisiche dei materiali e (ad es. conducibilità termica, resistenza termica…)	→	Dati di accompagnamento **MARCATURA CE** (ove disponibile) oppure UNI EN ISO 10456 UNI 10351 o UNI EN 1745
Resistenze termiche di murature e solai	→	Dati di accompagnamento **MARCATURA CE** (ove disponibile) oppure UNI 10355 o UNI EN 1745
Coefficienti superficiali di scambio termico e resistenze termiche delle intercapedini d'aria	→	Valori stabiliti da UNI EN ISO 6946

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, i valori dei parametri termici dei componenti edilizi di edifici esistenti possono essere determinati in funzione della tipologia edilizia e del periodo di costruzione (APPENDICI A e B), e in questo caso bisogna riportare l'origine dei dati nel rapporto finale di calcolo.

COMPONENTI TRASPARENTI

Finestre	→	UNI EN ISO 10077-1 o valore dichiarato dal fabbricante secondo UNI EN 14351-1
Facciate continue trasparenti	→	UNI EN 13947
Finestre verticali di dimensioni circa 1,20 m x 1,50 m, nell'ipotesi che l'area del telaio sia pari al 20% dell'area dell'intera finestra e che i distanziatori tra i vetri siano di tipo comune	→	La trasmittanza termica può essere ricavata da prospetto C3 della norma

In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, i valori di trasmittanza termica delle vetrate e dei telai possono essere ricavati rispettivamente dai prospetti C1 e C2 della norma.
Prospetti C1 e C2 della norma: forniscono valori di trasmittanza termica delle vetrate in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise.

SCAMBIO TERMICO		
Scambio termico per trasmissione attraverso ponti termici	→	UNI EN ISO 14683 o prospetto 4 per edifici esistenti in assenza di dati di progetto attendibili
Scambio termico vs ambienti non climatizzati	→	H_u =coef. Globale di scambio termico per trasmissione $H_u = H_{iu} \times b_{tr,x}$ o prospetto 5 per edifici esistenti in assenza di dati di progetto attendibili
Scambio termico vs il terreno	→	UNI EN ISO 13370 o per edifici esistenti in assenza di dati di progetto attendibili: $H_g = A \times U_f \times b_{tr,g}$ e prospetto 6
Extra flusso termico per radiazione infrarossa vs la volta celeste	→	UNI EN ISO 13790 punti 11.3.5 e 11.4.6

PER EDIFICI ESISTENTI: APPENDICI A e B

Raccogliere e analizzare i dati necessari presuppone la disponibilità e la reperibilità delle informazioni. Tuttavia, ciò non è sempre vero.

Ad esempio, per la valutazione di progetto e standard la norma prevede utili semplificazioni consentendo di svincolare la valutazione dalle reali condizioni di esercizio, per ricorrere invece all'impiego di dati in ingresso riferiti ad un'utenza convenzionale, definiti e tabulati dalla stessa norma.

Per tal motivo la norma contiene alcuni dati precalcolati, relativi ai componenti e ai sistemi.

Nelle **appendici A e B** vengono forniti valori di trasmittanza termica dei componenti opachi e le tipiche stratigrafie per le strutture murarie più diffuse.

I dati riportati sono utilizzabili **solo per valutazioni energetiche di edifici esistenti,** qualora non si possa effettuare una determinazione rigorosa di calcolo, sulla base di dati derivanti da ispezioni o da altre fonti più attendibili.

In pratica, in mancanza di informazioni precise sulle caratteristiche dei vari componenti dell'involucro e dell'impianto, come ad esempio per un palazzo storico del quale non è possibile valutare la trasmittanza termica se non si possiedono informazioni precise sulla stratigrafia, il calcolo può essere effettuato ricorrendo a questi dati precalcolati.

APPENDICI C e D

Nell'**appendice C** vengono fornite alcune indicazioni per la determinazione semplificata della trasmittanza termica dei componenti trasparenti.

L' **appendice D** fornisce i fattori di ombreggiatura per il calcolo del fattore di riduzione per ombreggiatura.

Il fabbisogno termico di riscaldamento e di raffrescamento, calcolato mediante la parte 1 della norma, diviene l'input per le successive parti che analizzano gli impianti e i loro rendimenti specifici consentendo di valutare il fabbisogno di energia primaria necessaria ad alimentare i sistemi che si occupano della generazione del caldo, del freddo e di acqua calda sanitaria (ACS).

UNI/TS 11300 - parte 3

UNI/TS 11300 - 3 Prestazioni energetiche degli edifici

Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva

La parte 3 consente di determinare:

- rendimenti e fabbisogni di energia dei sottosistemi dell'impianto di climatizzazione estiva;
- rendimento globale medio stagionale;
- fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione estiva.

Si applica ad impianti fissi di climatizzazione estiva con macchine frigorifere azionate elettricamente o ad assorbimento.

Si applica a sistemi di nuova progettazione, ristrutturati o esistenti:

- per il solo raffrescamento;
- per la climatizzazione estiva.

Permette di determinare la quantità di energia primaria richiesta per la climatizzazione estiva, che si basa sul valore del fabbisogno di energia termica utile (Qc,nd) dell'edificio calcolato in condizioni ideali (temperatura uniforme in tutto il volume climatizzato) **per la stagione estiva**.

Il calcolo, su base mensile esteso a tutta la stagione di raffrescamento, determina:

- Il coefficiente di prestazione medio mensile (ηmm) e stagionale (ηms) del sistema di produzione dell'energia frigorifera;
- Il fabbisogno di energia primaria necessaria per il raffrescamento dell'edificio (Qc,p), eventualmente maggiorata del fabbisogno di energia termica utile dovuto ai trattamenti dell'aria) in base al tipo e alle caratteristiche dell'impianto previsto o installato.

La metodologia di calcolo descritta nella presente specifica tecnica:

- include sia la valutazione delle perdite di distribuzione, regolazione ed emissione dell'impianto di climatizzazione estiva (rendimenti di distribuzione, regolazione ed emissione) sia gli eventuali risparmi dovuti a recuperi di calore, o altro;
- fa riferimento alla configurazione impiantistica adottata includendo nel calcolo anche il consumo energetico delle apparecchiature per la distribuzione dei fluidi termovettori (pompe e ventilatori) e l'eventuale presenza di altri accessori (post-riscaldatori elettrici, umidificatori, ventilatori per il ricambio igienico dell'aria, ecc.);
- valuta il fattore di carico per l'individuazione delle condizioni a carico parziale delle macchine in relazione al comportamento edificio-impianto.

Fabbisogno ideale di energia termica per raffrescamento (Qc,nd): Quantità di calore che deve essere sottratta ad un ambiente climatizzato per mantenere le condizioni di temperatura desiderate durante un dato periodo di tempo, riferito a condizioni di temperatura dell'aria uniformi in tutto l'ambiente climatizzato.

Fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva (Qc,p): Quantità annua di energia primaria effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per la climatizzazione estiva in condizioni climatiche e di uso di riferimento dell'edificio.

Fabbisogno effettivo di energia

termica dell'edificio per raffrescamento: Fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per raffrescamento, aumentato delle perdite di emissione, regolazione, distribuzione, accumulo e diminuito della quantità di energia recuperata.

Rendimento globale medio stagionale (ηglo): Rapporto tra fabbisogno di energia termica utile e il corrispondente fabbisogno di energia primaria durante la stagione di climatizzazione estiva.

Coefficiente di prestazione medio (ηm): Rapporto tra l'energia frigorifera fornita dalla macchina e l'energia necessaria per il suo funzionamento, valutati nell'ambito di un determinato periodo di tempo.

Coefficiente di prestazione energetica (EER): Coefficiente di prestazione di una macchina frigorifera in condizioni di riferimento.

Il calcolo si articola nelle seguenti fasi:

- determinazione del fabbisogno ideale di raffrescamento QC,nd secondo la UNI/TS 11300-1;
- calcolo delle perdite di emissione, regolazione, distribuzione ed accumulo dell'impianto, e calcolo dell'energia eventualmente recuperata;
- calcolo del fabbisogno per trattamento dell'aria QV;
- calcolo del fabbisogno di energia elettrica per ausiliari degli impianti di climatizzazione Qaux;
- calcolo del coefficiente di prestazione medio mensile ηmm delle macchine frigorifere, attraverso la valutazione dei dati prestazionali di riferimento forniti dai costruttori;
- calcolo del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva QC,P.

Il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva si calcola con la seguente formula:

$$Q_{C,P} = \left(\sum_K Q_{aux,k} + \frac{Q_{Cr,k}+Q_{v,k}}{\eta_{mm,k}} \right) f_{p,el} \quad [\text{kWh}]$$

dove:
Q_{aux} è il fabbisogno di energia elettrica per ausiliari degli impianti di climatizzazione [kWh];
Q_{cr} è il fabbisogno effettivo per raffrescamento [kWh];
Q_v è il fabbisogno per trattamenti dell'aria [kWh];
η_{mm} è il coefficiente di prestazione medio mensile del sistema di produzione dell'energia frigorifera;
$f_{p,el}$ è il fattore di conversione da energia elettrica ad energia primaria, determinato secondo la UNI/TS 11300-2;
k è il mese k-esimo della stagione di climatizzazione estiva, (determinata secondo il punto 10 della UNI/TS 11300-1).

Il consumo specifico dell'edificio per climatizzazione estiva [kWh/(m2 anno)], si ottiene dal rapporto tra fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva QC,P e la superficie dell'edificio considerato.

Il **rendimento globale medio stagionale** del sistema edificio-impianto è quindi determinato da:

$$\eta_{glo} = \frac{\sum_k (Q_{C,nd,k} + Q_{v,k})}{Q_{C,P}}$$

dove:
$Q_{C,nd}$ è il fabbisogno ideale per raffrescamento [kWh];
Q_v è il fabbisogno per trattamenti dell'aria [kWh];
$Q_{c,P}$ è il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva [KWh] sopra definito.

Per determinare il fabbisogno effettivo per raffrescamento si applica la seguente formula per ogni mese della stagione di climatizzazione estiva:

$$Q_{Cr,k} = Q_{C,nd,k} + Q_{l,e,k} + Q_{l,rg,k} + Q_{l,d,k} + Q_{l,d,s,k} - Q_{rr,k} \quad [\text{kWh}]$$

dove per il mese k-esimo:
$Q_{C,nd,k}$ è il fabbisogno ideale dell'edificio [kWh];
$Q_{l,e,k}$ sono le perdite totali di emissione [kWh];
$Q_{l,rg,k}$ sono le perdite totali di regolazione [kWh];
$Q_{l,d,k}$ sono le perdite totali di distribuzione [kWh];
$Q_{l,d,s,k}$ sono le perdite totali dei serbatoi di accumulo inerziale [kWh];
$Q_{rr,k}$ è l'energia termica recuperata [kWh].

Il fabbisogno ideale per raffrescamento viene determinato secondo la procedura di calcolo descritta nel punto 5.1 della UNI/TS 11300-1:2008, con particolare riferimento alla formula (2) della stessa.

Qualora sia presente un'unità di trattamento dell'aria, nella suddetta formula il valore di QC,ve deve essere posto uguale a zero.

Qualora sia presente un impianto di ventilazione meccanica il fabbisogno di energia termica dell'edificio per climatizzazione estiva è dato dalla somma di fabbisogno effettivo per raffrescamento QCr e dal fabbisogno di energia termica per trattamento dell'aria QV.

In merito agli altri termini che compaiono nell'equazione citata per determinare il fabbisogno effettivo per il raffrescamento, la norma specifica le procedure e le formule per calcolare le perdite di emissione, di regolazione, di distribuzione, di distribuzione nelle canalizzazioni, nelle tubazioni, di accumulo, energia termica recuperata, il fabbisogno di energia termica per trattamenti d'aria qualora sia presente un impianto di ventilazione meccanica, fabbisogno di energia elettrica per gli ausiliari (in riferimento al sottosistema di emissione, di distribuzione, di produzione.

La metodologia di calcolo descritta nella presente specifica tecnica:

- include sia la valutazione delle perdite di distribuzione, regolazione ed emissione dell'impianto di climatizzazione estiva (rendimenti di distribuzione, regolazione ed emissione) sia gli eventuali risparmi dovuti a recuperi di calore, o altro;
- fa riferimento alla configurazione impiantistica adottata includendo nel calcolo anche il consumo energetico delle apparecchiature per la distribuzione dei fluidi termovettori (pompe e ventilatori) e l'eventuale presenza di altri accessori (post-riscaldatori elettrici, umidificatori, ventilatori per il ricambio igienico dell'aria, ecc.);
- valuta il fattore di carico per l'individuazione delle condizioni a carico parziale delle macchine in relazione al comportamento edificio-impianto.

Per correttezza di informazioni si specifica che la prima versione della parte 3 della specifica tecnica, pubblicata a marzo 2010 e appena sintetizzata, è attualmente in fase di revisione presso i tavoli tecnici di competenza (CTI).

Strumenti di calcolo applicativi commerciali

Gli strumenti di calcolo applicativi delle metodologie per il calcolo

delle prestazioni energetiche degli edifici secondo le UNI TS 11300 e i software commerciali devono garantire uno scostamento massimo di più o meno il 5% rispetto ai corrispondenti parametri determinati con l'applicazione dello strumento nazionale di riferimento predisposto dal Comitato termotecnico italiano (CTI).

Il CTI, ai sensi del D.Lgs 115 del 30 maggio 2008 e come ribadito nell'art. 7 del DPR 59/09, è stato infatti incaricato di verificare la conformità dei programmi commerciali fornendo una dichiarazione di validazione.

Visionando il sito del CTI, è possibile conoscere tutti i Software ufficialmente abilitati e certificati (link: http://www.cti2000.it/index.php?controller=sezioni&action=show&subid=34).

LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA PER L'ESTIVO

capitolo 8

Le linee guida nazionali e la valutazione qualitativa estiva

In data 10 luglio 2009 è stato pubblicato in Gazzetta Ufficiale il decreto ministeriale 26/06/09 contenente le "linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici" (G.U. n. 158).

Nell'attestato di certificazione energetica degli edifici deve essere indicata la qualità dell'involucro edilizio nei confronti del contenimento del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva.

La classificazione della qualità estiva dell'involucro avviene secondo lo schema in figura:

Qualità involucro (raffrescamento)	I	II	III	IV	V

Vi sono due alternative alla valutazione della classe della qualità dell'involucro:

1) Calcolo completo del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva dell'involucro in accordo con i metodi di calcolo delle norme UNI TS 11300 o del metodo Docet (strumento semplificato di simulazione a bilanci mensili degli edifici residenziali esistenti e per gli appartamenti):

$EP_{e,invol}$	Prestazioni	Qualità prestazionale
$EP_{e,invol} < 10$	ottime	I
$10 \le EP_{e,invol} < 20$	buone	II
$20 \le EP_{e,invol} < 30$	medie	III
$30 \le EP_{e,invol} < 40$	sufficienti	IV
$EP_{e,invol} \ge 20$	mediocri	V

2) Metodo basato su valutazione parametri qualitativi, ovvero delle caratteristiche dinamiche delle strutture dell'edificio: sfasamento e attenuazione.

Sfasamento (ore)	Attenuazione	Prestazioni	Qualità prestazionale
$S > 12$	$f_a < 0{,}15$	ottime	I
$12 \ge S > 10$	$0{,}15 \le f_a < 0{,}30$	buone	II
$10 \ge S > 8$	$0{,}30 \le f_a < 0{,}40$	medie	III
$8 \ge S > 6$	$0{,}40 \le f_a < 0{,}60$	sufficienti	IV
$S \le 6$	$f_a \ge 0{,}6$	mediocri	V

Indicare la qualità dell'involucro edilizio nei confronti del contenimento del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva nella certificazione energetica è obbligatorio per tutti gli edifici di nuova costruzione. Per gli edifici esistenti l'indicazione è facoltativa se l'unità immobiliare ha una superficie utile Su < 200 m² e i calcoli del fabbisogno energetico primario vengono realizzati con procedura semplificata; in tal caso l'edificio viene classificato di livello V.

Per le pareti opache verticali con limite di legge Yie = 0.12 [W/m²K] la valutazione del Legislatore è generalmente superiore al livello III (prestazioni medie). Rispettare il limite imposto per le coperture Yie = 0.20 [W/m²K] invece può portare le strutture ad essere valutate come mediocri, ovvero di livello V.

SOLUZIONI CON L'EPS E PROGRAMMI DI CALCOLO AIPE

capitolo 9

DENER - Programma di calcolo AIPE

CALCOLO DEI PARAMETRI TERMICI DINAMICI DEI COMPONENTI EDILIZI

EN ISO 13786:2007

Prestazione termica dei componenti per edilizia. Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo

DATI IN INGRESSO

- Tipo di componente (chiusura verticale, chiusura orizzontale inferiore ..)
- Spessore s
- Massa volumica ρ
- Calore specifico Cp
- Conducibilità termica λ
  o Resistenza termica R

} per ogni strato del componente

- TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA
- FATTORE DI ATTENUAZIONE
- SFASAMENTO

AIPE

INSERIMENTO DATI

Tipo di componente	Chiusura verticale

Stratigrafia (int-est)		s [cm]	ρ [kg/m³]	c [J/kg°C]	λ [W/m°C]	R [m²°C/W]	opz λ→R
Strato liminare interno						0,13	
I	intonaco interno	1,5	1800	910	0,900		
II	laterizio interno	12,0	800	840	0,230		
III	EPS	8,0	20	1450	0,033		
IV	laterizio esterno	8,0	800	840	0,180		
V	intonaco esterno	2,0	1800	910	0,900		
VI							
VII							
VIII							
IX							
X							
Strato liminare esterno						0,04	

RISULTATI

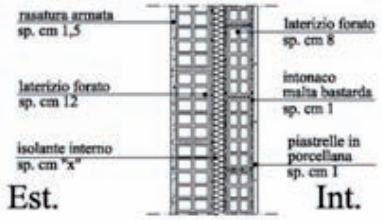
Parametro	Modulo	Sfasamento
Ammettenza termica interna (Y_{ii})	3,484 W/(m²K)	2,48 h
Ammettenza termica esterna (Y_{ee})	4,664 W/(m²K)	3,92 h
Trasmittanza termica periodica (Y_{ie})	0,096 W/(m²K)	-10,13 h
Capacità termica areica interna (κ_i)	49,2 kJ/(m²K)	
Capacità termica areica esterna (κ_e)	65,3 kJ/(m²K)	
Resistenza termica (R)	3,599 (m²K)/W	
Trasmittanza termica (U)	0,278 W/(m²K)	
Fattore di attenuazione (f)	0,346	

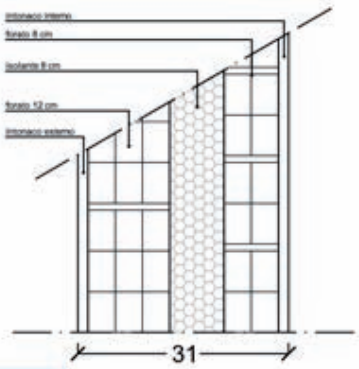
Spessore (s)	31,5 cm	
Massa superficiale (m)	225 kg/m²	
Sfasamento (φ)	10,13 h	

PARETI VERTICALI PER STRUTTURA PORTANTE

PRESTAZIONI ESTIVE. L' EPS E IL COMFORT ESTIVO AIPE

PARETE DOPPIA - ISOLAMENTO IN INTERCAPEDINE



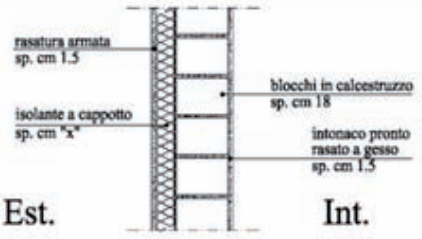


U = 0,28 W/m²K
Y_{IE} = 0,096 W/m²K
Sfasamento = 10,13 h
Fattore di attenuazione = 0,35
Massa superficiale = 225 Kg/m²

PRESTAZIONI ESTIVE. L' EPS E IL COMFORT ESTIVO AIPE

ISOLAMENTO A CAPPOTTO

	stratigrafia	spessore (cm)
E	intonaco per K8	1
	EPS	10
	Laterizio per esterno	20
I	intonaco interno	1,5

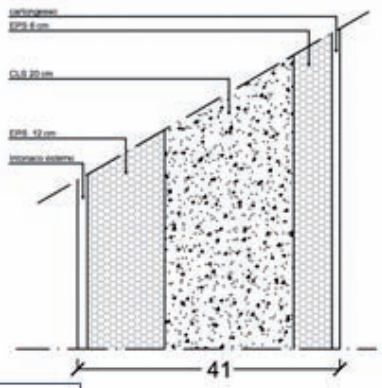


U = 0,25 W/m²K
Y_{IE} = 0,05 W/m²K
Sfasamento = 10 h
Fattore di attenuazione: 0,20
Massa superficiale = 197 Kg/m²
Spessore tot 33 cm

PRESTAZIONI ESTIVE. L' EPS E IL COMFORT ESTIVO — AIPE

esempio sistema costruttivo
ad armatura diffusa (SAAD):
PARETE VERTICALE PER STRUTTURA PORTANTE:
Impiego di elementi-cassero con moduli a incastro di piccole dimensioni

	stratigrafia	Spessore (cm)
E	Intonaco esterno	1,5
	EPS	12
	CLS	20
	EPS	6
I	cartongesso	1,2

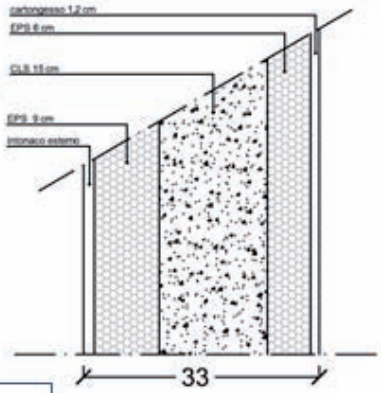


U = 0,17 W/m²K
Y_{IE} = 0,003 W/m²K
Sfasamento = 13,57 h
Fattore di attenuazione = 0,019
Massa superficiale = 460 Kg/m²

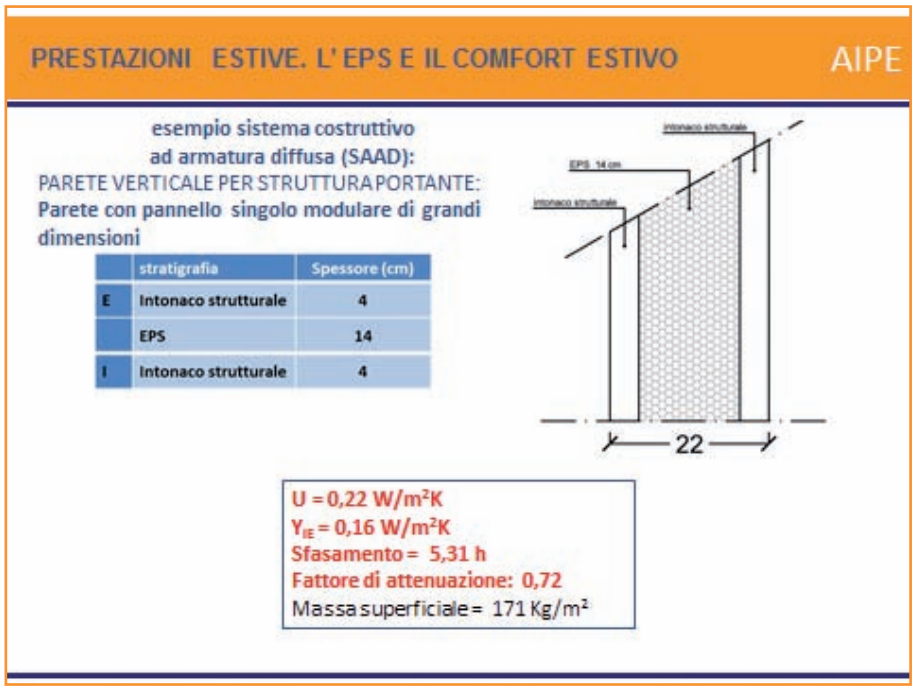
PRESTAZIONI ESTIVE. L' EPS E IL COMFORT ESTIVO — AIPE

esempio sistema costruttivo
ad armatura diffusa (SAAD):
PARETE VERTICALE PER STRUTTURA PORTANTE:
Impiego di elementi-cassero con moduli a incastro di piccole dimensioni

	stratigrafia	Spessore (cm)
E	Intonaco esterno	1,5
	EPS	9
	CLS	15
	EPS	6
I	cartongesso	1,2



U = 0,20 W/m²K
Y_{IE} = 0,007 W/m²K
Sfasamento = 10,91 h
Fattore di attenuazione = 0,036
Massa superficiale = 355 Kg/m²



Nota

La verifica termo-igrometrica non tiene conto della struttura tridimensionale di acciaio (galvanizzato) che completa il sistema considerato.

Per una valutazione completa delle prestazioni si rimanda alla documentazione specifica dei sistemi costruttivi esistenti sul mercato.

Esempi per STRUTTURE ORIZZONTALI: SOLAI, TETTI E COPERTURE

PRESTAZIONI ESTIVE. L'EPS E IL COMFORT ESTIVO — AIPE

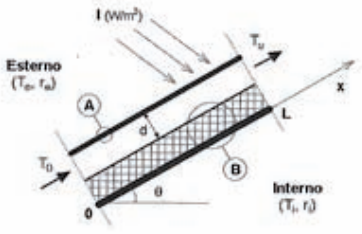
Sulla base della tradizione costruttiva delle aree geografiche del nostro Paese, sono state analizzate alcune delle stratigrafie più rappresentative:

Campione	Interno — Esempi di strutture analizzate per COPERTURE — Esterno	M Kg/m²	U W/m²K	Yie W/m²K
1	Lamiera grecata 10/10 – **10 cm EPS 25 Kg/m³** - Lamiera grecata 10/10	13	0.325	0.323
2	Lamiera grecata 10/10 – **16 cm EPS 25 Kg/m3** - Lamiera grecata 10/10	15	0.206	0.200
3	Cartongesso 2 cm – **14 cm EPS 25 Kg/m3** - intercapedine 5 cm - Lamiera grecata 10/10	27	0.198	0.192
4	Cartongesso 2 cm – **16 cm EPS 25 Kg/m3** - Lamiera grecata 10/10	37	0.18	0.172
5	Legno 2,5 cm - **13 cm EPS 25 Kg/m3** - intercapedine 5cm – legno 2,5cm - manto impermeabile	45	0.224	0.182
6	Intonaco – laterizio 24 cm - **5 cm EPS 25 Kg/m3** – rivestimento esterno	199	0.501	0.079
7	Intonaco – laterizio 24 cm - **10 cm EPS 25 Kg/m3** – rivestimento esterno	200	0.288	0.041
8	Intonaco – laterizio 24 cm - **10 cm EPS 25 Kg/m3** – film protettivo – tegola marsigliese	227	0.277	0.039

Le verifiche progettuali sono state eseguite utilizzando i programmi di calcolo AIPE, realizzati con il contributo del Politecnico di Torino- DENER (Prof. Vincenzo Corrado), basandosi sulla norma UNI EN ISO 13786 per la determinazione dei parametri termodinamici dei componenti per l'edilizia

PRESTAZIONI ESTIVE. L'EPS E IL COMFORT ESTIVO — AIPE

Copertura ventilata



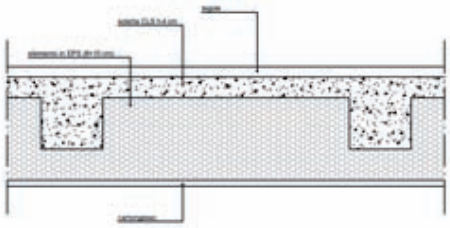
	stratigrafia	spessore (cm)
E	Legno OSB	2
	EPS	15
	Legno OSB	2
	Intercapedine ventilata	10
I	Manto di copertura	1,3

U = 0,18 W/m²K
Y_{IE} = 0,12 W/m²K
Sfasamento= 5,7 h
Fattore di attenuazione = 0,66
Massa superficiale = 53 Kg/m²
Spessore tot 30 cm

→ Strato di microventilazione sottotegola (s< 5cm): elementi isolanti sagomati in EPS che svolgono anche la funzione di strato di supporto

PRESTAZIONI ESTIVE. L' EPS E IL COMFORT ESTIVO AIPE

esempio sistema costruttivo
ad armatura diffusa (SAAD):
Copertura



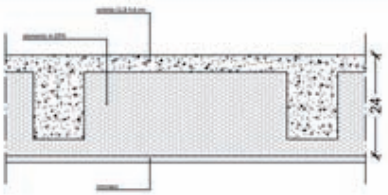
	stratigrafia	Spessore (cm)
E	Tegole	2
	Soletta CLS	4
	elemento EPS (spessore totale: 6+10=16)	16
I	cartongesso	1,5

→

U = 0,21 W/m²K
Y_{IE} = 0,18 W/m²K
Sfasamento = 4 h
Massa superficiale = 150 Kg/m²
Spessore tot 24 cm

PRESTAZIONI ESTIVE. L' EPS E IL COMFORT ESTIVO AIPE

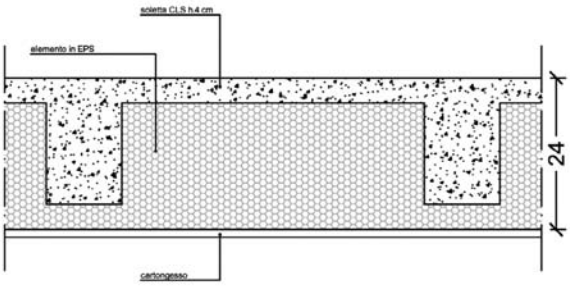
SOLAI
solaio H 24 con elementi di alleggerimento in EPS e finitura dell'intradosso con intonaco



stratigrafia	Spessore (cm)
Soletta CLS	4
Elemento in EPS (spessore totale: 4+16=20)	20
intonaco	1,5

U = 0,16 W/m²K
Y_{IE} = 0, 11 W/m²K
Sfasamento = 6 h
Massa superficiale = 115 Kg/m²

Soluzione 3.S: solaio H 24 con elementi di alleggerimento in EPS e finitura dell'intradosso con cartongesso



Stratigrafia	Spessore (cm)
Soletta CLS	4
Elemento in EPS (spessore totale: 4+16=20)	20
Cartongesso	1,5

- U = 0,16 W/m^{2}K
- YIE = 0,11W/m^{2}K
- Sfasamento = 5 h
- Massa superficiale = 102 Kg/m^2
- Verifica condensa superficiale: OK
- Verifica condensa interstiziale: OK

Nota:

Lo spessore degli elementi isolanti di EPS non è costante lungo tutta la sezione del solaio.

La conformazione geometrica del solaio presenta sezioni differenti a seconda che si consideri:

- l'intero elemento con funzione di isolamento termico e di alleggerimento del solaio,
- l'aletta laterale dell'elemento in EPS in cui trovano alloggiamento i travetti strutturali del solaio.

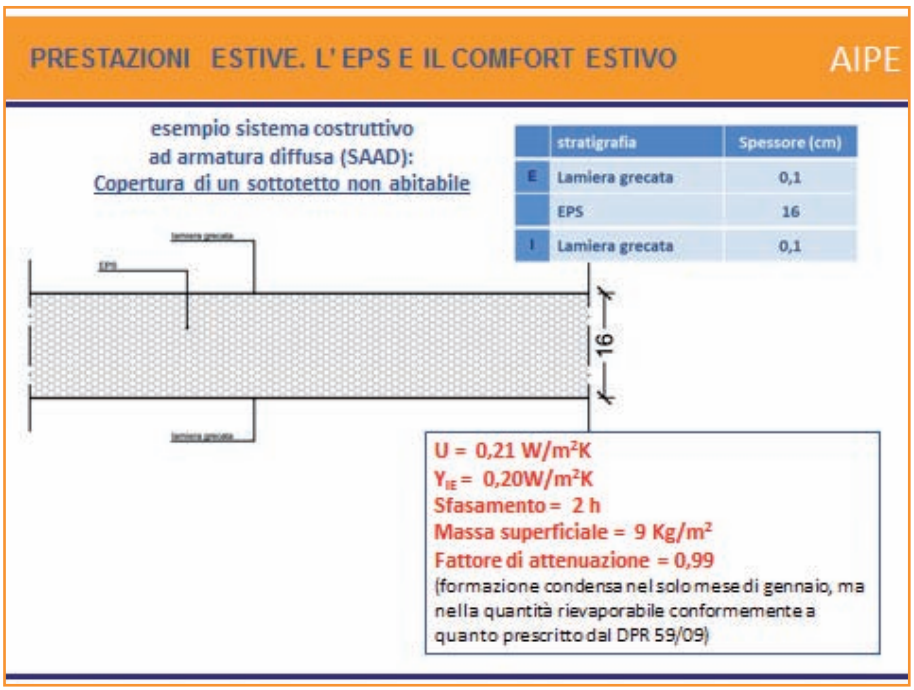
Analisi stratigrafia in corrispondenza dell'aletta di coibentazione (6 cm) in cui sono alloggiati i travetti strutturali annegati nel getto di CLS superiore:

Stratigrafia	Spessore (cm)
Soletta CLS (4+14)	18
Aletta elemento EPS	6
Cartongesso	1,5

- U = 0,49 W/m^{2}K
- Y_{IE} = 0,18 W/m^{2}K
- Sfasamento = 6,8 h
- Massa superficiale = 429 Kg/m^2
- Verifica condensa superficiale: OK
- Verifica condensa interstiziale: formazione nei mesi invernali, ma nella quantità rievaporabile conformemente a quanto prescritto dal DPR 59/09

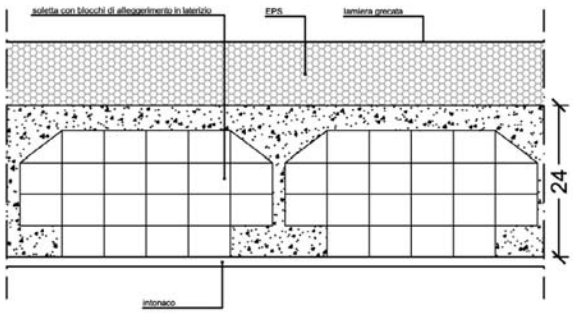
Nella sezione in cui lo spessore dell'isolante è ridotto per motivi strutturali (esigenze statiche del solaio), il rivestimento all'intradosso del solaio deve presentare una permeabilità al vapore bassa al fine di evitare la formazione di condensa interstiziale.

Una soluzione è rappresentata dall'applicazione di un'apposita finitura superficiale in corrispondenza dei passi dei travetti prima di realizzare lo strato di finitura finale.



COPERTURA SU SOTTOTETTO ABITABILE (MANSARDA):

Soluzione 3.C

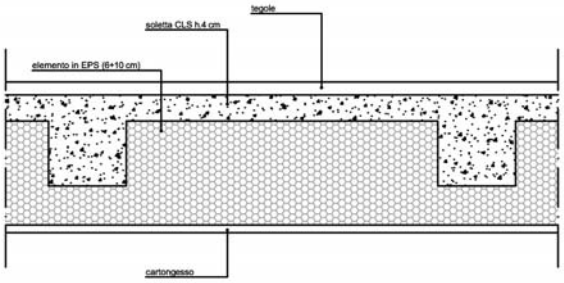


	Stratigrafia	Spessore (cm)
E	Lamiera grecata	0,1
	EPS	10
	Soletta con blocchi di alleggerimento in laterizio	24
I	Intonaco interno	1,5

- U = 0,29 W/m²K
- Y_{IE} = 0,026 W/m²K
- Sfasamento = 11,79 h
- Massa superficiale = 424 Kg/m²
- Verifica condensa superficiale: OK
- Verifica condensa interstiziale: formazione nei mesi invernali, ma nella quantità rievaporabile conformemente a quanto prescritto dal DPR 59/09

Potere fonoisolante: > dB
Resistenza al fuoco:

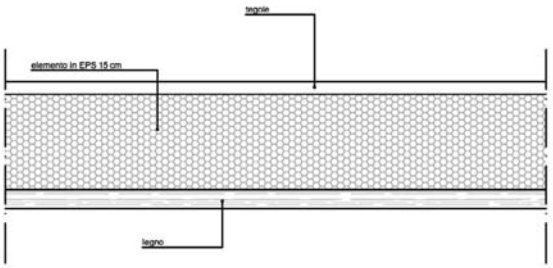
Soluzione 4.C



	Stratigrafia	Spessore (cm)
E	Tegole	2
	Soletta CLS	4
	Elemento EPS (spessore totale: 6+10=16)	16
I	Cartongesso	1,5

- U = 0,21 W/m²K
- YIE = 0,18W/m²K
- Sfasamento = 3,6 h
- Massa superficiale = 151 Kg/m²
- Verifica condensa superficiale: OK
- Verifica condensa interstiziale: OK
- Potere fonoisolante > dB
- Resistenza al fuoco:

Soluzione 5.C



	Stratigrafia	Spessore (cm)
E	Tegole	2
	EPS	15
I	legno	3

- U = 0,22 W/m^{2}K
- YIE = 0,19W/m^{2}K
- Sfasamento = 3,3 h
- Massa superficiale = 63 Kg/m^2
- Verifica condensa superficiale: OK
- Verifica condensa interstiziale: OK

Note:

Le verifiche sono state realizzate utilizzando i programmi di calcolo AIPE che sono resi disponibili gratuitamente dall'Associazione AIPE su richiesta.

- **CALCOLO DEI PARAMETRI TERMICI DINAMICI DEI COMPONENTI EDILIZI** (Metodo basato su EN ISO 13786)
- **PRESTAZIONE IGROMETRICA DEI COMPONENTI EDILIZI** (Metodo basato su UNI EN ISO 13788.

I valori necessari per la verifica termo-igrometrica, caratteristici per i materiali-componenti delle diverse stratigrafie, sono stati dedotti dalla UNI EN ISO 10456 o da dati di bibliografia.

Per la verifica igrometrica si è considerata come zona di riferimento **BOLOGNA (zona climatica E - GG 2.404 - Valore medio mensile irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione I = 296 W/m^2).**

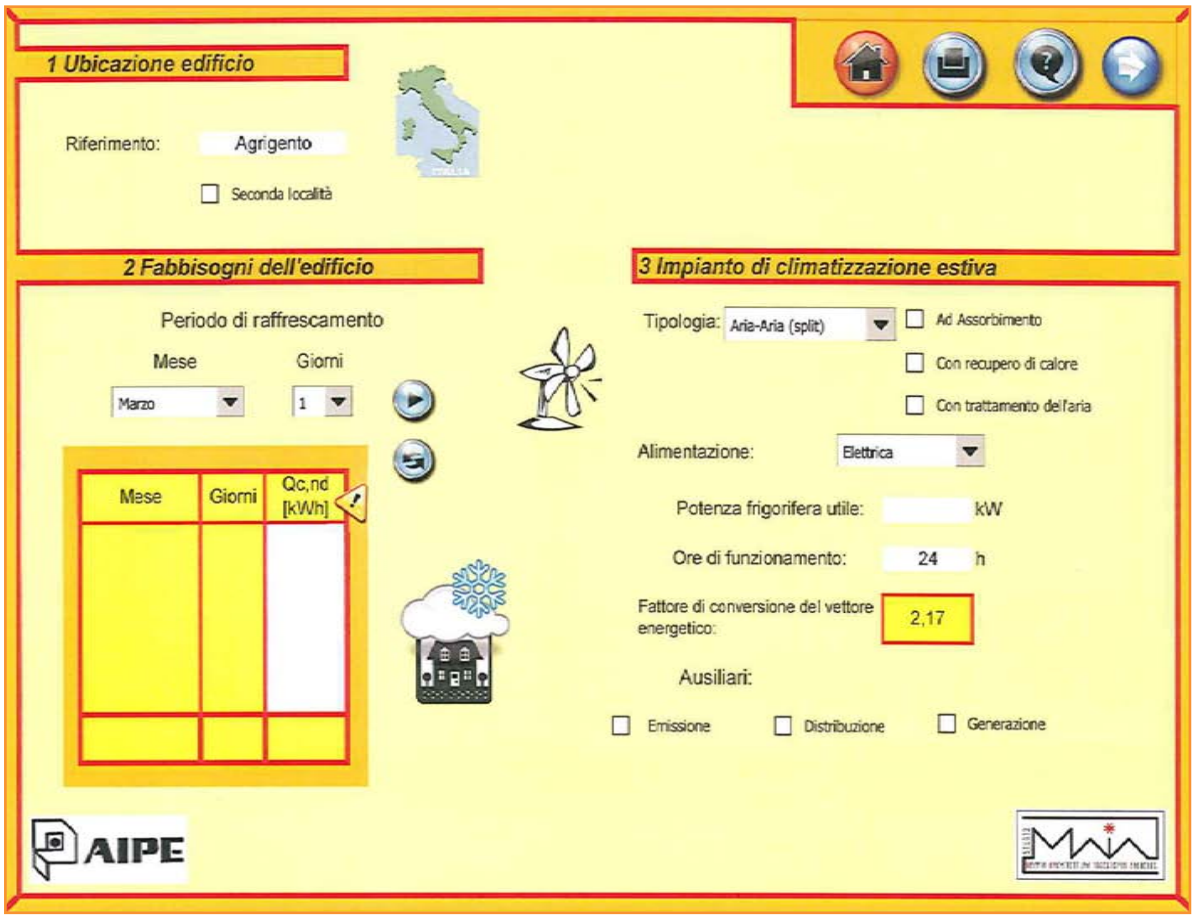
Programma di calcolo AIPE "EPS SUMMER"

Per quantificare l'energia consumata nel periodo estivo da un edificio, AIPE ha sviluppato uno specifico programma di calcolo, "EPS SUMMER", realizzato dallo studio MAYA di Torino.

Il software applicativo consente di effettuare il calcolo del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione estiva (Qcp) nonché il rendimento globale medio stagionale (ηglob), secondo la metodologia indicata nella UNI TS 11300-3.

L'interfaccia per l'inserimento dei dati in ingresso è in gran parte guidata attraverso menù a tendina e/o moduli di calcolo ad hoc per facilitarne l'utilizzo che richiede tuttavia conoscenze tecniche e normative di base per poter operare le scelte corrette tra le diverse opzioni ed interpretare i risultati.

Per completezza, il programma di calcolo "EPS Summer" si aggiunge agli altri due programmi sviluppati sempre da Aipe, "Verifica termoigrometrica" e "Calcolo per parametri termici in condizioni dinamiche dei componenti edilizi", quest'ultimo analizzato e presentato nelle pagine precedenti.



L'INFLUENZA DEL COLORE DELLE PARETI sul comportamento estivo degli edifici

10 capitolo

In riferimento alle dispersioni attraverso l'involucro esterno vale la pena considerare anche l'**effetto colore**.

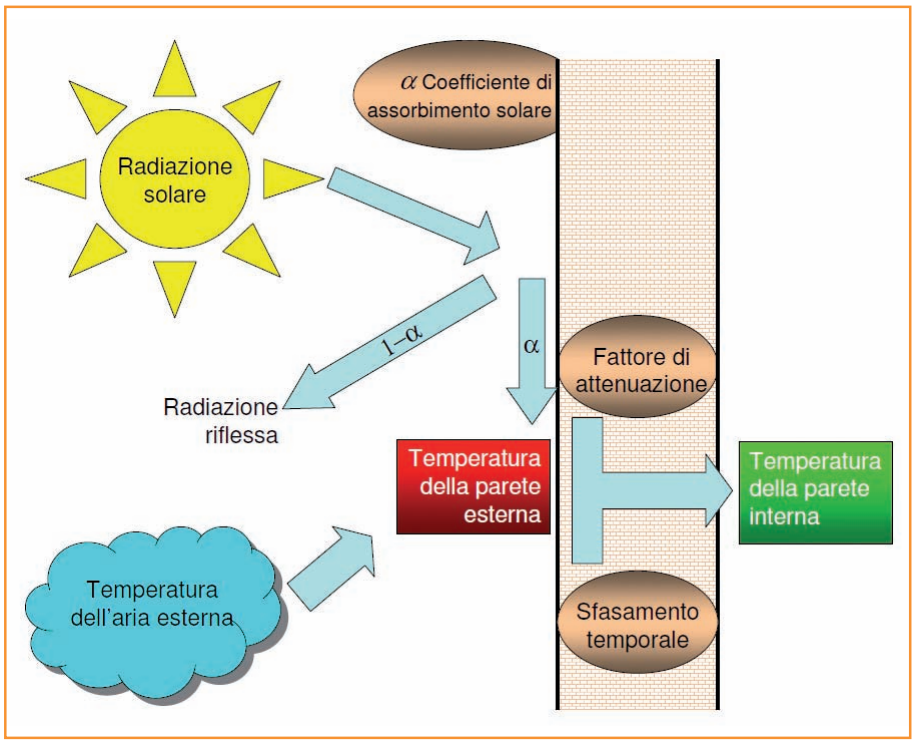
La radiazione incidente sulle pareti esterne dell'edificio viene in parte riflessa ed in parte assorbita e quindi trasmessa all'interno.

Nel caso in questione il fenomeno fisico risulta sostanzialmente legato più al colore della superficie che al tipo di superficie.

È ovvio che le superfici più chiare riflettono una quantità di energia superiore rispetto a quelle più scure e quindi assorbono meno l'irraggiamento solare.

In linea generale un componente opaco esterno di colore chiaro assorbe solo il 30% dell'irradiazione solare che contribuirà al surriscaldamento dell'ambiente interno e questa riduzione della trasmissione di calore non è certo secondaria, tanto più che tale effetto non si degrada nel tempo e non ha bisogno di energia per funzionare.

L'analisi energetica in condizioni estive non può prescindere dalla valutazione delle caratteristiche termiche dinamiche, che risultano parte integrante nello studio del comportamento dei componenti opachi sulle prestazioni energetiche.



La norma UNI 10375 permette di calcolare in regime non stazionario la temperatura interna degli ambienti durante il periodo estivo in assenza di impianto di climatizzazione.

La procedura di calcolo, basata sul metodo delle ammettenze, porta alla scrittura del carico termico dell'ambiente in cui compare il flusso di calore che attraversa un componente opaco $\phi_{op,t}$ all'ora t.

L'equazione che regola il flusso termico (in W) in regime variabile all'interno degli ambienti attraverso le superfici opache dell'involucro all'ora t $\phi_{op,t}$ è riportata nella UNI 10375:

$$\phi_{op,t} = U \cdot A[(\vartheta_{e,t-\phi a} - \vartheta_{em}) \cdot f_a + \vartheta_{em}]$$

dove:
U [W/m^{2}K]: trasmittanza termica della parete;
A [m^2]: area della parete;
$\vartheta_{e,t-\phi a}$ [K]: temperatura superficiale esterna calcolata all'ora (t-ϕa);
ϕa [h]: fattore di sfasamento dell'onda termica;
$\vartheta_{e,m}$ [K]: temperatura dell'aria esterna media giornaliera [K];
f_a: fattore di attenuazione del flusso termico [adimensionale];
t[h]: ora in cui viene valutato il flusso termico.

La temperatura esterna $\vartheta_{e,t}$ detta anche "sol-air temperature", rappresenta la temperatura superficiale al di sotto dello strato liminare d'aria dovuta all'effetto combinato della temperatura dell'aria esterna e dell'irraggiamento solare. Il suo valore è dato dalla:

$$\vartheta_{e,t} = \vartheta_{ae,t} + \alpha \frac{I_t}{h_e}$$

dove:
$\vartheta_{ea,t}$ [°C]: temperatura dell'aria esterna all'ora t;
α: coefficiente di assorbimento della radiazione solare incidente sulla superficie esterna;
I_t [W/m^2]: irradianza solare incidente sulla superficie esterna della parete considerata, all'ora t;
he [W/m^{2}K] coefficiente superficiale di scambio termico esterno.

Nella formula compare il coefficiente α che dipende dal colore della superficie irraggiata, che può essere tabulato nel seguente modo:

Colore della superficie esterna	Coefficiente di assorbimento α [-]
Chiaro	0,3
Medio	0,6
Scuro	0,9

Al fine di evidenziare meglio l'influenza del coefficiente α e quindi del colore della parete si considera la parete avente la stratigrafia riportata in Tabella 1 (la stratigrafia evidentemente non influisce sulla temperatura dell'aria ne su quella superficiale, tuttavia è necessaria per il calcolo di U, wa, fa che compaiono nella (1) per ottenere Fop,t) con esposizione a sud assumendo i valori di irraggiamento solare (It) e temperatura media dell'aria esterna (q ae,t) tipici di Brescia nel mese di giugno alle ore 12.

I valori di q e,t e di Fop,t in funzione di α sono riportati in Tabella 2.

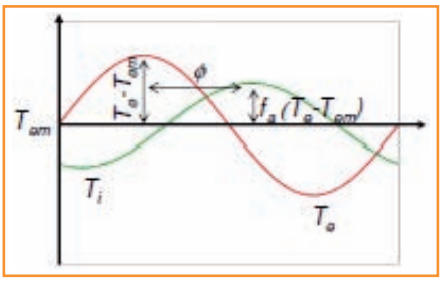


Tabella 1 · *Stratigrafia parete*

	Materiale	Spessore [cm]	λ [W/mK]	Massa superficiale [Kg/m²]	Cs [J/Kg K]
I	Intonaco in calce	1,5	0,7	36	0,2
	Laterizio alveolato	30	0,94	2	0,2
	EPS	8	0,039	208	1450
E	Intonaco cemento sabbia calce per esterno	2	0,9	27	0,2

Tabella 2 · *Valori di $\vartheta_{e,t}$ e ϕ_{aps} al variare del coefficiente di assorbimento α*

α	α I_l/h_e [°C]	$\vartheta_{e,t}$ [°C]	Δ rispetto ad α = 0,3 [%]	ϕ_{aps} [W]	Δ rispetto ad α = 0,3 [%]
0,3	11,19	29,59	-	6,289	-
0,6	22,39	40,79	37,8	6,837	8,7
0,9	33,58	51,98	75,6	7,387	17,4

Dall'esempio riportato si evince come la temperatura superficiale esterna e il flusso di calore subiscano significativi incrementi al crescere del coefficiente α assumendo quindi un ruolo non trascurabile nell'ambito del calcolo della temperatura interna estiva di un edificio.

La norma UNI 10375 , tuttavia, non fornisce nessuna indicazione in merito un criterio oggettivo sulla sua scelta, lasciando al giudizio soggettivo ed arbitrario del progettista il decretare se un colore sia chiaro, medio o scuro.

Esistono in letteratura alcuni studi che individuano un possibile criterio per correlare il valore di assorbanza a riferito a pareti verticali opache, alle scale di colori presenti in ambito commerciale.

La classificazione dei colori può essere effettuata attraverso differenti scale che vengono individuate a seconda del campo in cui si opera.

In ambito civile, per la tinteggiatura di pareti intonacate, i colori vengono prevalentemente individuati o comunque si possono ricondurre al sistema NCS (Natural Colour System).

Conclusioni

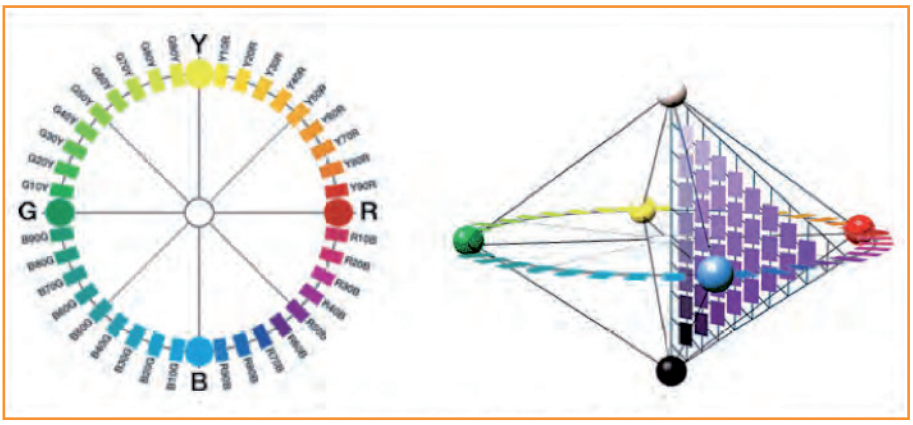
Considerando il sistema NCS, è quindi possibile determinare un'oggettiva correlazione tra il coefficiente di assorbanza a e i colori chiari, medi e scuri individuati con il citato sistema.

In particolare prevalgono i colori scuri, seguiti da quelli medi, mentre i colori chiari rappresentano la minoranza.

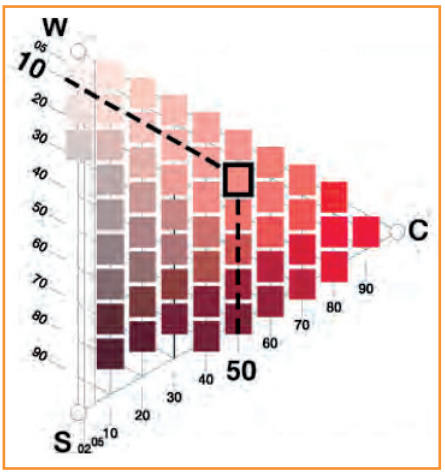
L'utilizzo dello schema in Fig. 8 è molto semplice: è sufficiente individuare in quale punto del triangolo ricade il colore d'interesse ed assegnare con sicurezza il valore di a in modo oggettivo.

Nel caso il colore in esame dovesse essere caratterizzato da un valore in corrispondenza delle linee di confine tra le tre zone, si considera il valore *a* più alto.

Cerchio e solido cromatico NCS



Un triangolo estratto dal solido dei colori NCS



SISTEMI SCHERMANTI
Il ruolo delle schermature solari

capitolo 11

Il nuovo ruolo delle schermature solari

Come raggiungere un buon voto in pagella per il condizionamento estivo?

A parte la scelta di un impianto efficiente, la soluzione principale consiste nel limitare l'entrata del "caldo estivo". Mentre per il condizionamento invernale hanno una cruciale importanza le coibentazioni di muri, pavimenti e soffitti, in quello estivo il principale punto debole è rappresentato dalle finestre, soprattutto quelle sottoposte a forti irraggiamenti perché esposte a sud, o comunque sud-ovest.

Il D.P.R. 59/2009, perciò, ha dettato precise prescrizioni, valide per tutti gli edifici esistenti, comprese quindi anche le residenza, con espressa eccezione solo di quelli artigianali, industriali e adibiti ad attività sportive.

È un passo avanti sulla strada che valuta il risparmio energetico non solo sotto il profilo della riduzione dei consumi nel riscaldamento invernale, ma anche sotto quello del taglio dei costi del condizionamento estivo.

Il D.P.R. traccia due tipi di opere coinvolte nella nuova prescrizione. Al comma 19 dell'art. 4 afferma che "è resa obbligatoria la presenza di sistemi schermanti esterna" in quattro casi:

- nuove costruzioni,
- ristrutturazioni integrali o demolizioni e ricostruzioni di edifici con Su > 1000 m^2,
- ampliamenti volumetrici superiori al 20%,
- ristrutturazioni totali dell'involucro edilizio

Occorre innanzitutto chiarire i termini.

I "sistemi schermanti" sono dispositivi mobili, che si estendono o si chiudono "a pacchetto" o ad avvolgimento, autonomi dalla vetrata, in genere costituiti da lame in materiale plastico o alluminio, di legno o in tessuto per esterno. Forse i più diffusi nell'immaginario collettivo sono le tende che sovrastano a pensilina le vetrine dei negozi e vengono in genere chiusi durante la notte.

Le schermature solari, possono, a seconda dei casi, essere aperte o chiuse manualmente, oppure tramite un motore o, infine, essere collegate a sensori che permettono la loro regolazione automatica a seconda dell'irraggiamento solare.

Il D.P.R. inoltre, al comma 20, dà la possibilità di scegliere tra sistemi schermanti (non necessariamente esterni) oppure sistemi filtranti, cioè pellicole da applicare sui vetri, in altri tre casi:

- ristrutturazioni parziali o manutenzione straordinaria dell'involucro edilizio,
- ampliamenti volumetrici < 20%,
- nuova installazione di impianti

termici in edifici esistenti o ristrutturazione degli stessi impianti.

I sistemi filtranti sono film autoadesivi di materiale polimerico che possono modificare la trasmissione dell'energia solare, quella di ultravioletti, infrarossi e luce visibile. Si possono incollare e scollare sui vetri liberamente. I più conosciuti sono quelli a "specchio" applicati sui grandi edifici a uffici o commerciali, ma oltre a quelli tradizionali sta prendendo mercato una nuova generazione di "selettivi" che includono all'interno metalli come argento, nichel e oro, risultando un più costosi. Filtrando soprattutto l'infrarosso permettendo meglio il passaggio della luce visibile e attenuando l'effetto a specchio.

Alcune pellicole selettive risultano più sensibili e deperibili sotto l'azione diretta dell'atmosfera esterna, ivi compresi i fattori inquinanti, e perciò hanno vita più breve se non sono poste all'interno del vetro, anche se recentemente sono state rese disponibili sul mercato di più resistenti.

I vetri a basso valore solare

Sia nel caso di nuove costruzioni sia nel caso di ristrutturazioni parziali, il nuovo decreto crea un'importante eccezione all'obbligo di sistemi schermanti o pellicole. Il progettista, qualora valuti la mancanza di convenienza in termini tecnico-economici, e qualora le superfici vetrate abbiano un "fattore solare ≤ 0,5" può giustificare nella propria relazione tecnica l'omissione dei sistemi schermanti esterni.

In merito ai motivi tecnico-economici, non rientrano tra questi le difficoltà pratiche di installazione: i sistemi schermanti potrebbero anche essere disposti sul Colosseo e le pellicole sulle vetrate del Duomo di Milano.

Il probabile significato è che il progettista deve fare un calcolo costi-benefici, che riguarderà anche il periodo in cui è possibile ammortare l'investimento, per poi ottenere un risparmio economico.

Non espressamente citati sono motivi più estetici o paesaggistici: chiaro che non si possa rovinare la facciata di un bel palazzo storico e discutibile il fatto che si attenti al decoro architettonico di quella di un condominio, anche se si tratta di un palazzo anonimo, con soluzioni discordanti tra appartamento e appartamento (pellicole al secondo piano e tende al terzo).

Quanto al fattore solare ≤ 0,5, si intende semplicemente che va ridotto per lo meno a metà l'apporto calorico dell'energia solare.

In una nuova costruzione il progettista, che già per le norme deve adottare doppi o tripli vetri con funzione di coibentazione e barriera la rumore, in molti casi sceglierà di aggiungere a queste funzioni del vetro anche quella del basso fattore solare. Questo, pur comportando un aumento del costo, porta ad evitare le schermature esterne.

Viceversa, nel caso di una ristrutturazione, la scelta del doppio e triplo vetro,anziché schermi e pellicole, necessità di un'analisi che considera sia pregi che difetti.

L'effetto di schermatura delle finestre (Qr(t) radiazione entrante dalle finestre)

È fuori discussione che durante il periodo estivo l'irraggiamento entrante attraverso le superfici vetra-

te rappresenta il primo nemico da combattere.

Gran parte del surriscaldamento ambientale interno è dato dall'effetto serra dovuto all'irradiazione solare. Come nel caso del colore delle pareti opache sarebbe logico pensare a sistemi di schermatura che fossero in grado di ridurre il flusso di calore entrante di almeno il 70%.

A tale scopo occorre prevedere degli elementi di schermatura delle superfici vetrate (oppure vetri riflettenti, ecc.).

Ciò equivarrebbe a soddisfare la condizione seguente:

$$\frac{\sum_{1}^{n} S_v \cdot C_s}{\sum_{1}^{n} S_v} \geq 0.7$$

dove:

S_v = area della superficie vetrata n-esima (m^2);

C_s = coefficiente di schermatura;

n = numero totale delle superfici vetrate della singola facciata.

In questo caso è evidente che si possa operare in modi diversi ed in particolare utilizzando:

- schermi fissi appartenenti all'edificio (gronde, balconi ecc.);
- schermi mobili esterni (tende, ecc.);
- superfici vetrate riflettenti.

Nel caso di schermi mobili esterni e superfici vetrate riflettenti il valore di C_s è uguale a:

$$C_s = 1 - \tau_{eq}$$

dove il valore di τ_{eq} per alcuni tipi di schermatura è riportato in tabella.

Tabella 1 · *Coefficiente di trasmissione solare.*

Tipo di schermatura	τeq
Vetro sodico-calcico 3 mm	0,88
Vetro sodico-calcico 6 mm	0,79
Vetro assorbente 6 mm	0,47
Vetro riflettente	0,28
Tenda leggera	0,60
Tenda media	0,30
Tenda pesante	0,07
Veneziana, tapparella	0,05

L'intervento con schermi di protezione consente di ottenere risultati importanti se accompagnato dall'effetto massa e dall'effetto colore. Inoltre l'effetto della schermatura non necessita di energia per funzionare.

PRESTAZIONI ESTIVE. L' EPS E IL COMFORT ESTIVO — AIPE

CONTROLLO dell'IRRAGGIAMENTO - CONTROLLO SOLARE

- Art. 4 comma 18

Valutare puntualmente e documentare l'EFFICACIA dei sistemi schermanti delle superfici vetrate, esterni o interni, tali da ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare

- Art. 4 comma 19

SISTEMI SCHERMANTI ESTERNI: obbligatori per tutte le categorie di edifici (tranne E.6 ed E.8) sia per edifici di nuova costruzione che per ristrutturazioni totali di edifici
Le schermature possono essere omesse in presenza di superfici vetrate con fattore solare $g \leq 0,5$ (UNI EN 410)

- Art. 4 comma 20

Scelta tra SISTEMI SCHERMANTI o FILTRANTI per tutte le categorie di edifici (tranne E.6 ed E.8) nel caso di ristrutturazioni parziali o man. straord. (possibilità di impedimenti di natura tecnica-economica, da evidenziare)
Anche in questo caso in presenza di superfici vetrate con fattore solare $g \leq 0,5$ (UNI EN 410) il requisito è ottemperato.

schermature solari esterne: sistemi che, applicati all'esterno di una superficie vetrata trasparente permettono una modulazione variabile e controllata dei parametri energetici e ottico luminosi in risposta alle sollecitazioni solari.

Sistemi filtranti: pellicole polimeriche autoadesive applicabili su vetri, sul lato interno o esterno, in grado di modificare una o più delle seguenti caratteristiche della superficie vetrata: trasmissione dell'energia solare, trasmissione ultravioletti, infrarossi, luce visibile.

PRESTAZIONI ESTIVE. L' EPS E IL COMFORT ESTIVO — AIPE

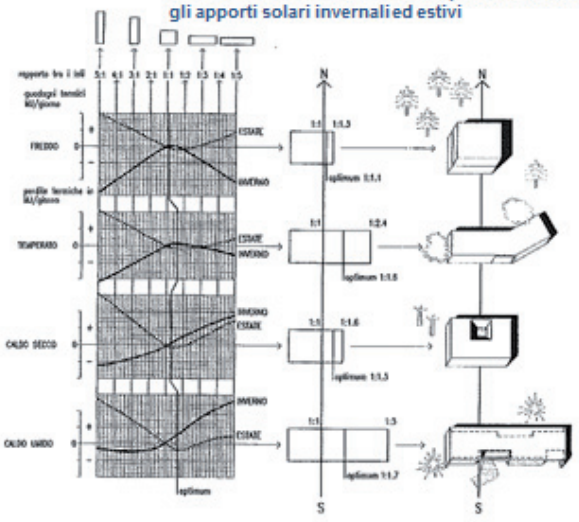
CONTROLLO dell'IRRAGGIAMENTO

Per la protezione dai fattori climatici, uno dei più importanti approcci è considerare la morfologia achitettonica

L' ottimizzazione degli apporti solari invernali ed estivi è legata a:
- analisi microclima locale
- analisi sito
- posizione, orientamento, forma edificio
- distribuzione interna degli spazi
- distribuzione e tipologia chiusure trasparenti

Anche la vegetazione può rappresentare una schermatura solare (caduciofoglie)

Esemplificazione del rapporto tra condizioni climatiche e forma architettonica per ottimizzare gli apporti solari invernali ed estivi



SISTEMI DI OSCURAMENTO ESTERNI - SIMULAZIONE

12 capitolo

Gli oscuranti esterni riducono la richiesta di energia in due modi:

- inverno: mediante la resistenza termica aggiuntiva aumenta l'isolamento termico (oscuranti in posizione chiusa);
- estate: mediante la riduzione della radiazione solare incidente.

L'energia consumata e la relativa CO_2 emessa sono quantificate mediante sistemi di modellazione e di simulazione che vengono eseguite con l'ausilio delle norme ISO disponibili mediante i programmi CAPSOL/PHYSIBEL/2002.

Parametri per la simulazione

Ogni edificio rappresenta un caso unico da analizzare singolarmente, ma gli effetti dei sistemi oscuranti possono essere considerati di generale applicazione considerando variabili solo i parametri di influenza macroscopica:

1) Stanza di dimensioni 5 x5x 3 m.
   2 differenti situazioni (Figura 1).
   B1: stanza con 1 facciata esterna, 3 pareti interne, pavimento e soffitto.
   B2: stanza con 2 facciate esterne, 2 pareti interne, pavimento e soffitto.
   L'edificio è considerato realizzato con materiali tradizionali con caratteristiche da figura 2.
   Finestre = 4.5 m² (18% dell'area del pavimento)
2) Previsti due orientamenti:
   – SW: 1ª facciata NW: 2ª facciata
   – NE: 1ª facciata SE: 2ª facciata
3) Due profili di utilizzo di consumo energetico:
   – u1 = 5 w/m² 8:00 ÷ 22:00 residenziale
   – u2 = 25 w/m² 9:00 ÷ 18:00 ufficio
4) 2 Profili finestra:
   – W1 per U = 2,6 W/m²K / fattore solare g= 0,63
   – W2 per U = 1,8 W/m²K / fattore solare g= 0,63
5) 2 Tipi di protezione esterna oscurante
   – BH: con elevata permeabilità aria
   – BL: con bassa permeabilità aria
   (Permeabilità aria oscuranti secondo EN 10077 – 1)

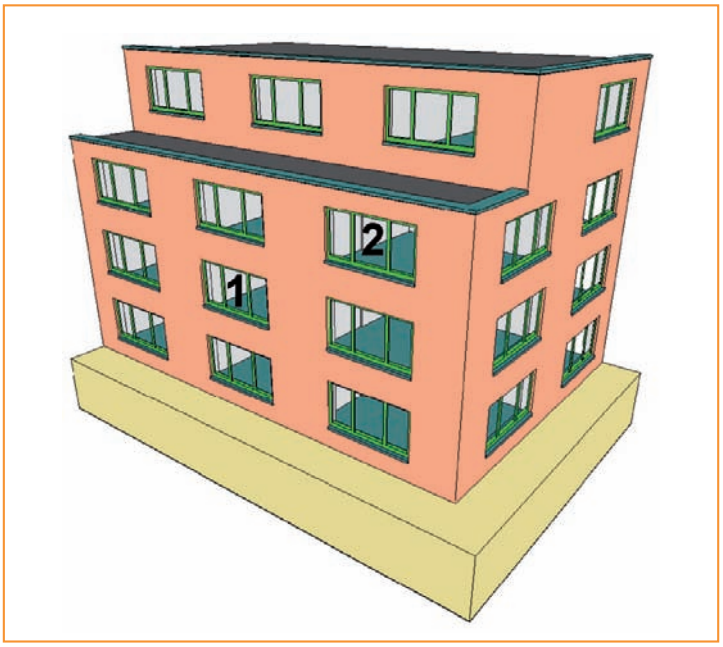


Figura 1

6) 2 posizioni di oscurante
– BE: esterna (persiane o avvolgibili)
– BI: interna (tende).

La tabella 1 riporta i valori di U e g con i due differenti tipi di oscuranti.

Il valore di trasmittanza termica con oscurante chiuso è derivata da:

$$U_{ws} = \frac{1}{1/U_w + \Delta R}$$

Uw = trasmittanza termica serramento
ΔR = resistenza addizionale con i seguenti valori:
ΔR = 0,08 m²K/W persiane con permeabilità aria molto elevata
ΔR = 0,40 m²K/W avvolgibile con permeabilità aria bassa (presenti a pag. 73).

Figura 2

cavity_wall_1.CWT

side1 => side2

No.	Name	Type	Pat	d [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	Nu [-]	hrb [W/m²K]	τs [-]	side 1 α1ir [-]	side 1 ρ1s [-]	side 1 α1s [-]	side 2 α2ir [-]	side 2 ρ2s [-]	side 2 α2s [-]
1	brickwork_1800	NORMAL		0.09	0.900	0.100	1800	850	-	-	0	0.90	0.40	0.60	0.00	0.00	1.00
2	insulation	NORMAL		0.06	0.035	1.714	40	850	-	-	0	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
3	brickwork_1200	NORMAL		0.14	0.450	0.311	1200	850	-	-	0	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
4	gypsum layer	NORMAL		0.015	0.500	0.030	1300	850	-	-	0	0.00	0.00	1.00	0.90	0.70	0.30

dtot=0.305 m, Rtot=2.155 m²K/W — with [h1=25.0 W/m²K, h2=7.7 W/m²K] U=0.43 W/m²K, g=0.00

half_wall_1.CWT

side1 => side2

No.	Name	Type	Pat	d [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	Nu [-]	hrb [W/m²K]	τs [-]	side 1 α1ir [-]	side 1 ρ1s [-]	side 1 α1s [-]	side 2 α2ir [-]	side 2 ρ2s [-]	side 2 α2s [-]
1	gypsum layer	NORMAL		0.015	0.500	0.030	1300	850	-	-	0	0.90	0.70	0.30	0.00	0.00	1.00
2	brickwork_1200	NORMAL		0.07	0.450	0.156	1200	850	-	-	0	0.00	0.00	1.00	0.90	0.00	1.00

dtot=0.085 m, Rtot=0.186 m²K/W — with [h1=25.0 W/m²K, h2=7.7 W/m²K] U=2.81 W/m²K, g=0.00

flat_roof_1.CWT

side1 => side2

No.	Name	Type	Pat	d [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	Nu [-]	hrb [W/m²K]	τs [-]	side 1 α1ir [-]	side 1 ρ1s [-]	side 1 α1s [-]	side 2 α2ir [-]	side 2 ρ2s [-]	side 2 α2s [-]
1	bitumen	NORMAL		0.015	0.200	0.075	1000	1700	-	-	0	0.90	0.10	0.90	0.00	0.00	1.00
2	insulation	NORMAL		0.06	0.035	1.714	40	850	-	-	0	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
3	concrete_1600	NORMAL		0.05	0.850	0.059	1600	850	-	-	0	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
4	vaults	NORMAL		0.14	0.450	0.311	1200	850	-	-	0	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
5	gypsum_layer	NORMAL		0.015	0.500	0.030	1300	850	-	-	0	0.00	0.00	1.00	0.90	0.70	0.30

dtot=0.280 m, Rtot=2.189 m²K/W — with [h1=25.0 W/m²K, h2=7.7 W/m²K] U=0.42 W/m²K, g=0.00

half_floor_1.CWT

side1 => side2

No.	Name	Type	Pat	d [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	Nu [-]	hrb [W/m²K]	τs [-]	side 1 α1ir [-]	side 1 ρ1s [-]	side 1 α1s [-]	side 2 α2ir [-]	side 2 ρ2s [-]	side 2 α2s [-]
1	hard limestone	NORMAL		0.015	2.100	0.007	2350	840	-	-	0	0.90	0.40	0.60	0.00	0.00	1.00
2	concrete_1600	NORMAL		0.05	0.850	0.059	1600	850	-	-	0	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
3	vaults	NORMAL		0.04	0.450	0.089	1200	850	-	-	0	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00

dtot=0.105 m, Rtot=0.155 m²K/W — with [h'=25.0 W/m²K, h2=7.7 W/m²K] U=3.08 W/m²K, g=0.00

half_ceiling_1.CWT

side1 => side2

No.	Name	Type	Pat	d [m]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	ρ [kg/m³]	c [J/kgK]	Nu [-]	hrb [W/m²K]	τs [-]	side 1 α1ir [-]	side 1 ρ1s [-]	side 1 α1s [-]	side 2 α2ir [-]	side 2 ρ2s [-]	side 2 α2s [-]
1	vaults	NORMAL		0.1	0.450	0.222	1200	850	-	-	0	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00
2	gypsum_layer	NORMAL		0.015	0.500	0.030	1300	850	-	-	0	0.00	0.00	1.00	0.90	0.70	0.30

dtot=0.115 m, Rtot=0.252 m²K/W — with [h'=25.0 W/m²K, h2=7.7 W/m²K] U=2.37 W/m²K, g=0.00

7) Vengono considerati in 4 climi differenti:
- BRU = Brussels
- BUD = Budapest
- ROM = Roma
- STO = Stoccolma

Temperatura e radiazione solare sono riportati nelle figure 3 e 4.

8) Controllo della temperatura

Per realizzare il comfort termico all'interno degli edifici è necessario realizzare un opportuno controllo della temperatura mediante riscaldamento, raffreddamento e ventilazione degli ambienti.

- 20 °C inverno - 10 °C inverno periodi di non utilizzo locali
- 24 °C estate - 30 °C estate periodi di non utilizzo locali

Tabella 1

Transparent wall file name	thermal transmittance U	solar factor g	layer	thickness	thermal conductivity	thermal resistance	density	specific heat	side 1 longwave emissivity	side 2 longwave emissivity	solar transmission factor	side 1 solar reflection factor	side 2 solar reflection factor
	[W/m2K]	[-]		[m]	[W/mK]	[m2K/W]	[kg/m3]	[J/kgK]	[-]	[-]	[-]		
Window_U2p6_g63_int_lowpb_up.CWT	**2.60**	**0.63**	eq. U=2.6 g=0.63	0.008	0.0372	0.22	2500	850	0.837	0.837	0.6	0.32	0.32
Window_U2p6_g63_int_lowpb_down.CWT	**1.64**	**0.28**	eq. U=2.6 g=0.63	0.008	0.0372	0.22	2500	850	0.837	0.837	0.6	0.32	0.32
			cavity R 0.14	0.1		0.14	1.2	1005					
			blind R 0.08	0.02	0.25	0.08	500	1470	0.9	0.9	0.001	0.5	0.499
Window_U2p6_g63_int_highp_up.CWT	**2.60**	**0.63**	eq. U=2.6 g=0.63	0.008	0.0372	0.22	2500	850	0.837	0.837	0.6	0.32	0.32
Window_U2p6_g63_int_highp_down.CWT	**2.07**	**0.31**	eq. U=2.6 g=0.63	0.008	0.0372	0.22	2500	850	0.837	0.837	0.6	0.32	0.32
			cavity R 0.09	0.05		0.09	1.2	1005					
			blind R 0.01	0.001	0.2	0.01	500	1470	0.9	0.9	0.1	0.5	0.499
Window_U2p6_g63_ext_lowpb_up.CWT	**2.60**	**0.63**	eq. U=2.6 g=0.63	0.008	0.0372	0.22	2500	850	0.837	0.837	0.6	0.32	0.32
Window_U2p6_g63_ext_lowpb_down.CWT	**1.64**	**0.07**	blind R 0.08	0.02	0.25	0.08	500	1470	0.9	0.9	0.001	0.5	0.499
			cavity R 0.14	0.1		0.14	1.2	1005					
			eq. U=2.6 g=0.63	0.008	0.0372	0.22	2500	850	0.837	0.837	0.6	0.32	0.32
Window_U2p6_g63_ext_highp_up.CWT	**2.60**	**0.63**	eq. U=2.6 g=0.63	0.008	0.0372	0.22	2500	850	0.837	0.837	0.6	0.32	0.32
Window_U2p6_g63_ext_highp_down.CWT	**2.07**	**0.11**	blind R 0.01	0.001	0.2	0.01	500	1470	0.9	0.9	0.1	0.5	0.499
			cavity R 0.09	0.05		0.09	1.2	1005					
			eq. U=2.6 g=0.63	0.008	0.0372	0.22	2500	850	0.837	0.837	0.6	0.32	0.32
Window_U1p8_g63_int_lowpb_up.CWT	**1.80**	**0.63**	eq. U=1.8 g=0.63	0.008	0.0207	0.39	2500	850	0.837	0.837	0.6	0.32	0.32
Window_U1p8_g63_int_lowpb_down.CWT	**1.28**	**0.31**	eq. U=1.8 g=0.63	0.008	0.0207	0.39	2500	850	0.837	0.837	0.6	0.32	0.32
			cavity R 0.14	0.1		0.14	1.2	1005					
			blind R 0.08	0.02	0.25	0.08	500	1470	0.9	0.9	0.001	0.5	0.499
Window_U1p8_g63_int_highp_up.CWT	**1.80**	**0.63**	eq. U=1.8 g=0.63	0.008	0.0207	0.39	2500	850	0.837	0.837	0.6	0.32	0.32
Window_U1p8_g63_int_highp_down.CWT	**1.53**	**0.34**	eq. U=1.8 g=0.63	0.008	0.0207	0.39	2500	850	0.837	0.837	0.6	0.32	0.32
			cavity R 0.09	0.05		0.09	1.2	1005					
			blind R 0.01	0.001	0.2	0.01	500	1470	0.9	0.9	0.1	0.5	0.499
Window_U1p8_g63_ext_lowpb_up.CWT	**1.80**	**0.63**	eq. U=1.8 g=0.63	0.008	0.0207	0.39	2500	850	0.837	0.837	0.6	0.32	0.32
Window_U1p8_g63_ext_lowpb_down.CWT	**1.28**	**0.05**	blind R 0.08	0.02	0.25	0.08	500	1470	0.9	0.9	0.001	0.5	0.499
			cavity R 0.14	0.1		0.14	1.2	1005					
			eq. U=1.8 g=0.63	0.008	0.0207	0.39	2500	850	0.837	0.837	0.6	0.32	0.32
Window_U1p8_g63_ext_highp_up.CWT	**1.80**	**0.63**	eq. U=1.8 g=0.63	0.008	0.0207	0.39	2500	850	0.837	0.837	0.6	0.32	0.32
Window_U1p8_g63_ext_highp_down.CWT	**1.53**	**0.10**	blind R 0.01	0.001	0.2	0.01	500	1470	0.9	0.9	0.1	0.5	0.499
			cavity R 0.09	0.05		0.09	1.2	1005					
			eq. U=1.8 g=0.63	0.008	0.0207	0.39	2500	850	0.837	0.837	0.6	0.32	0.32

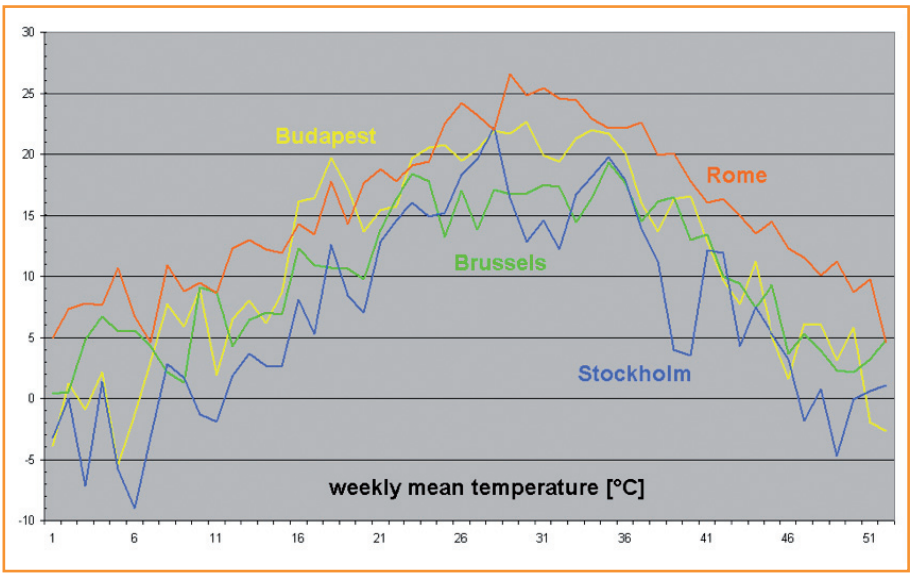


Figura 3

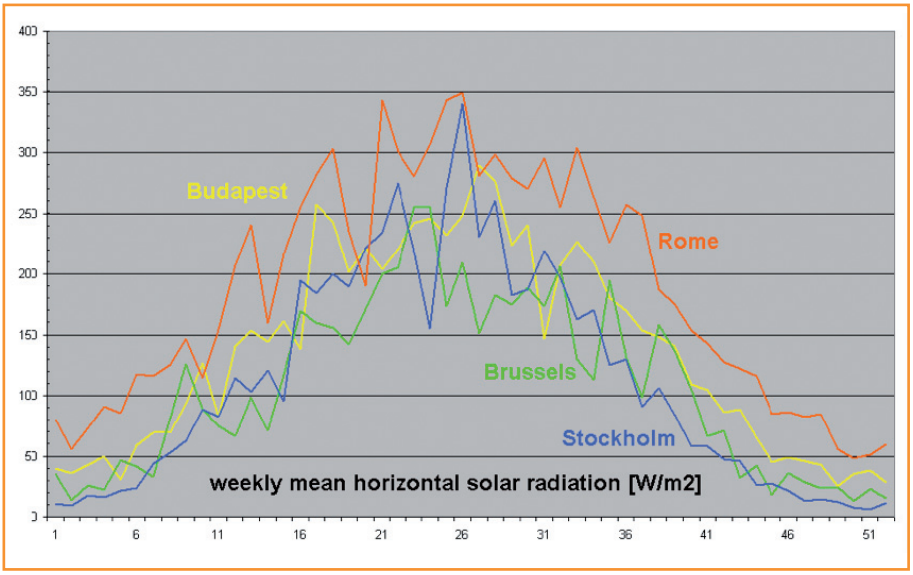


Figura 4

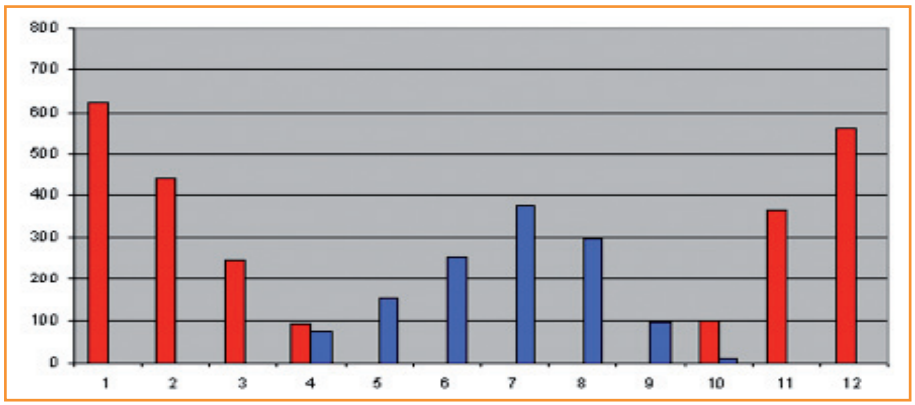
Risultati ottenuti

La simulazione dell'energia richiesta per climatizzare la camera ipotizzata nel periodo invernale ed estivo viene calcolata per le seguenti combinazioni possibili:

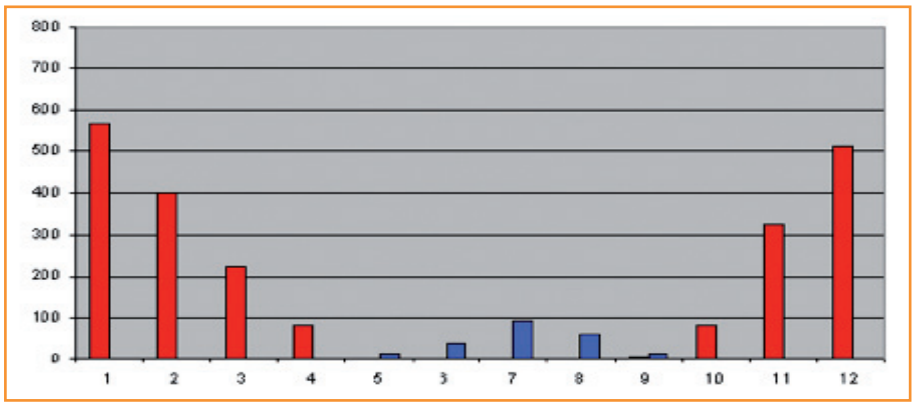
- 2 stanze
- 2 orientamenti
- 2 profili di utilizzo
- 2 serramenti
- 2 tipologie oscuranti
- 2 posizioni oscuranti
- 4 climi

2x2x2x2x2x2x4 = 256 combinazioni

Un esempio può essere rappresentato per evidenziare i risultati:



Senza oscuranti - Richiesta di energia media mensile riscaldamento/raffreddamento in KWH per il caso B1/SW/U1/W2/BH/BE/BRU



Con oscuranti - Richiesta di energia media mensile riscaldamento/raffreddamento in KWH per il caso B1/SW/U1/W2/BH/BE/BRU

Tabella 2

Simulation	Building type	Mean Orientation	User Profile	Window type	Blind type	Blind position	Climate		Heating energy demand without blinds [kWh/year]	Heating energy demand with blinds [kWh/year]	Heating energy demand difference [kWh/year]	Heating energy demand difference [%]	Heating energy demand difference [kWh/m2_year]		Cooling energy demand without blinds [kWh/year]	Cooling energy demand with blinds [kWh/year]	Cooling energy demand difference [kWh/year]	Cooling energy demand difference [%]	Cooling energy demand difference [kWh/m2_year]
1	B1	SW	U1	W1	BL	BE	BRU		1401	1256	-146	-10	**-6**		220	7	-214	-97	**-9**
2	B2	SW	U1	W1	BL	BE	BRU		2522	2257	-265	-10	**-11**		421	24	-397	-94	**-16**
3	B2	SW	U1	W1	BL	BE	BUD		2428	2190	-238	-10	**-10**		1259	225	-1033	-82	**-41**
4	B2	SW	U1	W1	BL	BE	ROM		854	717	-138	-16	**-6**		1663	630	-1033	-62	**-41**
5	B2	SW	U1	W1	BL	BE	STO		3754	3426	-328	-9	**-13**		704	79	-624	-89	**-25**
6	B2	NE	U1	W1	BL	BE	BRU		2519	2244	-275	-11	**-11**		393	30	-363	-92	**-15**
7	B1	NE	U1	W1	BL	BE	BRU		1683	1521	-161	-10	**-6**		61	11	-50	-82	**-2**
8	B1	NE	U1	W1	BL	BE	ROM		742	647	-95	-13	**-4**		889	317	-571	-64	**-23**
9	B1	SW	U2	W1	BL	BE	BRU		726	638	-88	-12	**-4**		483	145	-338	-70	**-14**
10	B2	SW	U2	W1	BL	BE	BRU		1418	1280	-138	-10	**-6**		601	198	-403	-67	**-16**
11	B1	SW	U1	W1	BH	BE	BRU		1402	1409	8	1	**0**		221	12	-208	-94	**-8**
12	B1	SW	U1	W2	BL	BE	BRU		1176	1101	-76	-6	**-3**		244	7	-237	-97	**-9**
13	B1	SW	U1	W2	BH	BE	BRU		1176	1140	-37	-3	**-1**		244	12	-232	-95	**-9**
14	B2	SW	U1	W2	BL	BI	BRU		2118	1962	-156	-7	**-6**		464	217	-246	-53	**-10**
15	B2	SW	U1	W1	BL	BI	BRU		2535	2262	-273	-11	**-11**		412	164	-248	-60	**-10**
16	B2	SW	U1	W1	BL	BI	BUD		2406	2152	-253	-11	**-10**		1244	645	-600	-48	**-24**
17	B2	SW	U1	W1	BL	BI	ROM		860	714	-146	-17	**-6**		1645	1036	-610	-37	**-24**
18	B2	SW	U1	W1	BL	BI	STO		3814	3456	-358	-9	**-14**		699	321	-378	-54	**-15**
19	B2	NE	U1	W2	BI	BI	BRU		2119	1957	-162	-8	**-6**		441	177	-265	-60	**-11**
20	B2	SW	U2	W1	BH	BE	BRU		1419	1437	19	1	**1**		603	237	-366	-61	**-15**
21	B1	SW	U2	W2	BH	BI	ROM		82	90	7	9	**0**		1428	1091	-337	-24	**-13**
22	B1	SW	U2	W2	BH	BI	STO		1126	1139	13	1	**1**		640	412	-228	-36	**-9**
23	B1	NE	U2	W2	BH	BI	ROM		247	247	0	0	**0**		1231	984	-246	-20	**-10**
24	B1	NE	U2	W2	BH	BI	STO		1410	1410	0	0	**0**		303	254	-49	-16	**-2**

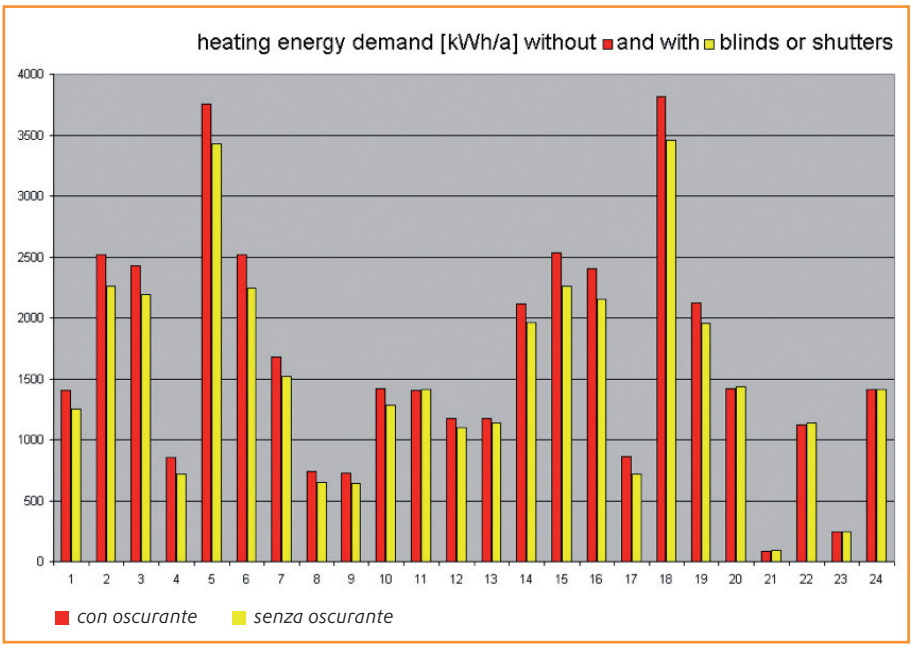


Figura 5 - Domanda di energia per riscaldamento

La tabella 2 riporta le energie richieste per 24 casi analizzati evidenziando:

1 – energia richiesta senza oscurante (KWh/a)

2 – energia richiesta con oscurante (KWh/a)

3 – Δ energia 1-2

4 – Δ energia 1-2 in %

5 – Δ energia 1-2 al m² per stanza 25 m² (KWh/m²a)

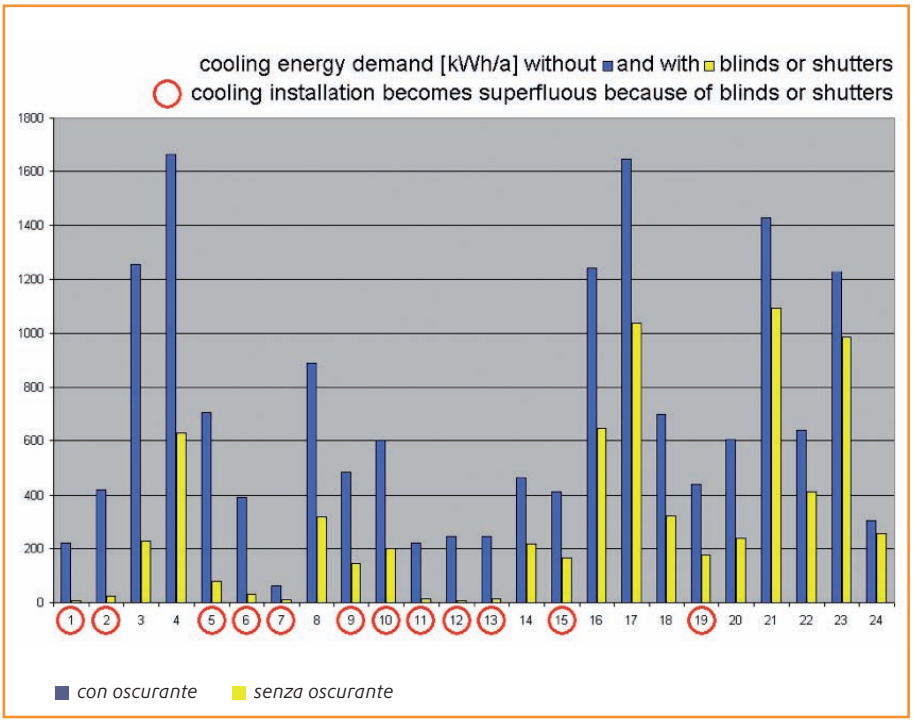


Figura 6 - Domanda di energia per raffreddamento

Considerazioni conclusive

La figura 6 evidenzia l'aspetto positivo della presenza di oscuranti nel raffrescamento: in 12 casi su 24 la richiesta di condizionamento è talmente piccola che permette di non accendere l'impianto di condizionamento. Il contributo degli oscuranti nel periodo invernale può essere quantificato nella riduzione del 10% di energia richiesta per riscaldamento.

I maggiori effetti nel condizionamento sono per esposizione a S-W a Roma e a Budapest mediante l'uso di oscuranti esterni con diminuzione di circa 40 KWh/m² anno. Effetti minori ma sempre considerevoli vengono ottenuti anche in esposizione N-W.

Il valore della trasmittanza termica del serramento non è influente sull'efficacia degli oscuranti esterni sia nel periodo estivo sia invernale, ovvero gli oscuranti esterni producono sempre un effetto positivo.

L'utilizzo di oscuranti esterni, nel clima medio italiano, permette di ottenere una riduzione globale dell'energia del:

– 10% inverno
– 30% estate

con una riduzione globale di CO_2 per m² di pavimento di:

– 31 Mt/a inverno
– 80 Mt/a estate

IL COMFORT TERMICO

13 capitolo

Comfort invernale ed estivo

Il continuo cambiamento del modo di vivere, la ricerca continua di una maggiore agiatezza hanno portato a costruire modelli di vita e quindi anche ambienti sempre più simbolo del benessere.

Nuove tecniche di progettazione e costruzione hanno consentito di realizzare opere che, pur presentando notevoli pregi architettonici, si sono dimostrate sempre poco attente ai problemi energetici e al benessere ambientale.

La funzione di garantire all'interno di ogni singolo alloggio adeguate condizioni ambientali, è stata nel tempo sempre più affidata all'impianto tecnologico. L'involucro edilizio ha perso gran parte della sua funzione di regolatore dei flussi termici.

Quando il costo dell'energia ha cominciato a crescere ci si è accorti di quanto insensato fosse quel modo di costruire. Il problema energetico ha cominciato ad essere preso in considerazione.

Le Leggi emanate dallo Stato a partire dal 1976, hanno indotto i progettisti sia edili che impiantisti a confrontarsi col problema energetico che, di conseguenza, ha costituito il tema centrale di una vasta informazione tecnica divulgatasi attraverso canali più o meno affidabili.

Ecco quindi che, mentre nei periodi passati è esplosa l'esigenza di un involucro edilizio tutto isolato, anche per quanto riguarda la ventilazione (la muffa per fortuna ha insegnato qualcosa), adesso emerge in modo predominante l'importanza dell'accumulo del calore all'interno delle strutture edilizie.

Come sempre la soluzione migliore non è mai da una sola parte ma richiede da parte del progettista un'attenta conoscenza dei parametri che influenzano il comportamento termico delle tipologie edilizie durante il loro reale funzionamento. La progettazione di una tipologia edilizia non deve prescindere da un'attenta analisi degli aspetti legati al benessere termico ambientale e dai consumi di energia necessari per mantenere prefissate condizioni ambientali in particolari situazioni climatiche esterne.

Benessere termico vuol dire che all'interno degli ambienti devono essere garantite condizioni ambientali più vicine possibili a quelle di comfort per il corpo umano in qualsiasi periodo dell'anno. Aspetto energetico vuol dire limitare al minimo l'uso dell'impianto tecnologico di climatizzazione.

È chiaro quindi che una corretta progettazione deve ricercare l'ottimizzazione delle interazioni energetiche tra l'ambiente costruito, all'interno del quale sono da garantire o naturalmente o artificialmen-

te condizioni prossime a quelle di comfort, e quello naturale nel quale le condizioni climatiche variano col tempo.

Dato che queste interazioni si manifestano attraverso l'involucro edilizio e dato che esso è costituito da un insieme di elementi tra di loro aggregati, le prestazioni globali del sistema dipenderanno dal comportamento di ciascun componente.

Benessere ambientale

Definizione di "benessere ambientale": il comfort è definibile come la sensazione di benessere fisico e mentale o come la condizione in cui un individuo esprime soddisfazione nei confronti dell'ambiente che lo circonda.

In generale una persona si trova in stato di benessere quando non percepisce nessun tipo di sensazione fastidiosa ed è quindi in una condizione di neutralità assoluta rispetto all'ambiente circostante

Già dalla definizione è chiaro che il benessere è una quantità non misurabile analiticamente ma solo statisticamente perché dipende da troppe variabili di cui alcune strettamente soggettive e di natura psicologica.

Le variabili sono:

- il benessere termico e igrometrico;
- il benessere olfattivo (legato alla qualità dell'aria);
- il benessere visivo (relativo all'illuminazione);
- il benessere psicologico.

Nel seguito dell'analisi verrà analizzato principalmente il benessere di tipo termico e igrometrico.

Comfort termico

Atteggiamento mentale di soddisfazione per l'ambiente dal punto di vista termico

Il comfort termico ambientale viene percepito dall'utente in modo diverso a seconda dell'attività svolta e della organizzazione degli spazi e dipende da molteplici fattori:

- parametri fisici: temperatura dell'aria, temperatura media radiante, umidità relativa dell'aria, velocità dell'aria, pressione atmosferica;
- parametri esterni: attività svolta che influenza il metabolismo, abbigliamento;
- fattori organici: età, sesso, caratteristiche fisiche individuali;
- fattori psicologici e culturali.

Inoltre in base alle condizioni sociali e ambientali si possono trovare diversi gradi di accettazione di situazioni non confortevoli. Infatti trovandosi in una prolungata situazione di disagio si possono ritenere "normali" anche situazioni ambientali che in contesti diversi sarebbero giudicate di malessere.

In una civiltà evoluta come la nostra si richiede invece un elevato grado di confort.

I parametri principali più significativi che influenzano il benessere termico possono essere così riassunti:

- temperatura aria interna
- temperatura media radiante
- velocità dell'aria
- umidità relativa
- attività (metabolismo)
- abbigliamento
- fattori soggettivi

Nel contesto dei paesi economicamente più sviluppati non sarebbe realistico perseguire un risparmio energetico riducendo le prestazioni

Tabella 1 · *Limiti medi per condizioni igrotermiche considerate ottimali (Melino C. 1992)*

	Estate	Inverno
Temperatura dell'aria	26 °C	20 °C
Umidità relativa	30 % < U < 60 %	30 % < U < 50 %
Velocità dell'aria	0,1-0,2 m/s	0,05-0,1 m/s
Temperatura effettiva	20-22 °C	16-18 °C

ambientali degli edifici. Il sacrificio energetico, cioè la rinuncia all'utilizzo di alcune comodità e al benessere può essere solo una consapevole scelta personale e non può venire da un'imposizione progettuale.

Dall'esperienza si dimostra che non esiste un'unica combinazione dei fattori sopra elencati cui corrisponda una situazione di benessere: una persona può essere ugualmente soddisfatta svolgendo una certa attività, con abiti pesanti, in una giornata invernale, o rimanendo in una situazione di riposo, con abiti leggeri durante una giornata estiva.

A parità di condizioni climatiche, di abbigliamento e di attività, diversi individui possono provare diverse sensazioni rispetto all'ambiente. L'attività del corpo umano dà luogo, attraverso il metabolismo, ad una generazione interna di calore che viene scambiata con l'esterno sotto forma di lavoro meccanico (attività fisica) e di energia termica. Affinché si possa parlare di condizioni di comfort ambientale è necessario che l'ambiente sia in grado di assorbire il calore scambiato dal corpo senza che ci sia alterazione della temperatura del corpo stesso. In presenza di uno squilibrio tra la quantità di calore ceduta dal corpo umano e quella assorbita dall'ambiente circostante, il corpo stesso fa intervenire il suo sistema di regolazione. Esso infatti fa comparire il fenomeno della sudorazione quando l'ambiente esterno non è in grado di assorbire il calore ceduto dal corpo umano, e aumentare la quantità di sangue in circolazione nei periodi nei quali ili calore ceduto è inferiore a quello richiesto dall'ambiente. L'uomo può aiutare il meccanismo di regolazione adottando opportuni accorgimenti, quali vestirsi, o spogliarsi, a seconda delle condizioni in cui si trova, muoversi più o meno velocemente, ecc.

I diversi studi elaborati negli anni hanno cercato di definire delle correlazioni che mettessero in rapporto i diversi parametri sopra citati con le condizioni ottimali del corpo umano. In condizioni normali (velocità interne dell'aria inferiori a 0.15 m/s nella zona occupata e umidità relativa dell'aria compresa tra il 30 e 70%), per la caratterizzazione delle condizioni ambientali ai fini del comfort si introduce la "temperatura operante" definita approssimativamente come media tra la temperatura dell'aria misurata al centro della stanza ad una altezza pari a 1.20 m e la temperatura media radiante delle pareti. La temperatura media radiante è definita come la media, pesata su ciascuna area, della temperatura delle superfici interne di tutte le pareti (interne ed esterne) che formano l'involucro edilizio.

Durante il periodo estivo, per attività esercitate all'interno di tipologie residenziali e di terziario con attività fisica molto modesta, si

possono considerare le seguenti situazioni ambientali:
– 24.5°C < Θ < 27.5 °C condizioni ottimali o idonee
– 27.5°C < Θ < 29.0 °C condizioni abbastanza disagevoli
– 29.0°C < Θ < 30.5 °C condizioni molto disagevoli
– 30.5°C < Θ condizioni proibitive

dove Θ rappresenta la temperatura operante interna.

Durante il periodo invernale, per le stesse attività, si possono considerare le seguenti situazioni:
– 19.0°C < Θ < 20 °C condizioni ottimali o idonee
– 17.0°C < Θ < 19.0 °C condizioni abbastanza disagevoli
– 15.0°C < Θ < 17 °C condizioni molto disagevoli.

I valori invernali mettono in risalto anche i limiti inferiori di temperatura che possono essere accettati all'interno di ambienti in presenza di spegnimento dell'ambiente.

Si può dire che durante le ore notturne la temperatura interna non dovrebbe scendere al di sotto di 16/17 °C.

Il controllo delle condizioni interne, realizzato confrontando i valori ottenuti con quelli di riferimento sopra elencati, deve essere fatto per gli ambienti più sfavoriti sia durante il periodo invernale che quello estivo.

Ambiente costruito e condizioni di funzionamento

L'ambiente costruito può essere pensato come l'insieme di singole unità abitative che unite tra di loro costituiscono la morfologia edilizia o ambiente costruito. L'ambiente costruito è quindi caratterizzato da un involucro edilizio e da una distribuzione interna delle singole unità abitative. La distribuzione, la forma, le dimensioni e le aggregazioni delle singole unità abitative dipendono dal tipo di attività che si svolge all'interno di ciascuna di esse.

Nella progettazione di un edificio, prioritariamente, bisogna conoscere le condizioni interne ed esterne in cui esso si trova ad operare.

Tali condizioni sono dovute:
a) per l'interno (ambiente abitabile) al tipo di attività che deve essere svolta.

   Essa infatti definisce:
   – le caratteristiche ambientali da garantire (temperatura interna, umidità relativa)
   – le volumetrie degli ambienti e la distribuzione delle diverse zone all'interno dello spazio abitabile
   – il numero di persone, di sorgenti di energia interna
   – le caratteristiche dell'aria di ventilazione
   – le caratteristiche ed il periodo di funzionamento degli impianti tecnologici
b) Per l'esterno (ambiente naturale) ai dati climatici esterni.

   Essi sono definiti dal valore della:
   – temperatura dell'aria esterna
   – radiazione solare incidente sulle diverse pareti
   – venti predominanti.

In virtù di queste condizioni si manifestano tra l'ambiente interno e quello esterno degli scambi energetici regolati dalle caratteristiche dell'involucro edilizio.

Per i nostri scopi, che sono l'analisi delle condizioni ambientali interne e la determinazione della quantità di energia richiesta per mantenere prefissate condizioni interne, gli scambi termici che dobbiamo considerare sono quelli che si hanno in corrispondenza delle

superfici rivolte verso l'ambiente interno e che sono dovuti a:

- scambio termico di convenzione tra ciascuna superficie interna e l'aria ambiente
- scambio termico di radiazione ad alta lunghezza d'onda tra tutte le superfici rivolte verso l'ambiente interno
- scambio termico dovuto alla radiazione solare entrante nell'ambiente attraverso le finestre ed assorbita dalle superfici interne delle pareti
- scambio termico dovuto a sorgenti interne di energia quali luci, occupanti, macchinari, ecc.
- scambio termico per conduzione attraverso le pareti
- scambio termico per miscelazione con aria esterna entrante per ventilazione e/o infiltrazione
- scambio termico dovuto all'impianto di riscaldamento e/o raffrescamento.

Scambi termici tra l'ambiente costruito e quello naturale

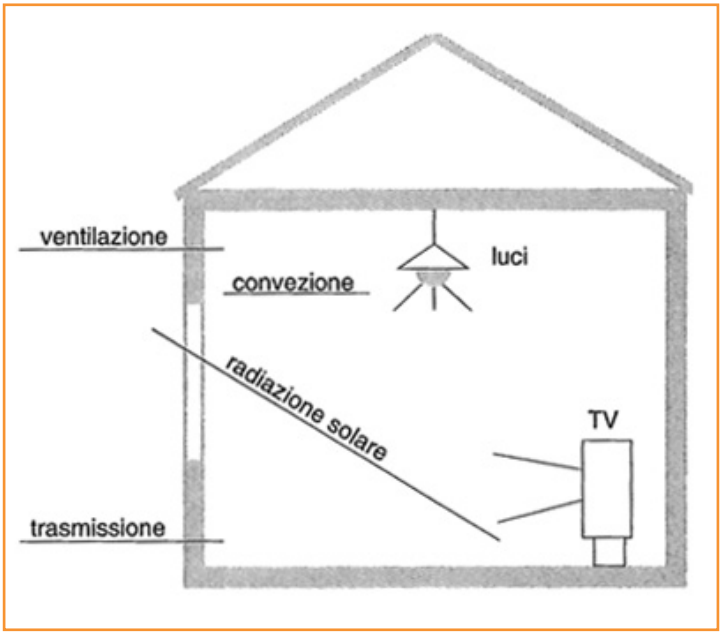
L'entità di questi scambi dipende naturalmente dalle caratteristiche termo fisiche dei materiali costituenti le pareti che formano l'involucro edilizio e dalla loro interazione con l'ambiente esterno. Ad esempio la quantità di finestratura, l'esposizione, il tipo di vetro, influenzano l'entità di radiazione solare presente. Il tipo, la dimensione, l'esposizione, il colore delle superfici esterne influenzano gli scambi termici per conduzione attraverso le pareti e la ventilazione attraverso i serramenti.

Temperatura dell'aria (°C)

La temperatura dell'aria, intesa come temperatura di bulbo secco, è il fattore più importante nella determinazione del benessere termico.

Temperatura media radiante (TMR, °C)

È la temperatura media pesata delle temperature delle superfici che delimitano l'ambiente incluso l'effetto dell'irraggiamento solare incidente. Influisce sugli scambi per irraggiamento. Assieme alla temperatura dell'aria, la TMR è il fattore che influenza maggiormente la sensazione di calore perché la radiazione che cade sulla cute ne attiva gli stessi organi sensori. Se il corpo è esposto a superfici fredde, una quantità sensibile di calore è emessa sotto forma di radiazione verso queste superfici, producendo una sensazione di freddo. La variazione di 1 °C nella temperatura dell'aria può essere compensata da una variazione contraria da 0.5 a 0.8 °C nella TMR: la condizione più confortevole è stata considerata quella corrispondente ad una TMR di 2 °C più alta della temperatura dell'aria. Una TMR più bassa di 2 °C è pure tollerabile se la radiazione emessa dal corpo è quasi la stessa in tutte le direzioni e ciò avviene solo se le



temperature superficiali dell'ambiente circostante sono praticamente uniformi.

TEMPERATURA OPERANTE (T_o)

Si definisce temperatura operante (T_o) la media fra la temperatura dell'aria e quella media radiante.

$$T_o = \frac{T_{ai} + T_{mr}}{2}$$

Questo parametro permette di definire con un unico valore gli scambi termici per convezione e irraggiamento e risulta quindi l'indicatore di riferimento per valutare il benessere di un ambiente.

Procedure per valutare la T_o:

- EN ISO 13791: Criteri generali e procedure di validazione
- EN ISO 13792: Metodi semplificati (analogia elettrico, metodo ammettenze)

A livello italiano il calcolo della temperatura estiva operante è affrontato nella UNI 10375 "Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambenti (in assenza di impianto di climatizzazione.

La UNI 10375 permette di determinare la temperatura operante che garantisce il confort in un dato ambiente in quanto definisce un metodo di calcolo che coincide con il metodo delle ammettenze riportato come esempio nella EN 13792 e il procedimento si basa su:

– regime di temperature non stazionario, bensì transitorio orario (con To calcolata per ogni ora)
– procedimento basato su bilancio dei flussi termici entranti e uscenti
– metodo pensato per valutare la Ti di un solo ambiente ma esistono in commercio software che permettono il calcolo con più zone termiche e quindi possibilità di adattare il metodo all'analisi di un edificio nel suo insieme.

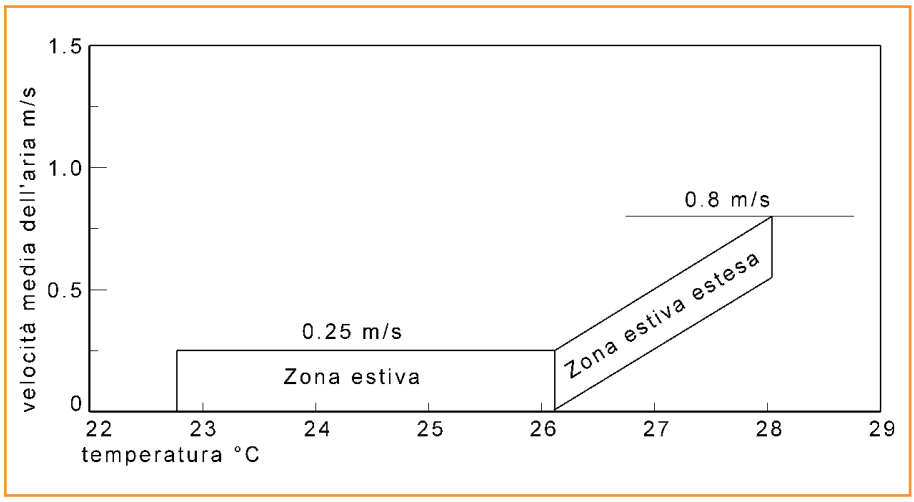
Velocità dell'aria (m/s)

Il movimento dell'aria produce effetti termici anche senza variazione della temperatura dell'aria e può favorire la dissipazione del calore, attraverso la superficie dell'epidermide, nei seguenti modi:

– aumento della dissipazione del calore per convezione, fino a quando la temperatura dell'aria rimane inferiore a quella dell'epidermide;
– accelerazione dell'evaporazione e quindi produzione di raffrescamento fisiologico; alle basse umidità (< 30 %) questo effetto è irrilevante in quanto si ha già una intensa evaporazione anche con aria ferma; alle alte umidità (> 80 %) l'evaporazione è comunque limitata e il movimento dell'aria non ha grandi effetti rinfrescanti. L'evaporazione può essere invece notevolmente accelerata alle medie umidità (40-50 %): se l'aria è ferma, lo strato più vicino all'epidermide si satura velocemente, impedendo un'ulteriore evaporazione, il movimento dell'aria invece può assicurare un ricambio e quindi una continua evaporazione.

L'utilizzo del movimento dell'aria per il raffrescamento può essere limitato dai suoi effetti fastidiosi, infatti le reazioni medie soggettive alle varie velocità sono le seguenti:

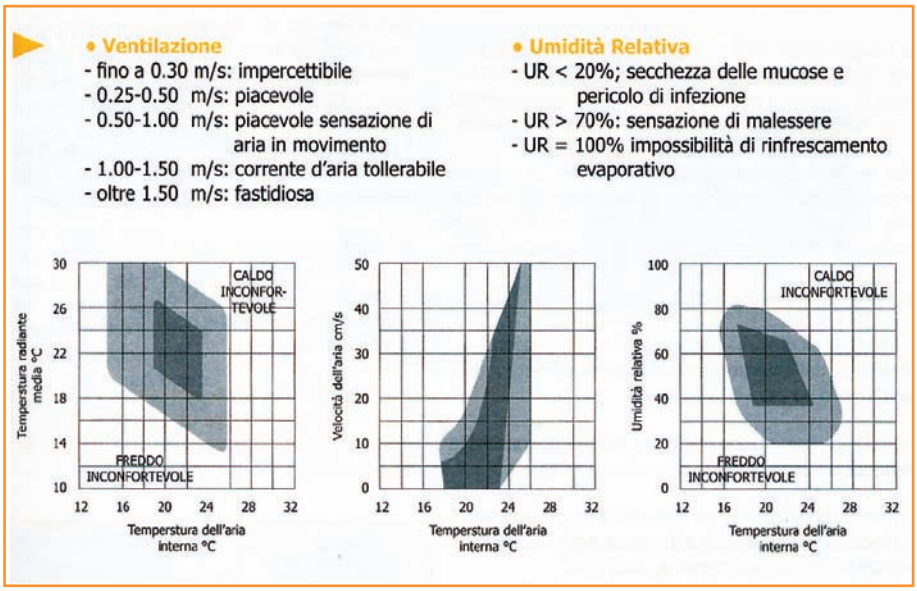
– fino a 0.25 m/s: impercettibile;
– 0.25-0.50 m/s: piacevole;
– 0.50-1.00 m/s: sensazione di aria in movimento;
– 1.00-1.50 m/s: corrente d'aria da lieve a fastidiosa;
– oltre 1.50 m/s: fastidiosa.



Tutti gli ambienti sono soggetti a movimenti anche impercettibili dell'aria. La velocità minima è di 0,075 m/s ma si inizia a percepire il movimento dell'aria a 0,3 m/s. Alle temperature più alte anche 1 m/s è considerato piacevole, ed una velocità sino a 1.5 m/s è tollerabile. Nella stagione fredda, all'interno di un locale riscaldato la velocità dell'aria non dovrebbe superare i 0.25 m/s.

"Non esiste per la velocità dell'aria un limite inferiore necessario per il benessere, esiste invece un limite massimo per la velocità media negli spazi occupati [...].

La velocità media dell'aria nella zona occupata non deve superare 0,25 m/s. Comunque (in condizioni estive), la zona di confort può essere estesa a temperature maggiori di 26 °C se la velocità dell'aria aumenta di 0,275 m/s per ciascun grado K di aumento di temperatura, fino ad una temperatura massima di 28 °C e una velocità massima dell'aria di 0,8 m/s. Fogli di carta, capelli e altri oggetti leggeri possono iniziare a volare a tale velocità" (4).



La ventilazione influisce anche sulla qualità dell'aria interna e quindi sulla salute degli occupanti.

Umidità relativa (UR, %)

È il rapporto fra la quantità di acqua contenuta in un Kg d'aria secca ad una certa temperatura e la quantità massima di acqua che potrebbe essere contenuta alla stessa temperatura dallo stesso kg d'aria.

L'umidità dell'atmosfera, se non è estremamente alta o bassa, ha un effetto lieve sulla sensazione di benessere. Alle temperature di benessere non c'è necessità di raffrescamento evaporativo mentre a temperature più alte questo diventa il mezzo più importante di dissipazione del calore. L'aria satura (100 % di UR) impedisce qualsiasi raffrescamento di tipo evaporativo. Quando l'UR è minore del 20 % le membrane mucose si seccano ed aumentano le possibilità di infezione. A basse temperature l'aria molto secca accresce la sensazione di freddo in quanto l'umidità che raggiunge la superficie dell'epidermide evaporando provoca una spiacevole sensazione di freddo. Per temperature dell'aria superiori ai 32 °C con UR oltre il 70 % si accentua la sensazione di caldo in quanto il sudore prodotto non può evaporare. In regime stazionario un aumento di UR del 10 % ha lo stesso effetto di un aumento di temperatura di 0,3 °C.

L'influenza dell'UR aumenta se ci si sposta fra ambienti con diverse quantità della stessa (cioè in regime dinamico) aumentando l'incidenza sulla sensazione di benessere fino a 2 o 3 volte.

Attività svolta (tasso di metabolismo)

Il corpo produce costantemente calore in quantità variabile: "metabolismo" è il termine che descrive

Tabella 2 · *Sensazioni percepite in funzione della temperatura e dell'umidità relativa (Simonetti, in AA.VV., 1993)*

Temperatura	Umidità Relativa	Sensazioni provate
24 °C	40%	Benessere massimo
	85%	Benessere a riposo
	91%	Affaticamento, depressione
32 °C	25%	Nessun malessere
	50%	Impossibile il lavoro continuo
	65%	Impossibile il lavoro pesante
	81%	Aumento della temperatura corporea
	90%	Forte malessere
36 °C	10%	Nessun malessere
	20%	Impossibile il lavoro pesante
	65%	Necessità di riposo
	80%	malessere

Tabella 3 · *Valori consigliati per temperatura, UR e velocità dell'aria a seconda della stagione (Simonetti, in AA. VV., 1993)*

	Temperatura	Umidità Relativa	Velocità dell'aria
Inverno	19-22 °C	40-50%	0,05-0,1 m/s
Estate	24-26 °C	50-60%	0,1-0.2 m/s

Tabella 4 · *Esempio di tasso metabolico per diverse attività (AA VV, Architecture solaire Passive pour la région méditerranéenne)*

Attività	Met	W/mq
Sonno	0,7	40
Riposo	0,8	45
Seduti	1,0	60
In piedi	1,2	70
Attività sedentaria (ufficio, casa)	1,0-1,4	60-80
Attività leggera (lavoro manuale leggero)	1,4-1,7	80-100
Attività media (lavori domestici, lavoro medio)	1,7-2,0	100-117
Attività intensa (lavoro pesante)	2,0-3,0	117-175
Sport, danza	2,4-4,0	140-235

tali processi biologici. Il tasso di metabolismo è l'energia liberata per unità di tempo dalla trasformazione degli alimenti. La quantità richiesta dal corpo dipende dal livello di attività. Si esprime in Watt/mq di superficie corporea (circa 1,8 mq) o in "Met" (1 Met = tasso metabolico di una persona in riposo = 58 W/mq).

Abbigliamento

Il vestiario influisce sulle perdite di calore per evaporazione, sugli scambi di calore per conduzione e irraggiamento. Il vestiario è l'isolamento termico delle persone e il cambio del vestiario rappresenta il più efficace sistema cosciente di controllo sulle dispersioni termiche.

L'isolamento termico del vestiario è espresso in "Clo" (1 Clo = tenuta invernale tipica da interno = 0,155 mq K/W).

Fattori soggettivi

I fattori soggettivi, e per questo difficilmente misurabili, che influenzano le sensazioni termiche dell'individuo (modificandone il metabolismo o alterando i meccanismi di dissipazione del calore) sono:

- acclimatizzazione;
- età e sesso;
- forma del corpo;
- grasso sottocutaneo;
- condizioni di salute;
- attività svolta;
- cibo e bevande consumate;

L'acclimatizzazione alle condizioni di un luogo o di una stagione influenzano sia il metabolismo che la circolazione e quindi le sensazioni termiche dell'individuo.

Tabella 5 · *Isolamento termico fornito da diverse combinazioni di abbigliamento (AA VV, Architecture solaire Passive pour la région méditerranéenne)*

Abbigliamento	Resistenza termica	
	mq K/W	*Clo*
Nudi	0	0
Pantaloncini	0,015	0,1
Tenuta tropicale tipica	0,045	0,3
Tenuta estiva leggera	0,08	0,5
Tenuta da lavoro leggera	0,11	0,7
Tenuta invernale tipica da interno	0,16	1,0
Tenuta da affari tipica europea	0,23	1,5

Il metabolismo delle persone anziane è più lento, per cui preferiscono temperature leggermente superiori. La donna ha un tasso di metabolismo leggermente più basso rispetto a quello dell'uomo e quindi in media preferisce una temperatura di 1 °C più alta rispetto all'uomo. Un corpo alto e magro ha un rapporto superficie/volume più grande rispetto ad una figura arrotondata e così perde proporzionalmente più calore: una persona magra preferisce perciò temperature più alte.

Il grasso sotto la pelle agisce come un isolante, riducendo la conduzione del calore dagli strati profondi alla superficie, per cui è necessaria una temperatura più bassa per avere una soddisfacente dissipazione del calore. Quando una persona è malata il tasso di produzione metabolica del calore può aumentare (producendo cambiamenti nelle condizioni di equilibrio termico) ma essendo contemporaneamente diminuito il funzionamento dei meccanismi di termoregolazione, il campo di tollerabilità della temperatura diventa più ristretto, per cui è necessario ricorrere a mezzi esterni in sostituzione dei normali controlli interni. Anche certi cibi e bevande hanno influenza sul metabolismo.

Per mantenere l'equilibrio termico la temperatura ambiente dovrebbe variare inversamente al tasso di metabolismo.

Valutazione del comfort termico: gli indici PMV e PPD

Tutti i fattori sopra elencati interagiscono fra loro per determinare le sensazioni di benessere o malessere.

È impossibile giudicare il comfort ambientale sulla base di uno solo di questi parametri.

Per la valutazione numerica delle condizioni ambientali a cui corrispondono sensazioni di benessere termico si è ricorsi a sperimentazioni di tipo statistico valutando il grado di soddisfazione di gruppi di persone all'interno di ambienti variamente climatizzati, intente ad una certa attività e con un determinato abbigliamento.

Ad esempio nella metodologia sperimentale per la valutazione della sensazione termica dell'uomo sviluppata dallo scienziato danese P.O. Fanger sono stati definiti due indici empirici (ad oggi i più utilizzati):

- **PMV: Voto Medio Previsto** (o Predicted Mean Vote);
- **PPD: Previsione Percentuale di Insoddisfatti** (o Predicted Percentage of Dissatisfied.

Voto Medio Previsto (PMV)

Dal 1984 il metodo del PMV è alla base della Norma Internazionale Standard ISO-7730 per la valutazione del confort termico in un ambiente. Questo indice rappresenta la media dei voti di un ampio campione di persone chiamate a esprimere un giudizio sulla condizione termica di un ambiente attraverso una scala psicologica che va da -3 (condizione di freddo) a +3 (condizione di caldo), passando per 0 (condizione di neutralità).

Essendo un modello statistico legato alla soggettività il diagramma risultante è di tipo gaussiano con un 5 % dei soggetti non d'accordo sulla condizione di neutralità.

L'approccio di Fanger per trovare un valido indice di predizione si basa sul principio che una persona percepisce la propria temperatura e non quella dell'ambiente e che esi-

stono tre requisiti fondamentali per raggiungere il comfort termico:

- il corpo deve essere in equilibrio termico con l'ambiente;
- le sensazioni di benessere termico sono correlate alla temperatura della pelle e quindi la temperatura media della pelle deve essere ad un livello adeguato;
- il livello di sudorazione ritenuto accettabile aumenta con l'aumento dell'attività metabolica (una persona seduta e a riposo non si aspetta di sudare).

L'equazione del comfort termico è applicabile solo ad una persona in equilibrio termico con l'ambiente. Se non si è in equilibrio, il corpo tenderà ad attivare tutti i mezzi possibili per raggiungere un nuovo equilibrio termico. Fanger assume che la sensazione termica per un dato livello di attività è correlato proprio a questo sforzo.

Il valore di PMV, oltre che essere ricavata analiticamente mettendo in relazione una serie di parametri, può essere determinato con un metodo tabellare riportato nella UNI EN ISO 7730.

Alcune valutazioni di altri studiosi, fra cui Humphreys, introducono un modello adattivo sostenendo che il confort dipende anche dall'area geografica. Si sono infatti riscontrate delle differenze fra le temperature giudicate confortevoli a seconda della nazionalità.

Previsione Percentuale di Insoddisfatti (PPD)

Fanger correlò la percentuale di persone insoddisfatte alle condizioni ambientali con il voto medio previsto definendo "soggetto insoddisfatto" quello che, nell'ambiente controllato in esame, si dichiarerebbe decisamente insoddisfatto, ossia voterebbe -3, -2, oppure +2, +3.

La correlazione tra PMV e PPD è stata elaborata sulla base delle ricerche sperimentali che hanno coinvolto complessivamente circa 1300 soggetti indossanti abiti leggeri ed esposti per 3 ore consecutive negli ambienti climatizzati di prova.

Dall'esame di tali ricerche è emerso che:

- anche in corrispondenza del PMV=0 esiste comunque una percentuale pari al 5% di soggetti insoddisfatti (che voterebbero -3, -2, +2, +3);
- la percentuale di insoddisfatti cresce rapidamente man mano che il valore dell'indice PMV si discosta da zero.

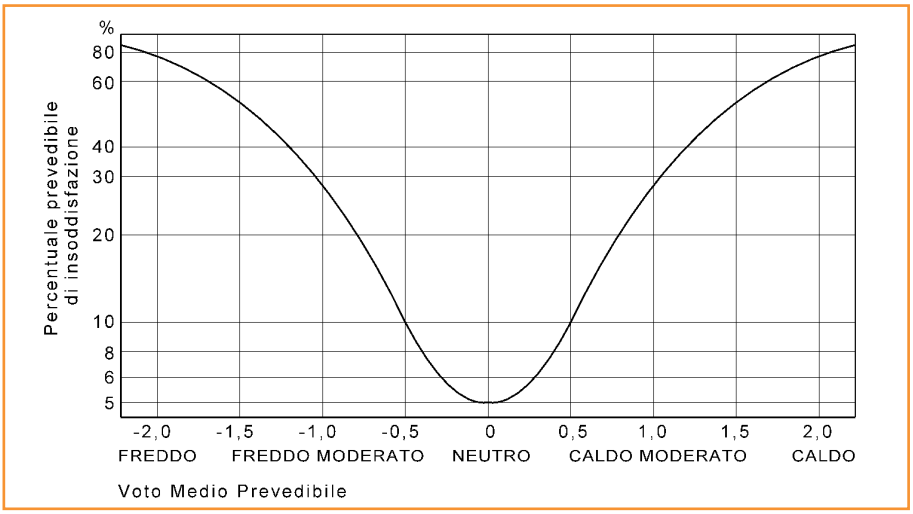
Secondo la **UNI EN ISO 7730** "Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale" la relazione tra PPD e PMV è data dalla seguente relazione:

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0{,}03353 \cdot e^{1} + 0{,}2179 \cdot PMV^{2})}$$

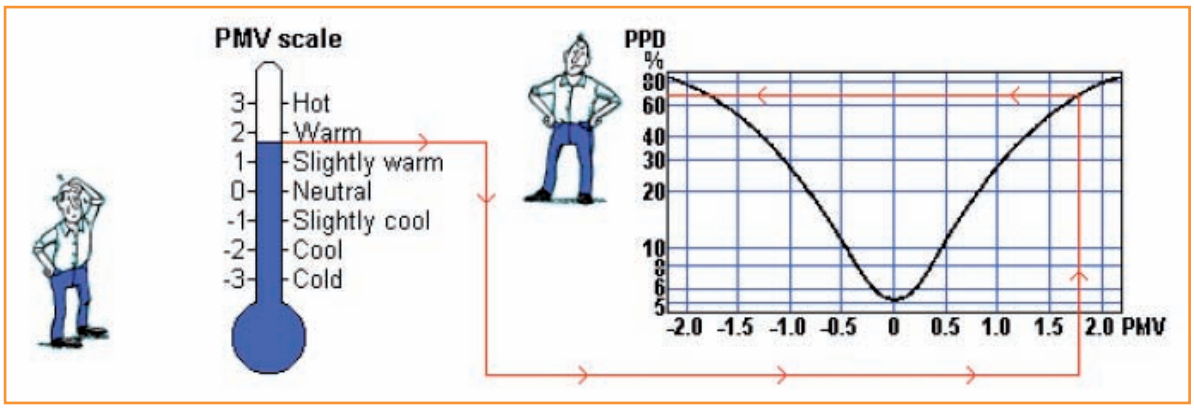
La norma, tenendo conto che il mantenimento di un valore di PMV=0 in permanenza nei diversi punti di un ambiente è un livello difficilmente raggiungibile sul piano tecnico, propone come obiettivo concreto la verifica che i valori dell'indice si trovino nell'intervallo: $-0{,}5 < PMV < +0{,}5$.

Tale requisito, insieme al controllo dei fattori di disagio termico, dovrebbe consentire il raggiungimento di un valore PPD = 10% e il contenimento della percentuale reale di insoddisfatti al di sotto del 20%.

Relazione fra PMV e PPD (come specificato nella norma UNI EN ISO 7730)



PMV	PPD %	Valutazione
+3	100	Molto caldo
+2	75,7	Caldo
+1	26,4	Leggermente caldo
+0,85	20	Ambiente accettabile
+0,5 ÷ -0,5	< 10	Benessere termico
-0,85	20	Ambiente accettabile
-1	26,8	Fresco
-2	76,4	Freddo
-3	100	Molto freddo



Essendo un modello statistico legato alla soggettività il diagramma risultante è di tipo gaussiano con un 5% dei soggetti non d'accordo sulla condizione di neutralità. - Norma UNI EN ISO 7730 per la valutazione del confort termico in un ambiente: condizioni di comfort accettabili per valori di PPD < 10%, dunque per -0.5 < PMV < +0.5

Diagrammi bioclimatici

I metodi di analisi bioclimatica definiscono, per il tipo di attività svolta e per il relativo abbigliamento adottato, il perimetro della zona di benessere termico, inteso come il luogo dei fattori climatici ambientali, entro il quale la sensazione termica è giudicata confortevole da oltre l'80% delle persone.

I diagrammi principali sono:

- diagramma bioclimatico di Olgyay;
- diagramma psicrometrico-bioclimatico o di Milne-Givoni.

ALLEGATO A: RADIAZIONE SOLARE E IRRADIANZA MASSIMA

ENERGIA SOLARE

Per energia solare si intende l'energia emessa dal Sole con continuità, sotto forma di energia raggiante. L'energia viene irraggiata nello spazio sottoforma di radiazione elettromagnetica.

La radiazione solare che raggiunge il suolo terrestre viene attenuata dalla diffusione e dall'assorbimento ad opera dell'atmosfera. Per questo motivo l'energia solare che raggiunge il suolo terrestre non si degrada qualitativamente durante il tragitto dal Sole alla Terra, ma si diluisce, e quindi, può essere convertita quasi interamente in energia utilizzabile.

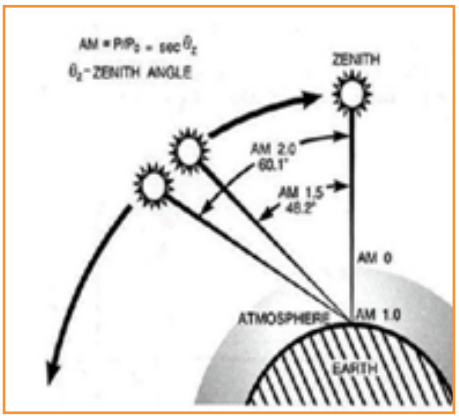
Energia irraggiata dal sole: aspetti energetici

L'energia che raggiunge la superficie della Terra muta con il variare di alcuni fattori: latitudine, altezza del suolo, stagione, ora del giorno, variazioni delle condizioni meteorologiche locali. L'energia irraggiata dal Sole raggiunge il suolo terrestre secondo alcune leggi, quali:

- la posizione della Terra rispetto al Sole, che trova espressione fisica nella porzione di terra esposta alla radiazione variabile a ritmo stagionale
- nell'emisfero boreale durante l'inverno i raggi del sole arrivano con un angolo basso rispetto all'orizzonte e quindi risultano irradiate con scarsa intensità le superfici orizzontali (tangenti alla superficie della Terra) mentre vengono irradiate intensamente le superfici verticali esposte a Est, Sud, Ovest, in quanto investite secondo angoli vicini a 90.
- in funzione alla rotazione della Terra attorno al suo asse, la parte esposta ai raggi solari varia con ritmo giornaliero, od orario: i raggi del mattino e della sera investono le superfici verticali con angoli relativamente efficaci, essendo il Sole basso sull'orizzonte, mentre nelle ore meridiane l'irraggiamento più intenso raggiunge i piani orizzontali.

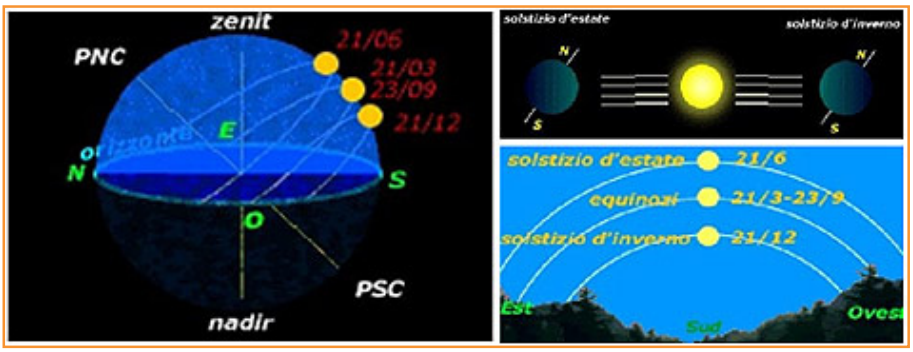
Nell'attraversamento dell'atmosfera, il valore della costante solare diminuisce via via che aumenta lo spessore dello strato d'aria attraversato. Per effetto dell'assorbimento atmosferico, il valore di 1,353 kW/m , valido al di sopra dell'atmosfera, si riduce a circa 1,0 kW/m al livello del mare.

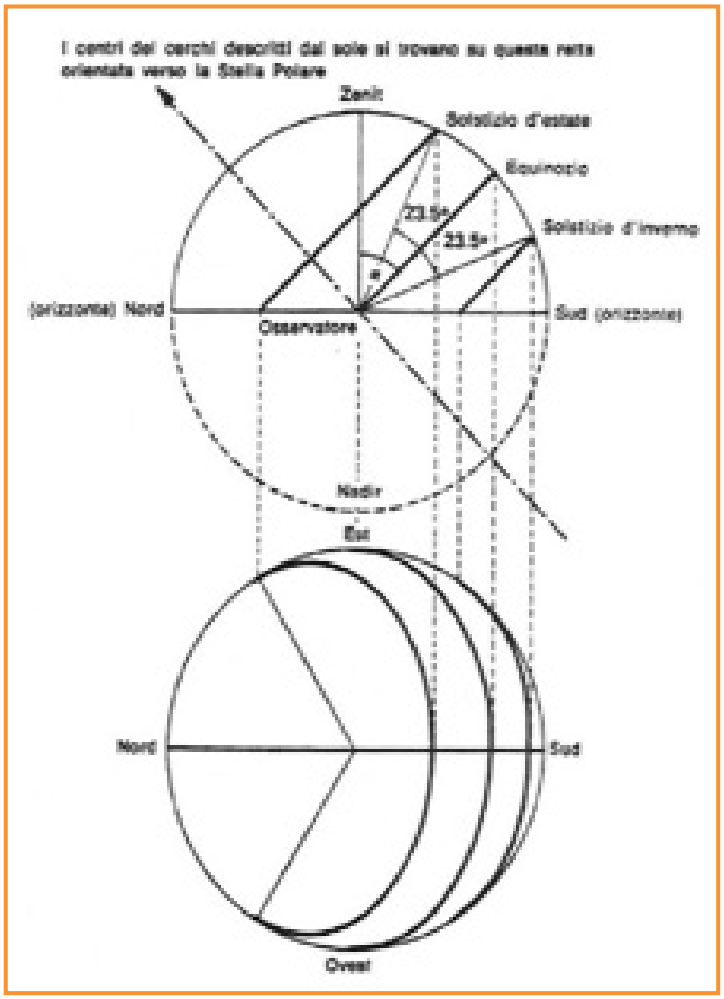
Per questo motivo si ha maggiore convenienza nel raccogliere la radiazione solare alle latitudini raggiunte dalle montagne; man mano che il Sole si allontana dallo zenit, aumenta l'assorbimento atmosferico in quanto aumenta lo spessore di atmosfera attraversata.



L'azione filtrante ed assorbente dell'atmosfera non varia soltanto con l'ora solare, ma anche con la stagione e la latitudine: vale a dire che il valore della "costante solare" (cioè la potenza della radiazione solare prima della modificazione da parte dell'atmosfera terrestre) al livello del mare dipende dalla declinazione del Sole.

Agli effetti della raccolta della radiazione solare mediante superfici collocate sul suolo, più importante delle variazioni stagionali dell'altezza del Sole sull'orizzonte, è il moto diurno apparente al Sole.





Durante l'attraversamento dell'atmosfera terrestre l'irraggiamento solare subisce effetti diversi. Una parte di esso viene riflessa verso lo spazio , principalmente ad opera delle nubi, un'altra parte viene diffusa in tutte le direzioni dall'incontro con le molecole di azoto, ossigeno, vapore d'acqua, anidride carbonica, ozono, una parte viene assorbita dalle molecole costituenti l'atmosfera, le quali di conseguenza si riscaldano ed emettono radiazione infrarossa, ed infine, una parte raggiunge la superficie della Terra e prende il nome di radiazione diretta.

La somma della radiazione diffusa e della radiazione infrarossa emessa dell'atmosfera in seguito all'assorbimento costituisce la radiazione diffusa. Soltanto un'aliquota dell'irraggiamento solare raggiunge perciò il suolo terrestre, poiché nell'attraversamento dell'atmosfera esso risulta selettivamente assorbito e disperso.

Dell'energia ricevuta dalla su-

perficie terrestre, una parte viene pertanto assorbita dal terreno, una parte riflessa, una parte rimessa come radiazione infrarossa di lunghezza d'onda 8¸12mm, una parte va dispersa per convezione e una parte contribuisce all'evaporazione superficiale dell'acqua.

È evidente che qualsiasi considerazione sulle relazioni fra l'energia solare e la Terra e sulla possibilità di utilizzare tale energia, è basata sulla conoscenza della distribuzione geografica della intensità della radiazione solare.

Misurazione della radiazione solare

L'apparecchio che misura la durata dell'irraggiamento solare è **l'eliografo**: questo è **sensibile** alla radiazione diretta, cioè **ai raggi solari visibili**.

Lo strumento standard **registra la radiazione al di sopra** del limite d'illuminazione **di 210 Wm**, cioè di un quinto di un massimo possibile. Il limite può **variare tra 70 e 280 Wm.**

L'irraggiamento totale si **registra con il piranometro**, che **riceve l'energia solare** proveniente da **tutto l'emisfero celeste**, vale a dire da un orizzonte in modo da misurare la radiazione incidente su una superficie orizzontale. Lo spettro di **lunghezza d'onda misurata si aggira tra 0,3 mm e 3 mm.**

Il terzo tipo di misurazione è quello della radiazione diffusa. Si utilizzano in questo caso piranometri forniti di un dispositivo supplementare che serve da schermo alla radiazione diretta.

La radiazione diretta si misura con il pireliometro: questo strumento comporta un'apertura ridotta e una superficie ricevente che deve essere mantenuta ortogonale ai raggi del sole. Esistono inoltre apparecchi di misura nei quali la termopila è sostituita da una fotopila, la cui sensibilità è molto più elevata e pur mantenendo essi un alto indice di precisione, sono meno costosi.

Parametri di interesse secondo la legislazione: IRRADIANZA e verifica del limite di 290 W/m^2

Le verifiche inerziali sulle strutture opache sono obbligatorie secondo quanto disposto dal D.P.R. 59/09 art. 4 – comma 18, per le località(ad esclusione della zona climatica F) nelle quali il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione (Im,s) **sia maggiore o uguale a 290 W/m^2**.

I valori di Im,s possono essere reperiti dalla norma UNI 10349, contenente i principali dati climatici dei capoluoghi di provincia necessari per la progettazione e la verifica degli edifici e degli impianti tecnici, unitamente a metodologie di calcolo per determinare gli stessi dati per località non comprese negli elenchi della norma. In particolare:

- **Prospetto VI:** si ricava il codice identificativo del capoluogo di provincia

N°	Località
1	Agrigento
2	Alessandria
3	Ancona
…..	……

- **Prospetto VIII: Irradazione solare giornaliera media mensile diretta e diffusa sul piano orizzontale**

N°	gennaio		febbraio	
	Hdh MJ/m²	Hbh MJ/m²	Hbh MJ/m²	Hbh MJ/m²
1	3,4	3,4	.....	.....
2	2,4	2,4	.....	.....
3	2,5	2,5	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....

⇓

Hdh diretta = irradiazione solare giornaliera media mensile orizzontale
Hdh diffusa = irradiazione solare giornaliera media mensile orizzontale
Hsm = radiazione globale (diretta + diffusa) giornaliera media mensile

1 = Agrigento: Hdh + Hbh (Hsm = somma nel mese di max insolazione)

⇓

49 Milano 24,0 MJ/m² gg x 11,57 = 277,68 W/m² **< 290 W/m² no verifica inerziale**
76 Roma 27,1 x 11,57 = 313,55 W/m² **> 290 W/m² si verifica inneziale**
32 Firenze 25,6 ..... = 296,19 W/m² .....
14 Bologna 25,6 .....

dove: **11,57** convenzione [MJ/m²] → [W/m²]

Il calcolo del valore di irradianza Im,s per uno specifico comune è valutabile come media ponderale dei valori di Im,s caratteristici dei due capoluoghi di provincia più vicini, pesati rispetto alla latitudine delle località in esame.

Caso specifico attraverso un serramento:

$$ER\ W/m^2 = 72{,}2\ g - 21{,}9\ U_{TOT}\ ^2K - 0{,}54\ L75 / A_{TOT}\ m^2$$

Fattore solare — permeabilità aria a 75 N/m²

Tabella - VALORE MEDIO MENSILE IRRADIANZA SUL PIANO ORIZZONTALE NEL MESE DI MASSIMA INSOLAZIONE – Elenco dei capoluoghi di provincia

(calcolati in base ai dati UNI 10349 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici")

ID	sigla	prov	zona	Imm-po	verifica
1	AG	AGRIGENTO	B	343	MASSA
27	CT	CATANIA	B	326	MASSA
40	KR	CROTONE	B	308	MASSA
48	ME	MESSINA	B	316	MASSA
58	PA	PALERMO	B	323	MASSA
72	RC	REGGIO CALABRIA	B	323	MASSA
83	SR	SIRACUSA	B	323	MASSA
90	TP	TRAPANI	B	334	MASSA
10	BA	BARI	C	331	MASSA
13	BN	BENEVENTO	C	306	MASSA
15	BR	BRINDISI	C	317	MASSA
18	CA	CAGLIARI	C	316	MASSA
20	CE	CASERTA	C	322	MASSA
26	CS	COSENZA	C	343	MASSA
28	CZ	CATANZARO	C	317	MASSA
38	IM	IMPERIA	C	306	MASSA
43	LE	LECCE	C	315	MASSA
45	LT	LATINA	C	323	MASSA
54	NA	NAPOLI	C	315	MASSA
57	OR	ORISTANO	C	319	MASSA
74	RG	RAGUSA	C	309	MASSA
79	SA	SALERNO	C	275	NO
84	SS	SASSARI	C	325	MASSA
86	TA	TARANTO	C	325	MASSA
3	AN	ANCONA	D	301	MASSA
5	AP	ASCOLI PICENO	D	296	MASSA
9	AV	AVELLINO	D	311	MASSA
21	CH	CHIETI	D	306	MASSA
22	CL	CALTANISSETTA	D	326	MASSA
33	FC	FORLI' e CESENA	D	308	MASSA
31	FG	FOGGIA	D	308	MASSA
32	FI	FIRENZE	D	296	MASSA
35	GE	GENOVA	D	287	NO
37	GR	GROSSETO	D	314	MASSA
39	IS	ISERNIA	D	292	MASSA
44	LI	LIVORNO	D	303	MASSA
46	LU	LUCCA	D	286	NO
47	MC	MACERATA	D	294	MASSA
52	MS	MASSA CARRARA	D	294	MASSA
53	MT	MATERA	D	307	MASSA
56	NU	NUORO	D	324	MASSA
61	PE	PESCARA	D	302	MASSA
63	PI	PISA	D	301	MASSA
65	PO	PRATO	D	274	NO
68	PT	PISTOIA	D	266	NO
67	PU	PESARO e URBINO	D	294	MASSA
76	RM	ROMA	D	314	MASSA
80	SI	SIENA	D	282	NO
82	SP	LA SPEZIA	D	299	MASSA
85	SV	SAVONA	D	274	NO
87	TE	TERAMO	D	297	MASSA
91	TR	TERNI	D	278	NO
92	TS	TRIESTE	D	270	NO
101	VT	VITERBO	D	287	NO
2	AL	ALESSANDRIA	E	262	NO
4	AO	AOSTA	E	243	NO
6	AQ	L'AQUILA	E	273	NO
7	AR	AREZZO	E	267	NO
8	AT	ASTI	E	260	NO
11	BG	BERGAMO	E	259	NO
12	BL	BELLUNO	E	253	NO
14	BO	BOLOGNA	E	296	MASSA
16	BS	BRESCIA	E	282	NO
17	BZ	BOLZANO	E	260	NO
19	CB	CAMPOBASSO	E	307	MASSA
24	CO	COMO	E	256	NO
25	CR	CREMONA	E	289	NO
29	EN	ENNA	E	331	MASSA
30	FE	FERRARA	E	277	NO
34	FR	FROSINONE	E	300	MASSA
36	GO	GORIZIA	E	266	NO
41	LC	LECCO	E	256	NO
42	LD	LODI	E	284	NO
49	MI	MILANO	E	278	NO
50	MN	MANTOVA	E	286	NO
51	MO	MODENA	E	289	NO
55	NO	NOVARA	E	281	NO
59	PC	PIACENZA	E	295	MASSA
60	PD	PADOVA	E	249	NO
62	PG	PERUGIA	E	295	MASSA
64	PN	PORDENONE	E	255	NO
66	PR	PARMA	E	304	MASSA
69	PV	PAVIA	E	287	NO
70	PZ	POTENZA	E	301	MASSA
71	RA	RAVENNA	E	293	MASSA
73	RE	REGGIO EMILIA	E	294	MASSA
75	RI	RIETI	E	270	NO
77	RN	RIMINI	E	297	MASSA
78	RO	ROVIGO	E	300	MASSA
81	SO	SONDRIO	E	262	NO
88	TN	TRENTO	E	285	NO
89	TO	TORINO	E	272	NO
93	TV	TREVISO	E	284	NO
94	UD	UDINE	E	255	NO
95	VA	VARESE	E	255	NO
96	VB	VERBANIA	E	269	NO
97	VC	VERCELLI	E	282	NO
98	VE	VENEZIA	E	314	MASSA
99	VI	VICENZA	E	256	NO
100	VR	VERONA	E	250	NO

Legenda *Zone climatiche :* B - C - D - E

In rosso le località in cui è necessaria la verifica

UNI 10349
RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO DEGLI EDIFICI ▪ DATI CLIMATICI

Scopo e campo di applicazione

La presente norma fornisce i dati climatici convenzionali necessari per la progettazione e la verifica sia degli edifici sia degli impianti tecnici per il riscaldamento ed il raffrescamento. I dati presentati si raggruppano in due categorie:

- dati climatici giornalieri medi mensili;
- dati di progetto.

I primi riguardano il calcolo dei fabbisogni energetici e le verifiche idrometriche, i secondi la verifica del superamento di valori massimi o minimi di specifiche grandezze ed il dimensionamento, in termini di potenza termica, dei sistemi di riscaldamento e raffrescamento.

I dati forniti si utilizzano per:

- il calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento degli edifici, UNI 10344;
- la verifica igrometrica ai fenomeni di condensazione del vapore, UNI 10350;
- il calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti; UNI 10375.

Definizioni e simboli

Definizioni

- **energia radiante:** Energia emessa, trasportata o ricevuta in forma di onde elettromagnetiche
- **irradianza**: Rapporto tra l'energia radiante per unità di tempo che incide su una superficie e l'area della medesima superficie.
- **irradiazione:** Rapporto tra l'energia radiante che incide su una superficie e l'area della medesima superficie.
- **regione di vento**: Aree omogenee del territorio italiano rispetto alla variazione della velocità del vento in funzione dell'altitudine e della distanza del sito in esame dalla costa.
- **zona di vento:** Sito caratterizzato da una specifica riduzione od accrescimento del valore della velocità del vento rispetto ad un valore di riferimento.

Simboli e unità di misura

La lista dei fondamentali simboli utilizzati è riportata nel prospetto I.

Prospetto I – Simboli ed unità di misura

Grandezza	Simbolo	Unità di misura
Temperatura giornaliera media mensile nella località considerata	θ_e	°C
Temperatura giornaliera media mensile nella località di riferimento	$\theta_{e,r}$	°C
Temperatura estiva massima nella località considerata	θ_{max}	°C
Temperatura estiva massima nella località di riferimento	$\theta_{max,r}$	°C
Escursione termica giornaliera dell'aria esterna in condizioni estive di progetto	$\Delta\theta_{max}$	°C
Fattore di distribuzione della temperatura massima giornaliera	F	-
Altitudine s.l.m. della località considerata	z	m
Altitudine s.l.m. della località di riferimento	z_r	m
Gradiente verticale di temperatura	δ	°C/m
Irradiazione solare giornaliera media mensile su piano orizzontale	H	MJ/m^2
Irradiazione solare giornaliera media mensile diretta su piano orizzontale	H_{bh}	MJ/m^2
Irradiazione solare giornaliera media mensile diffusa su piano orizzontale	H_{dh}	MJ/m^2
Irradianza solare massima relativa ad una superficie di orientamento T	I_T	W/m^2
Latitudine della località considerata	ϑ	°
Latitudine della località di riferimento	ϑ_r	°
Velocità del vento	ω	m/s
Velocità del vento nella località di riferimento	ω_r	m/s
Coefficiente correttivo caratteristico della zona di vento	c	-

Valori medi mensili della temperatura media giornaliera dell'aria esterna

I valori medi mensili delle temperature medie giornaliere dell'aria esterna per i capoluoghi di provincia italiani sono riportati, ordinati per sigla di provincia e per ogni mese dell'anno, nel prospetto VI. I dati riportati sono relativi ai singoli capoluoghi ed alla loro quota di riferimento, riportata nel prospetto.

Per le località non comprese è possibile calcolare una temperatura corretta che tenga conto della diversa localizzazione ed altitudine, rispetto al capoluogo, applicando il seguente criterio:

- si identifica la località di riferimento, ovvero il capoluogo di provincia più vicino in linea d'aria e sullo stesso versante geografico di quella considerata (non necessariamente il capoluogo della provincia di appartenenza);
- si apporta una correzione al valore della temperatura della località di riferimento per tenere conto della differenza di altitudine tra questa e la località considerata, secondo la seguente relazione:

$$\theta_e = \theta_{e,r} - (z - z_e) \cdot \delta$$

Dove: $\theta_{e,r}$ è la temperatura nella località di riferimento;
z è l'altitudine s.l.m. della località considerata;
z_r è l'altitudine s.l.m. della località di riferimento;
δ è il gradiente verticale di temperatura, i cui valori sono indicati nel prospetto II, in funzione della zona geografica.

Prospetto II – Valori del gradiente verticale di temperatura

Zona geografica	d (°C/m)
Italia settentrionale transpadana	1/178
Italia settentrionale cispadana	1/200
Italia centrale e meridionale	1/147
Sicilia	1/174
Sardegna	!/192

Irradiazione solare giornaliera media mensile

I valori della irradiazione solare giornaliera media mensile sul piano orizzontale per i capoluoghi di provincia sono riportati, nelle componenti H_{bh} diretta e H_{dh} diffusa e per ogni mese dell'anno, nel prospetto VIII, ordinati per codice di provincia. Il codice di provincia (qui inteso come numero d'ordine nella classificazione per sigla), il nome del relativo capoluogo e le sue coordinate geografiche, altitudine, latitudine e longitudine sono invece riportati nel prospetto VII. Per le località non comprese è possibile calcolare una irradiazione corretta che tenga conto della diversa localizzazione, rispetto al capoluogo, applicando il seguente criterio:

- si identificano due località di riferimento, ovvero i capoluoghi di provincia più vicini in linea d'aria e sullo stesso versante geografico di quella considerata;
- si calcola il valore della irradiazione della località considerata come media ponderale dei valori delle due località di riferimento pesate rispetto alla latitudine, secondo la seguente relazione:

$$H = H_{r1} + \frac{Hr_2 - Hr_1}{\vartheta r_2 - \vartheta r_1} (\vartheta - \vartheta r_1)$$

Dove: $H_{r1\backslash}$ è l'irradiazione solare nella prima località di riferimento;
H_{r12} è l'irradiazione solare nella seconda località di riferimento;
ϑ_{r1} è la latitudine della prima località di riferimento;
ϑ_{r2} è la latitudine della seconda località di riferimento;
ϑ è la latitudine della località considerata.

Per il calcolo dell'irradiazione solare su superfici non orizzontali si rimanda alla UNI 8477/1.

Applicando la citata norma sono state precalcolate, utilizzando un coefficiente di albedo medio pari a 0,2, le irradiazioni solari globali giornaliere medie mensili, per ogni capoluogo di provincia e per ogni mese dell'anno, relativamente a superfici verticali orientate a Sud, Sud-Ovest o Sud-Est, Est od Ovest, Nord -Ovest o Nord-Est, Nord, riportate rispettivamente nei prospetti IX, X, XI, XII, XIII.

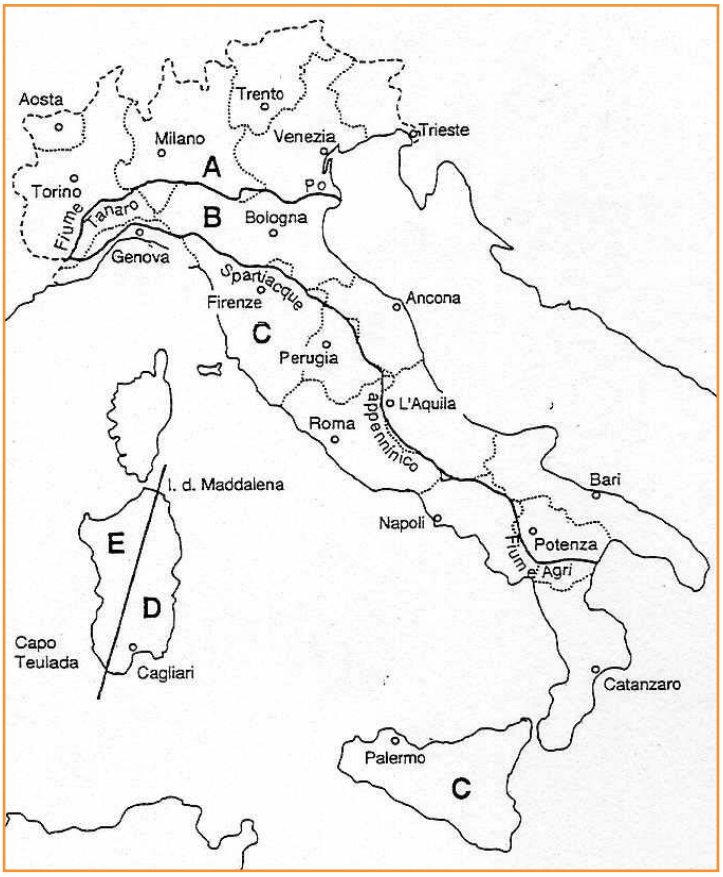
Valore medio annuale della velocità del vento media giornaliera

I valori medi annuali delle velocità del vento medie giornaliere e la direzione prevalente per i capoluoghi di provincia italiani sono riportati, ordinati per sigla di provincia e per ogni mese dell'anno, nel prospetto XIV. I dati riportati sono relativi ai singoli capoluoghi ed alla loro quota di riferimento, riportata in prospetto insieme con la relativa zona di vento. Per le località non comprese è possibile calcolare una velocità del vento corretta che tenga conto della diversa localizzazione e quota, rispetto al capoluogo, applicando il seguente criterio:

- si identifica la località di riferimento, ovvero il capoluogo di provincia più vicino in linea d'aria , sullo stesso versante geografico e regione di vento (vedere figura) di quella considerata (non necessariamente il capoluogo della provincia di appartenenza), rilevando dal prospetto XIV la relativa zona di vento;
- si identifica tramite il prospetto III la zona di vento per la località considerata, in funzione della altitudine e distanza dal mare;
- si determina tramite il prospetto IV il coefficiente correttivo c, dove nella prima colonna sono riportate le zone di vento per la località di riferimento, mentre nella prima riga sono riportate quelle per la località considerata; l'incrocio di una riga con una colonna da il coefficiente correttivo relativo alle due zone di vento identificate da quella riga e quella colonna;
- si apporta una correzione al vapore della velocità della località di riferimento per tenere conto della diversa localizzazione e della differenza di quota tra questa e la località considerata, secondo la seguente relazione:

$$\varpi = c \cdot \varpi_r$$

Dove: ϖ_r è la velocità del vento nella località di riferimento;
c è il coefficiente correttivo desumibile dal prospetto III.



Regioni di vento

Prospetto III – Zone di vento

Regione di vento	Fascia Costiera ≤ 20 Km	Fascia Subscostiera ≤ 40 Km	Entroterra > 20 Km* Altitudine (m)						
			300	500	800	1200	1500	2000	> 2000
A	3	2	1	1	2	2	3	3	4
B	2		1	2	2	3	3	4	4
C	3		2	2	3	3	3	4	4
D	3		3	3	3	4	4	4	4
E	4		3	3	3	4	4	4	4

*Ad eccezione della regione A per cui l'entroterra è > 40 Km

Prospetto IV – Coefficiente correttivo c

	Zona di vento			
Zona di vento della località di riferimento	1	2	3	4
1	1	1,780	2,780	4,000
2	0,562	1	1,560	2,250
3	0,360	0,640	1	1,440
4	0,250	0,445	0,694	1

Valori medi mensili della pressione parziale media giornaliera del vapore nell'aria

I valori medi mensili della pressione parziale del vapore d'acqua medie giornaliere nell'aria esterna per i capoluoghi di provincia italiani sono riportati, ordinati per sigla di provincia e per ogni mese dell'anno, nel prospetto XV. I dati riportati sono relativi ai singoli capoluoghi ed alla loro quota di riferimento, riportata nel prospetto.

Temperatura estiva massima: distribuzione giornaliera

La distribuzione giornaliera (valori orari) della temperatura dell'aria esterna si ottengono come:

$$\theta_t = \theta_{max} - F(t)\,\Delta\theta_{max}$$

Dove: θ_{max} è la temperatura massima giornaliera dell'aria esterna;
$F(t)$ è il fattore di distribuzione della temperatura;
$\Delta\theta_{max}$ è l'escursione giornaliera dell'aria esterna

I valori del fattore di distribuzione F(t) sono riportati nel prospetto V.

I valori dei θ_{max} e $\Delta\theta_{max}$ sono riportati per i singoli capoluoghi di provincia nel prospetto XVI.

Per le località non comprese è possibile calcolare una temperatura massima estiva corretta che tenga conto della diversa localizzazione ed altitudine, rispetto al capoluogo, applicando il seguente criterio:

- si identifica la località di riferimento, ovvero il capoluogo di provincia più vicino in linea d'aria e sullo stesso versante geografico di quella considerata (non necessariamente il capoluogo della provincia di appartenenza);

- si apporta una correzione al valore della temperatura della località di riferimento per tenere conto della differenza di altitudine tra questa e la località considerata, secondo la seguente relazione:

$$\theta_{max} = \theta_{max,r} - (z - z_r) \cdot \delta$$

Dove: $\theta_{max,r}$ è la temperatura nella località di riferimento;
z è l'altitudine s.l.m. della località considerata;
zr è l'altitudine s.l.m. della località di riferimento;
δ è il gradiente verticale di temperatura, i cui valori sono indicati nel prospetti I, in funzione della zona geografica.

Prospetto V – Fattore F(t)

Ora	F(t)	Ora	F(t)	Ora	F(t)
1	0,87	9	0,71	17	0,10
2	0,92	10	0.56	18	0,21
3	0,96	11	0,39	19	0,34
4	0,99	12	0,23	20	0,47
5	1,00	13	0,11	21	0,58
6	0,98	14	0,03	22	0,68
7	0,93	15	0,00	23	0,76
8	0,84	16	0,03	24	0,82

Irradianza solare estiva massima: distribuzione giornaliera

Nel prospetto XVII sono riportati i valori dell'irradianza solare massima estiva incidente su superfici verticali diversamente orientate e sul piano orizzontale in funzione delle ore del giorno e della latitudine. In funzione degli stessi parametri nel prospetto XVIII sono riportati i valori dell'irradianza solare massima estiva trasmessa attraverso vetro semplice sia disposto verticalmente e diversamente orientato che disposto orizzontalmente. Nel prospetto XIX e XX sono infine rispettivamente riportati i valori dell'altezza solare massima di cui al prospetto XVII.

Per il calcolo dell'irradianza solare massima estiva incidente su una certa superficie verticale ad una specifica ora del giorno, occorre conoscere la latitudine della località in esame per interpolare linearmente tra i valori relativi alle latitudini tabulate secondo la (6):

$$I_T(\varphi) = I_T(\varphi_M) + \frac{I_T(\varphi_{r2}) - I_T(\varphi_M)}{\varphi_{r2} - \varphi_M} - (\varphi - \varphi_m)$$

Dove: I_T è l'irradianza solare massima relativa ad una superficie di orientamento T;
φ è la latitudine della località in esame;
φ_M è la latitudine riportata in prospetto XVII subito più grande della località;
$I_T(\varphi_M)$ è l'irradianza solare massima relativa ad una superficie di orientamento T rilevata dal prospetto XVII per la latitudine φ_M;

φ_{r2} è la latitudine riportata in prospetto XVII subito più piccola della località;

$I_T(\varphi_{r2})$ è l'irradianza solare massima relativa ad una superficie di orientamento T rilevata dal prospetto XVII per la latitudine φ_{r2}

AIPE

Associazione Italiana Polistirene Espanso

L'AIPE - Associazione Italiana Polistirene Espanso - è una associazione senza fini di lucro costituita nel 1984 al fine di promuovere e tutelare l'immagine del polistirene espanso sinterizzato (o EPS) di qualità e di svilupparne l'impiego.
Le aziende associate appartengono sia al settore della produzione delle lastre per isolamento termico che a quello della produzione di manufatti destinati ad edilizia e imballaggio.
Fanno parte dell'AIPE le aziende produttrici della materia prima, il polistirene espandibile, fra le quali figurano le più importanti industrie chimiche europee.
Un gruppo di soci è costituito da aziende fabbricanti attrezzature per la lavorazione del polistirene espanso sinterizzato e per la produzione di sistemi per edilizia.
Con la collaborazione delle aziende associate, ha creato una rete che provvede alla raccolta ed al riciclo di imballi e scarti in polistirene espanso.

L'AIPE, che opera secondo il principio fondamentale della qualità dei prodotti, fornisce agli utilizzatori un'informazione seria ed obiettiva sulle caratteristiche e prestazioni dei semilavorati e manufatti in polistirene espanso sinterizzato di qualità.

MISSION:

- sostenere e promuovere l'immagine del polistirene espanso sinterizzato di qualità e svilupparne l'impiego;
- essere un qualificato punto di riferimento e un'autorevole fonte di informazione per l'opinione pubblica, i media e gli attori di mercato (istituzioni, aziende, utenti e progettisti);
- contribuire alla formazione tecnica degli associati e dei professionisti.

ATTIVITÀ:

- consulenza tecnica per i soci e per gli altri attori di mercato;
- pubblicazione di materiale divulgativo e di volumi monotematici;
- organizzazione di convegni, fiere e corsi di formazione;
- realizzazione di ricerche e studi di settore.

AIPE rappresenta l'Italia in seno all'EUMEPS, European Manufacturers of Expanded Polystyrene, organizzazione europea che riunisce le associazioni nazionali dei produttori di EPS.

Via M.A. Colonna, 46 - 20149 Milano
Tel +39 02 33 60 65 29 - Telefax +39 02 33 60 66 04
E - mail: aipe@epsass.it
www.aipe.biz