

# Linee guida generali per l'utilizzo dei benefici della massa termica del calcestruzzo nella costruzione di fabbricati



**Federbeton**

Federazione delle associazioni della filiera del cemento e del calcestruzzo armato

Traduzione e pubblicazione: FEDERBETON, Novembre 2009  
Editore: PUBBLICAMENTO S.r.l.

*Tutti i diritti sono riservati. La riproduzione e la trasmissione in qualsiasi forma o con qualsiasi mezzo, elettronico o meccanico, comprese fotocopie, registrazioni o altro tipo di sistema di memorizzazione o consultazione dei dati sono assolutamente vietate senza previo consenso scritto di FEDERBETON.*

Pubblicazione originale:  
European Concrete Platform ASBL  
a cura di: Jean-Pierre Jacobs 1050 Brussels, Belgio  
Stampato da: The European Concrete Platform ASBL

La European Concrete Platform dichiara che tutte le informazioni contenute nel presente testo sono corrette e aggiornate al momento della sua pubblicazione e sono riportate in buona fede.

La loro divulgazione non comporta alcuna responsabilità per i soci dell'associazione. Nonostante gli sforzi compiuti in tal senso la European Concrete Platform non garantisce l'esattezza e l'eshaustività delle informazioni. Eventuali errori, se segnalati, saranno tempestivamente corretti.

Il presente testo riflette le opinioni degli autori e la European Concrete Platform non si assume la responsabilità di quanto riportato. Tutte le indicazioni e le informazioni fornite dalla European Concrete Platform sono destinate a coloro che sono in grado di valutare il significato e i limiti del contenuto dell'opera, e di assumersi la responsabilità della loro applicazione pratica. Non si assume, pertanto, alcuna responsabilità (neppure per casi di negligenza) per eventuali danni derivanti da tali indicazioni o informazioni.

I lettori devono essere consapevoli del fatto che tutte le pubblicazioni edite dalla European Concrete Platform sono soggette a revisione periodica e, pertanto, sono tenuti ad accertare che la versione in loro possesso sia la più recente.

**Immagine di copertina:**

**La casa da 100K**

*Progetto per la realizzazione della casa con “zero spese e zero CO<sub>2</sub>”; alloggi eco-sostenibili con tre punti di forza: costo accessibile, profilo adattabile alle esigenze di tutti e impatto ambientale ridotto. Una proposta di housing attenta all'ambiente, ma anche al bilancio familiare. (per gentile concessione di Italcementi)*

# Linee Guida Generali

per l'utilizzo dei benefici della massa termica del calcestruzzo nella costruzione di fabbricati

Questo documento, redatto dalla European Concrete Platform, è destinato a progettisti, Enti normatori, proprietari e utilizzatori di edifici.

La finalità che gli autori si propongono è dimostrare in che modo il calcestruzzo può essere utilizzato per rallentare i cambiamenti climatici legati all'effetto serra e minimizzarne gli effetti sull'ambiente.

## Indice

### MASSA TERMICA: LINEE GUIDA SULLE BEST PRACTICE PER L'EDILIZIA ABITATIVA

Raffreddamento	<u>2</u>
Riscaldamento	<u>2</u>
Orientamento	<u>3</u>
Le finestre	<u>3</u>
Disposizione delle stanze	<u>3</u>
Vista del cielo	<u>3</u>
Accumulo termico indiretto	<u>4</u>
Ombreggiamento	<u>4</u>
Massa termica e isolamento	<u>4</u>
Ventilazione	<u>5</u>
Controlli eseguiti dagli occupanti	<u>5</u>
Aspetto architettonico	<u>5</u>

### MASSA TERMICA: LINEE GUIDA SULLE BEST PRACTICE PER GLI UFFICI E L'EDILIZIA COMMERCIALE

Raffreddamento	<u>6</u>
Riscaldamento	<u>6</u>
Sistemi attivi e passivi	<u>7</u>
Spessore ottimale del solaio	<u>7</u>
Controlli	<u>7</u>
Luce del giorno	<u>8</u>
Ombreggiamento	<u>8</u>
Pianificazione del progetto	<u>8</u>
Soluzioni costruttive per solai:	<u>10</u>
solai esposti con ventilazione naturale	
Soluzioni costruttive per solai:	<u>10</u>
solai esposti con ventilazione meccanica sotto il pavimento	
Soluzioni costruttive per solai:	<u>10</u>
solai alveolari esposti con ventilazione meccanica	
Soluzioni costruttive per solai:	<u>11</u>
solai esposti con raffreddamento/riscaldamento ad acqua	
Soluzioni costruttive per solai:	<u>11</u>
solai esposti con travi refrigerate	
Note in calce	<u>12</u>

# MASSA TERMICA: LINEE GUIDA SULLE BEST PRACTICE PER L'EDILIZIA ABITATIVA

Nei climi caldi la massa termica del calcestruzzo e della muratura aiuta a realizzare un ambiente di vita più confortevole, riducendo i problemi di surriscaldamento, mentre nei climi freddi può essere utilizzata per assorbire l'irraggiamento solare e ridurre la necessità di utilizzo di nuova energia per riscaldare.

Essendo i requisiti base della progettazione non incompatibili tra loro per entrambe le stagioni, l'edilizia nei climi più temperati può essere progettata in modo tale da beneficiare al massimo dei vantaggi della massa termica durante il ciclo annuale.

Per maggiori informazioni di dettaglio su casi studio correlati ai benefici della massa termica del calcestruzzo, potete visionare le informazioni riportate al seguente indirizzo WEB: [http://www.cembureau.eu/default.asp?p=Case\\_studies01.asp](http://www.cembureau.eu/default.asp?p=Case_studies01.asp).

## RAFFREDDAMENTO

Durante la stagione calda, la massa termica nel calcestruzzo e della muratura edilizia assorbe il calore prodotto internamente, aiutando a stabilizzare la temperatura, mantenendo condizioni di vita confortevoli.

Tutto ciò grazie all'elevata capacità termica della struttura del fabbricato che permette l'assorbimento di una grande quantità di calore con solo un minimo incremento della temperatura interna delle pareti e dei solai.

Così risulta che la temperatura delle superfici resta inferiore a quella dell'aria nell'ambiente, per buona parte del giorno, permettendo così un raffreddamento sia di tipo radiante che convettivo degli occupanti.

La notte, il calore assorbito dalle pareti e dai solai è rimosso attraverso l'aria relativamente fresca della notte utilizzata per ventilare l'edificio, permettendo al fabbricato di ripetere il ciclo il giorno seguente.

Il rischio di surriscaldamento può essere ulteriormente ridotto collocando una tettoia sopra le finestre che affacciano verso sud, per ombreggiarle dal sole durante la parte più calda della giornata.

Questo è naturalmente un approccio ben consolidato per progettare nelle aree più calde d'Europa ma sta prendendo piede anche in altre regioni dove l'impatto dei cambiamenti climatici sta iniziando a causare dei picchi nelle temperature estive.

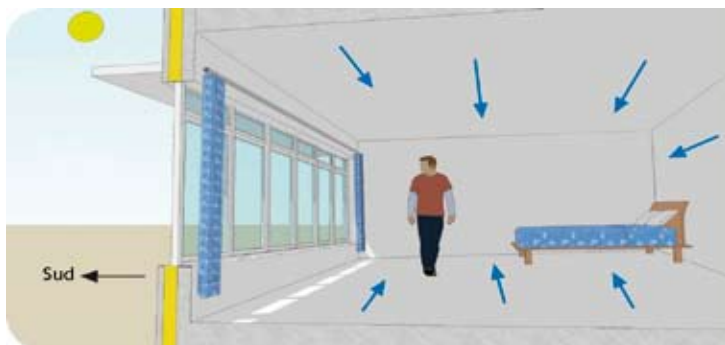
## RISCALDAMENTO

Durante la stagione invernale la massa termica può essere utilizzata per ridurre l'utilizzo di carburanti, permettendo ai raggi solari, con basso angolo d'incidenza, di penetrare nella stanza attraverso le finestre esposte verso sud durante la parte più calda della giornata (l'ombreggiatura delle tettoie funziona solo durante il periodo estivo).

L'accumulo termico è assorbito dalla massa termica del solaio e delle pareti e poi rilasciato lentamente durante la notte quando le temperature scendono.

Questo ciclo di riscaldamento e raffreddamento è simile a quello utilizzato durante l'estate.

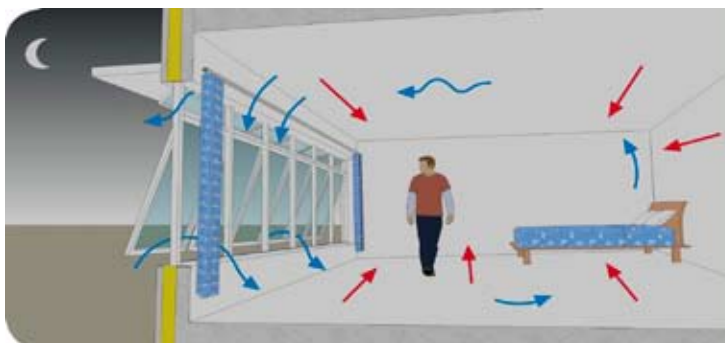
La differenza consiste nel fatto che l'accumulo termico è incoraggiato durante la stagione fredda perché è un calore utile e le finestre sono mantenute chiuse durante la notte per minimizzare la perdita di calore.



### GIORNATA ESTIVA:

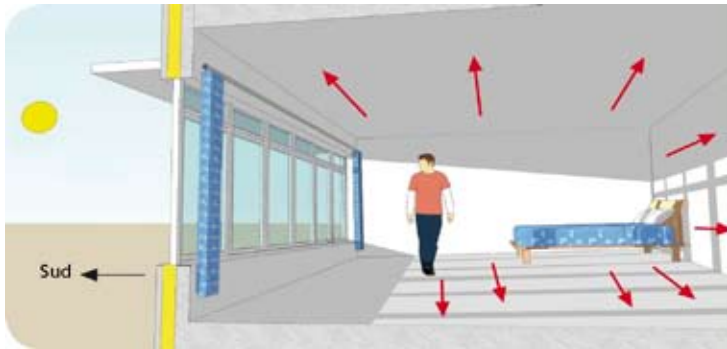
- Durante le giornate molto calde, le finestre restano chiuse per mantenere all'esterno l'aria più calda.
- Sporgenze nella parte rivolta verso sud possono essere utilizzate per proteggere dai raggi del sole, con ampio angolo d'incidenza, durante la parte più calda della giornata.
- Il raffreddamento è garantito dalle pareti e dal solaio.

Illustrazione © Concrete Centre



### NOTTATA ESTIVA:

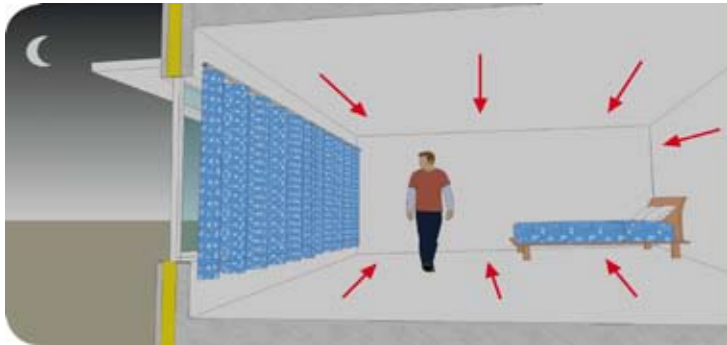
- Le finestre sono aperte durante la notte per ventilare l'ambiente e raffreddare il fabbricato.
- Se si prevede un altro giorno afoso le finestre devono essere chiuse nuovamente nella mattina e il ciclo si ripete.



#### GIORNATA INVERNALE:

- Durante la stagione fredda, i raggi del sole, con basso angolo d'incidenza, penetrano tramite le finestre esposte verso sud ed il calore è assorbito dalla massa termica del solaio e delle pareti.
- Alla sera quando il sole tramonta e le temperature calano, il flusso di calore si inverte e passa di nuovo verso la stanza.

Illustrazione © Concrete Centre



#### NOTTATA INVERNALE:

- Le finestre e le serrande devono essere chiuse per cercare di minimizzare la perdita di calore.
- Il calore continua ad essere rilasciato dalla massa termica e quello supplementare è regolato in modo tale da utilizzarne il minimo indispensabile.
- Al mattino la massa termica ha rilasciato la grande parte del calore accumulato e gli occupanti devono provvedere a fornire calore supplementare per riscaldare l'ambiente fino a giornata inoltrata.

## LISTA DI CONTROLLO PER UNA CORRETTA PROGETTAZIONE DELL'USO DEL CICLO ANNUALE DELLA MASSA TERMICA

### ORIENTAMENTO

L'abitazione deve essere orientata verso sud, o con un angolo massimo di 30° rispetto al sud, per massimizzare l'accumulo di calore durante la stagione fredda e per semplificare l'ombreggiamento in estate attraverso l'uso di tettoie, balconi e tende.

### LE FINESTRE

Dove il riscaldamento rappresenta l'aspetto più importante da prendere in considerazione, il requisito base è quello di utilizzare finestre relativamente ampie nella parete esposta a sud e finestre relativamente piccole nella parete esposta a nord (nel corso dell'anno le finestre esposte verso nord presentano una perdita netta di energia).

L'area delle vetrate esposte verso sud deve essere dimensionata in modo tale da tener conto di vari fattori, includendo anche le performance d'isolamento del vetro, il livello della massa termica e i requisiti generali per la progettazione dell'abitazione.

Finestre troppo ampie possono essere controproducenti se la perdita di calore durante le notti invernali supera la capacità di catturare l'accumulo di calore durante il giorno.

Possono poi determinare il rischio di surriscaldamento durante il periodo estivo.

Come indicazione di massima, le finestre devono essere pari ad almeno il 15% dell'area del pavimento, per garan-

tire un'adeguata illuminazione diurna, e non superare il 40% dell'area della facciata, se si vuole evitare un'eccessiva perdita di calore.

Si possono utilizzare superfici maggiori se si utilizzano tripli vetri o vetri ad elevato isolamento termico.

Pur essendo preferibile avere ampie finestre posizionate sulla facciata rivolta a sud, è utile poter ottenere ancora dei risparmi con l'utilizzo di una lastra di vetro convenzionale.

Se le performance di raffreddamento rappresentano l'aspetto principale da tenere in considerazione, la presenza di una superficie di finestre più modesta ridurrà l'accumulo termico.

Dovranno avere comunque una dimensione tale da garantire un'illuminazione giornaliera adeguata.

### DISPOSIZIONE DELLE STANZE

Per avere un ottimo riscaldamento passivo, le stanze maggiormente frequentate devono essere previste nel lato esposto a sud dell'abitazione, così da poter beneficiare al massimo dell'accumulo termico ottenibile durante la stagione invernale.

Bagni, stanze di servizio, corridoi, depositi ecc. devono essere localizzati sul lato esposto a nord dell'abitazione.

### VISTA DEL CIELO

Per massimizzare l'accumulo termico durante la stagione invernale, la facciata rivolta verso sud deve avere una vista del cielo relativamente aperta, per permettere alla radiazione solare, con basso angolo d'incidenza, di poter entrare direttamente nell'edificio senza interferenze da parte delle ombre delle tettoie.

Per massimizzare la vista del cielo, si deve evitare di avere edifici e strutture adiacenti che creino un angolo d'ostruzione maggiore di 30° circa sopra l'orizzonte: ogni

punto percentuale di incremento dell'ostruzione sopra i 30° determina all'incirca un punto percentuale d'incremento nell'uso di energia<sub>2</sub>.

Nello sviluppo delle nuove abitazioni si ha l'opportunità migliore per poter ottimizzare al massimo la realizzazione della pianta più congeniale.

## ACCUMULO TERMICO INDIRECTO

Dove la presenza di ostruzioni limita la quantità di radiazione solare diretta che può essere catturata, un po' di calore può essere ancora catturato attraverso la radiazione diffusa e anche dalla radiazione riflessa dal terreno (specialmente dalle pavimentazioni di colore chiaro) così come dagli edifici adiacenti. E' sbagliato pensare che una progettazione solare passiva cerchi di massimizzare solo il quantitativo di luce solare che entra direttamente in un edificio.

## OMBREGGIAMENTO

Una tettoia con una dimensione variabile tra 0,5 e 1,5 m (dipende dall'altezza della finestra) è in grado di ostacolare l'ingresso dei raggi solari, con un ampio angolo di incidenza, durante la parte più calda del periodo estivo.

Durante la stagione invernale le tettoie non ostacolano l'ingresso dei raggi solari che hanno un basso angolo d'incidenza e che sono così in grado di penetrare direttamente all'interno dell'abitazione.

Questa semplice modalità di oscuramento non richiede il controllo dell'utente, ma non offre gli ulteriori benefici che sono in grado di fornire altri sistemi di oscuramento, come ad esempio il controllo dell'abbagliamento e l'aggiunta di isolamento fornita dalle imposte nelle notti fredde.

Le tettoie possono tuttavia essere utilizzate in combinazione con altre forme di oscuramento per ottimizzare le performance nell'intero anno.

## MASSA TERMICA E ISOLAMENTO

Nella maggior parte delle zone climatiche esistenti, la massa termica e l'isolamento sono entrambi dei fattori importanti per ottimizzare le performance termiche di un edificio.

Il posizionamento della massa termica in relazione all'isolamento determina differenti possibili risposte e, per quanto praticabile, la superficie interna di pareti, pavimenti e soffitti costruiti con materiali pesanti dovrebbe essere lasciata termicamente esposta all'assorbimento del calore.

Rifiniture interne, come pannelli di cartongesso o tappeti di grandi dimensioni, possono agire come barriere al flusso di calore, agendo come uno strato isolante.

L'ideale sarebbe che l'isolamento delle pareti esterne fosse collocato dietro lo strato interno di calcestruzzo (ad esempio, nell'intercapedine).

Alcuni tipi di costruzioni di pareti in calcestruzzo possono utilizzare un isolamento internamente al taglio termico.

Tuttavia un livello significativo di massa termica si può ancora ottenere all'interno di questi edifici se vengono utilizzati solai in calcestruzzo.

La regola base per massimizzare l'effetto della massa termica è che, per quanto praticabile, solai e pareti in cal-

cestruzzo devono essere termicamente esposte all'interno dell'edificio utilizzando, ad esempio, sistemi di finitura quali vernici, piastrelle e malte umide.

Nei climi caldi, dove l'attenzione si focalizza nei confronti dei sistemi di raffreddamento, la massa termica ha anche un'altra funzione: oltre al miglioramento della capacità di assorbire calore dalle fonti disponibili attraverso le finestre e le fonti interne (come precedentemente descritto), rallenta e riduce la conduzione del calore disponibile attraverso le pareti esterne ed il tetto.

Le strutture pesanti sono particolarmente efficienti in questo aspetto.

Se gli aumenti di calore sono rallentati in modo sufficiente, non si avvertono fino alla sera/notte, quando il rischio di surriscaldamento può essere moderato e l'aria fresca notturna è sufficiente a compensare il lieve calore rilasciato dalle superfici interne.

Per sfruttare al massimo questo effetto, l'obiettivo è quello di progettare la struttura per garantire un tempo di sfasamento adeguato dei picchi di temperatura.

Per le pareti esposte a est la scelta migliore generalmente è quella di avere o uno sfasamento molto corto o uno sfasamento molto lungo, tuttavia la seconda opzione richiederebbe la realizzazione di una parete molto spessa che non risulterebbe essere praticabile.

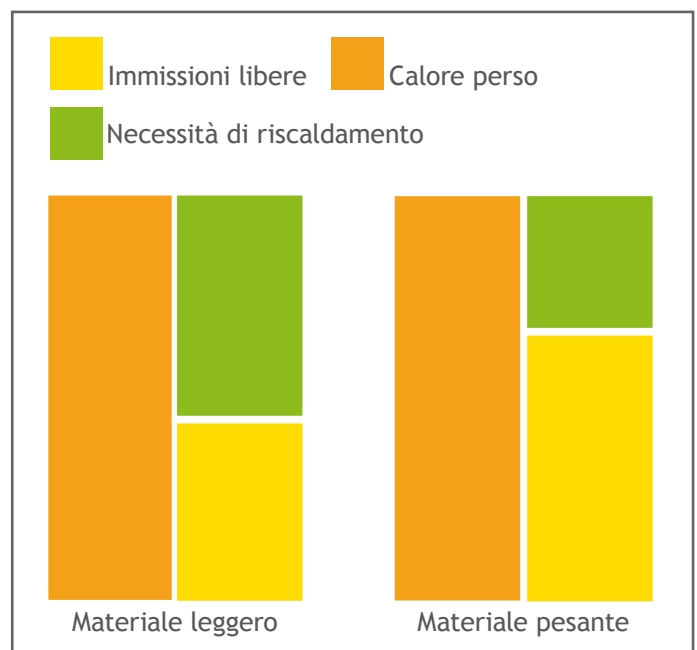
Per le pareti esposte a sud uno sfasamento di circa 10-12 ore è in grado di ritardare il calore di mezzogiorno sino alla tarda sera/notte. Un ritardo simile o leggermente inferiore (8 ore) è richiesto anche per le pareti esposte a ovest, dato che restano esposte fino a poche ore prima del tramonto.

Le pareti esposte a nord non richiedono uno sfasamento dato che il riscaldamento solare è minimo.

Per i tetti esposti al riscaldamento solare per tutta la giornata, si richiede uno sfasamento molto grande per ritardare la penetrazione del calore fino alla sera.

Però questa soluzione non è spesso perseguibile dato che richiederebbe la costruzione di strutture molto pesanti, così l'utilizzo di isolamenti addizionali è tipicamente la soluzione che viene più utilizzata<sub>3</sub>.

Illustrazione © CIMbéton



## VENTILAZIONE

Per avere ottime performance durante il periodo estivo, le stanze devono essere progettate per permettere una ventilazione incrociata, che è particolarmente efficiente per il raffreddamento notturno.

Questo è ottenuto posizionando delle finestre sui lati adiacenti di una stanza per massimizzarne il flusso d'aria.

Una ventilazione realizzata su un singolo lato, dove l'aria entra e esce attraverso una o più finestre posizionate sulla stessa parete, è meno efficiente ma ancora adeguata per stanze piccole, specialmente quando la finestra garantisce un'area libera piuttosto ampia quando è aperta.

La velocità di ventilazione ottimale per il raffreddamento notturno dipende dalle specifiche caratteristiche della dimora, ma per avere il massimo effetto ci dovrebbero essere fino a dieci ricambi d'aria all'ora.

Una velocità maggiore di ricambio d'aria può migliorare la velocità di raffreddamento, ma solo limitatamente.

Questo per il fatto che la velocità di raffreddamento dipende anche dal tempo in cui l'aria rimane a contatto con la superficie interna delle pareti: ad una velocità elevata di ricambio d'aria corrisponde un tempo minimo di contatto.

## CONTROLLI ESEGUITI DAGLI OCCUPANTI

La strategia per i controlli basilari nelle giornate calde prevede che le finestre debbano rimanere chiuse per pre-

venire l'ingresso dell'aria calda nella dimora e che l'ombreggiamento debba essere utilizzato per limitare il riscaldamento diretto del sole.

Il raffreddamento è realizzato dalla massa termica. Alla sera quando la temperatura ambientale scende al di sotto di quella interna, le finestre devono essere aperte per permettere la ventilazione notturna ed il raffreddamento dell'edificio.

Durante la stagione invernale, le finestre sono tenute serrate, con la ventilazione realizzata attraverso bocchette di ventilazione o altre forme di ventilazione di base controllata.

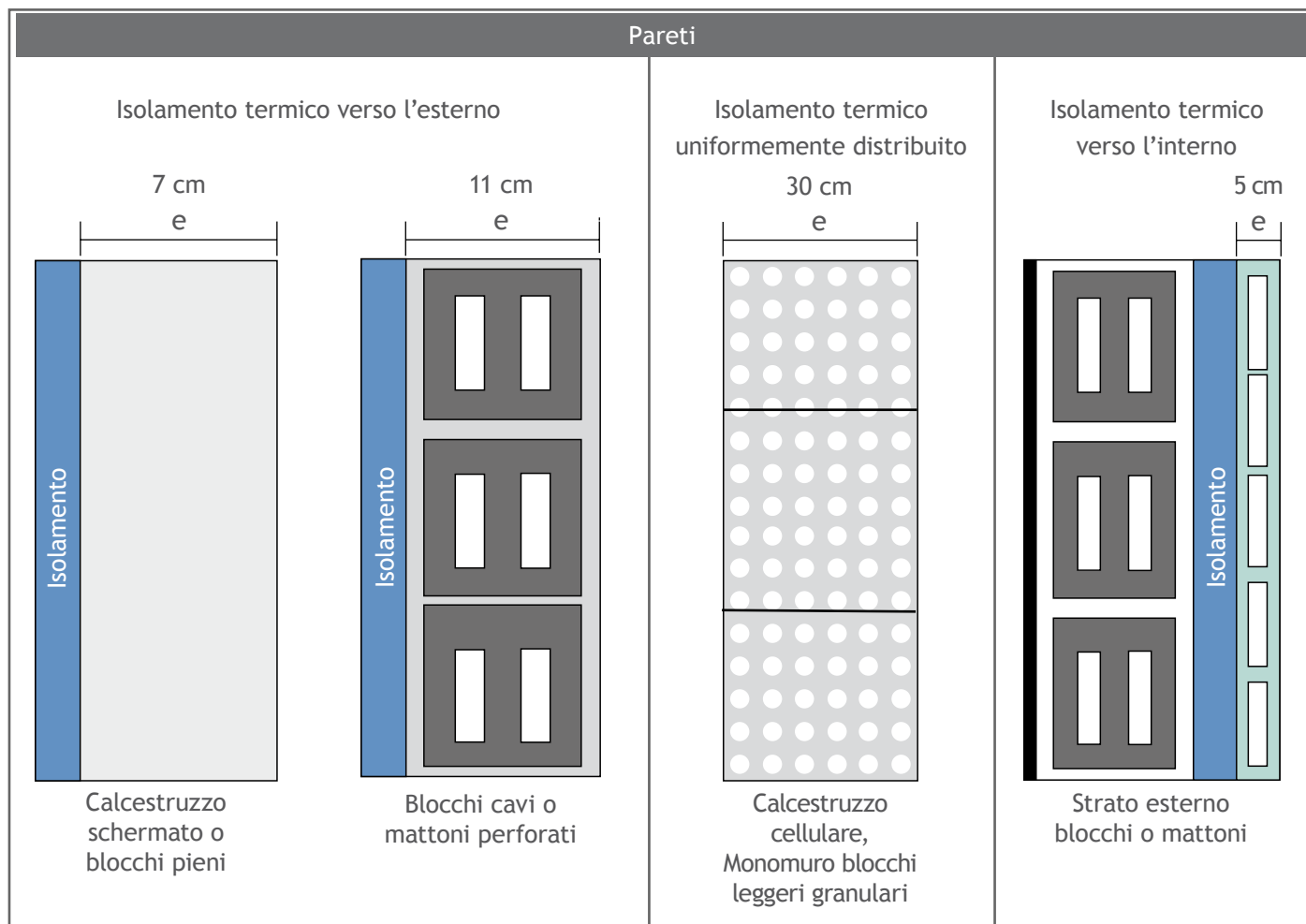
Dove possibile le imposte, gli avvolgibili, le tende e altri dispositivi devono essere utilizzati per cercare di ridurre le perdite di calore notturne dalle finestre.

## ASPETTO ARCHITETTONICO

Un pensiero comune non corretto sull'utilizzo della progettazione solare passiva e della massa termica è che generalmente questo tipo di progettazione, porti necessariamente alla realizzazione di abitazioni dall'aspetto non convenzionale e che non si integrano nell'ambiente cittadino.

Questa aspettativa non è corretta e le caratteristiche di questo tipo di progettazione possono essere tranquillamente introdotte nella progettazione dei normali range di volumi delle case senza importanti cambiamenti nell'aspetto, nei costi e nella commerciabilità dell'edificio<sup>4</sup>.

Illustrazione © CIMbéton



# MASSA TERMICA: LINEE GUIDA SULLE BEST PRACTICE PER GLI UFFICI E L'EDILIZIA COMMERCIALE

L'utilizzo del calcestruzzo per fornire massa termica per gli uffici e l'edilizia commerciale è un approccio ben consolidato per il raffreddamento passivo, che può anche migliorare le qualità strutturali e visive dell'edificio. La massa è tipicamente fornita dal solaio di calcestruzzo che avrà un sistema di ventilazione nel soffitto e/o sotto al pavimento. Il solaio fornisce un grande bacino per il calore in grado di neutralizzare il relativamente elevato accumulo di calore prodotto dalle apparecchiature, dall'illuminazione ecc.

Come per gli altri edifici con elevata massa termica, l'ambiente interno risponde lentamente ai cambiamenti della temperatura ambientale, aiutando la stabilizzazione delle condizioni durante le stagioni calde.

A questo meccanismo contribuisce la temperatura radiante, relativamente bassa, del calcestruzzo esposto, che aiuta a mantenere un ambiente di lavoro confortevole, permettendo di tollerare temperature dell'aria più alte che non sarebbe altrimenti possibile sopportare

## RAFFREDDAMENTO

Oltre alla riduzione dei picchi delle temperature ottenute attraverso l'assorbimento dell'accumulo di calore, la massa termica ritarda l'emissione di calore del suo picco per circa sei ore.

In un ambiente d'ufficio questo va particolarmente bene, dato che il picco di temperatura si verifica nel tardo pomeriggio o alla sera, proprio quando gli occupanti hanno lasciato l'edificio.

A questo punto il ciclo di riscaldamento si inverte con l'accumulo del calore solare fortemente ridotto e una piccola quantità di calore generato dagli occupanti, dalle apparecchiature e dall'illuminazione.

Visto che la sera avanza e la diminuzione della temperatura dell'aria esterna rende la ventilazione notturna un mezzo efficiente per rimuovere il calore accumulato e così il ciclo di raffreddamento può continuare anche il giorno seguente.

## RISCALDAMENTO

Il rapporto tra raffreddamento e riscaldamento tende ad essere elevato negli uffici e negli edifici commerciali a seguito del significativo carico interno determinato dall'illuminazione, dalle apparecchiature e dalle persone.

Questo fa sì che le performance estive della massa termica siano da tenere in massima considerazione per questo tipo di ambiente.

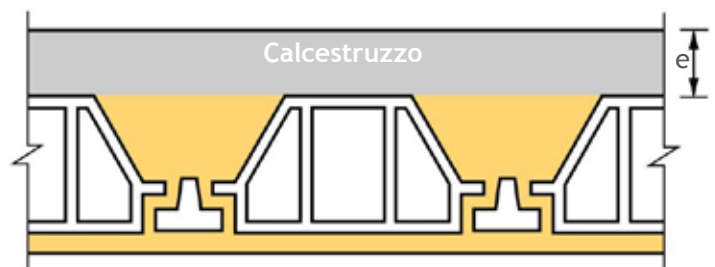
L'efficacia della progettazione passiva solare per il riscaldamento può anche essere limitata dal modello di occupazione dell'ambiente di ufficio, che è tipicamente circoscritto alla giornata.

Tuttavia, il principio di progettazione basilare può essere utilizzato per massimizzare l'illuminazione giornaliera, senza incrementare troppo il rischio di surriscaldamento dovuto all'irraggiamento solare.

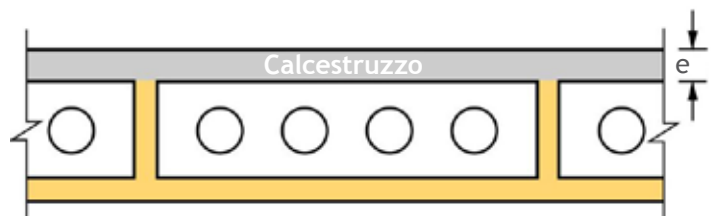
## OPZIONI STRUTTURALI TIPICHE PER I SOLAI

Illustrazione © CIMbétone

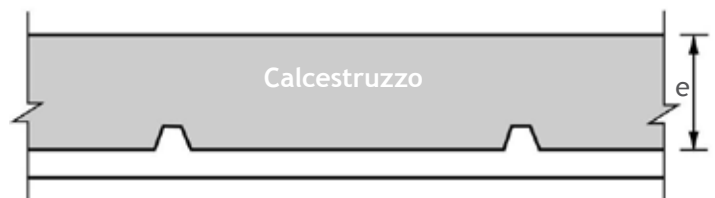
Solaio a travetti e blocchi



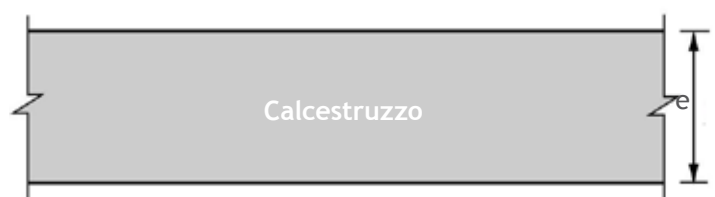
Solaio alveolare



Lastre prefabbricate per solai



Solaio da getto in opera



## LISTA DI CONTROLLO PER LA PROGETTAZIONE DELLA MASSA TERMICA IN UFFICI E EDIFICI COMMERCIALI

### SISTEMI ATTIVI E PASSIVI

Per edifici ben ombreggiati e con bassa occupazione, la combinazione della massa termica e della ventilazione naturale attraverso le finestre può essere sufficiente per garantire condizioni ambientali interne confortevoli, evitando problemi di surriscaldamento.

Ambienti con maggiori esigenze possono richiedere l'aggiunta di ventilazione meccanica per incrementare la capacità di raffreddamento e migliorare il controllo nel ciclo annuale.

Questo porta alla realizzazione di "sistemi misti" che ottimizzano l'utilizzo della ventilazione passiva e meccanica durante l'anno.

Un'ulteriore opzione disponibile è lo sfruttamento delle lastre per solai raffreddate ad acqua, conosciute anche con il nome di calcestruzzo termo attivo, che fornisce un approccio ibrido tale da massimizzare le performance di raffreddamento che possono sfruttare anche le risorse naturali dell'acqua.

Per quegli ambienti dove non è possibile evitare l'utilizzo dei sistemi convenzionali di condizionamento, la massa termica può comunque rappresentare un sistema per limitare in modo significativo i consumi energetici, potendone spostare l'utilizzo durante le ore notturne, quando l'energia consumata risulta essere meno costosa.

### SPESSORE OTTIMALE DEL SOLAIO

Le lastre dei solai sono tipicamente il sistema per fornire la maggior parte della massa termica ad un edificio e la possibilità di estendere il loro spessore può migliorare le loro performance di raffreddamento.

La luce e il carico sono le caratteristiche che determinano lo spessore del solaio, ma bisogna tenere in considerazione anche i seguenti aspetti:

- E' generalmente accettato che il calore possa penetrare fino a 100 mm all'interno del calcestruzzo durante un semplice ciclo di 24 ore di riscaldamento e raffreddamento.  
Tuttavia, per cicli più prolungati come quelli che si verificano durante i lunghi periodi di caldo estivo, una maggiore profondità può essere un vantaggio, dato che l'incremento della capacità di assorbire calore ritarda o elimina la saturazione del calcestruzzo da parte del calore.
- Un solaio termicamente esposto sulle due superfici (ad esempio un soffitto esposto e una ventilazione sotto il

pavimento), può utilizzare uno spessore molto più grande di 100 mm, così l'area superficiale per il trasferimento del calore è effettivamente raddoppiata.

- Oltre a permettere al calore di fluire verso e dalla parte superiore del solaio, la ventilazione sotto il pavimento può anche essere configurata in modo tale da creare una turbolenza d'aria nei vuoti del pavimento, che accresce la velocità di raffreddamento e permette al calore di penetrare ulteriormente all'interno della parte superiore della superficie.
- Soffitti profilati (come ad esempio soffitti a cassettoni, sagomati o a forma d'onda) permettono un incremento dell'area superficiale che migliora il trasferimento convettivo del calore, incrementando le performance di raffreddamento totale.

Tenendo in considerazione i punti sopra descritti, gli edifici con soffitti esposti e una ventilazione sotto il pavimento, possono trarre vantaggio dalla massa termica disponibile nel calcestruzzo presente in un solaio di spessore uguale o maggiore di 250 mm.

### CONTROLLI

Il raffreddamento notturno deve sfruttare al massimo il vantaggio derivante dalle condizioni ambientali pur evitando un eccessivo raffreddamento, che potrebbe causare disagio all'inizio della giornata, con il conseguente risultato di dover riscaldare l'ambiente.

Un sistema misto deve sfruttare al massimo la ventilazione naturale in modo tale da ridurre al minimo l'energia utilizzata dai ventilatori.

Per raggiungere tali obiettivi, possono essere utilizzate un certo numero di differenti strategie di controllo con approcci diversi.

Tuttavia, ricerche eseguite da BSRIA<sub>5</sub> in Inghilterra hanno mostrato che spesso non è necessario seguire una strategia di controllo molto complessa.

Un'attenta selezione del valore iniziale del settaggio di controllo per iniziare il raffreddamento notturno è stata, infatti, identificata come un fattore di grande importanza. Come risultato del monitoraggio e delle ulteriori ricerche eseguite attraverso l'utilizzo delle simulazioni al computer, BSRIA raccomanda le seguenti strategie di raffreddamento sperimentate per il clima inglese, che possono variare in funzione del clima dove devono essere applicate:

- Selezionare una o più combinazioni dei seguenti criteri per iniziare il raffreddamento notturno:
  - Picco di temperatura della zona (in ogni zona) > 23° C.
  - Media della temperatura giornaliera di zona (in ogni zona) > 22° C.
  - Temperatura media esterna pomeridiana > 20° C.
  - Temperatura del solaio > 23° C.
- Il raffreddamento notturno deve continuare fino al soddisfacimento delle seguenti condizioni:

- Temperatura della zona (in ogni zona) > della temperatura esterna (più una tolleranza per il recupero del calore dei ventilatori se viene utilizzata anche una ventilazione meccanica).
- Temperatura della zona (in ogni zona) > del valore di settaggio del riscaldamento.
- Minima temperatura dell'aria esterna > 12° C.

● Il raffreddamento notturno deve essere potenzialmente disponibile:

- Giorni: sette per settimana.
- Orario: l'intero periodo di non occupazione dello stabile.
- Sfasamento: se il raffreddamento notturno è operato per cinque notti o più, deve essere continuato per ulteriori due notti dopo che la temperatura esterna dell'aria scende sotto il valore di settaggio del controllo.

## LUCE DEL GIORNO

soffitti con calcestruzzo esposto possono contribuire a garantire una buona penetrazione della luce del giorno quando questa è stata progettata all'unisono con la facciata.

L'obiettivo è quello di massimizzare l'illuminazione giornaliera dentro lo spazio senza causare un eccessivo abbagliamento e riscaldamento solare.

Una finestra con una traversa alta permette alla luce di essere riflessa dal soffitto viaggiando lungo tutta la zona perimetrale.

L'utilizzo di soffitti profilati (ad esempio a cassettoni) che corrono paralleli alla traiettoria della luce del giorno può migliorare la penetrazione della stessa.

Le lastre possono anche essere leggermente angolate verso l'alto in prossimità di atri o finestre per incrementarne il risultato.

Oltre a migliorare l'illuminazione giornaliera, le lastre sagomate possono contribuire positivamente all'aspetto visivo per la progettazione dell'illuminazione, creando aree di contrasto che aiutano a definire la geometria della stanza. Idealmente si deve raggiungere un coefficiente di riflessione superficiale elevato, pari ad almeno il 70-80% e un fattore di brillantezza non superiore al 10% per evitare che le lampade siano visibili.

Una semplice tinteggiatura con un'emulsione bianca è un modo particolarmente efficace per raggiungere l'obiettivo e fornire una soluzione economica che è stata largamente utilizzata.

Un'altra opzione è quella di utilizzare del cemento bianco nella miscela per ottenere una superficie luminosa che generalmente non richiede manutenzione.

L'utilizzo di un soffitto non tinteggiato realizzato con cemento bianco richiede l'esecuzione di una gettata di elevato standard per ottenere una finitura compatibile con una bella facciata.

## OMBREGGIAMENTO

Gli avvolgibili interni intercettano ed assorbono la radiazione solare dopo che è entrata all'interno dell'edificio e dopo che è stata restituita una porzione significativa di questa

dentro la stanza.

Di conseguenza quando si utilizza questo metodo come unico mezzo per l'ombreggiamento, generalmente si fornisce un'attenuazione insufficiente del calore solare negli edifici che utilizzano il raffreddamento passivo.

Idealmente l'ombreggiamento principale deve essere realizzato all'esterno per attenuare questo problema.

Gli sviluppi della recente tecnologia dei vetri hanno permesso di applicare un rivestimento che è in grado di separare le lunghezze d'onda più lunghe, correlate al riscaldamento solare, dalle lunghezze d'onda più corte, correlate alla luce del visibile.

Questo può essere un beneficio; tuttavia visto che esiste una larga sovrapposizione della lunghezza d'onda tra i due aspetti, c'è un limite al modo con cui questa tecnologia può essere utilizzata per minimizzare l'aumento del riscaldamento.

I sistemi di ombreggiamento orizzontali posti sulla facciata esposta verso sud lavorano molto bene nel periodo estivo ma, dato che, di fatto, non sono profondi, risultano meno efficaci in primavera e autunno, quando l'altezza del sole sull'orizzonte è minore.

Per tenere in considerazione questo aspetto e fornire qualche controllo sull'irraggiamento solare, una combinazione di sistemi di ombreggiamento fissi esterni e con avvolgibili interni regolabili, può garantire un'ottima soluzione.

## PIANIFICAZIONE DEL PROGETTO

Le responsabilità tradizionali e i limiti all'interno di un team di progetto possono essere messi in discussione in progetti che sfruttano soluzioni con elevata massa termica, come ad esempio l'utilizzo dello stratagemma di modificare le lastre dei solai rendendole non più solo puro e semplice elemento strutturale, ma qualcosa che abbia implicazioni su un range di soluzioni progettuali quali l'estetica, l'illuminazione, l'acustica e le performance termiche.

Una riunione preliminare in cui vengono nominati tutti i membri del team di progetto è essenziale, se il risultato deve essere il successo dell'utilizzo di un'elevata massa termica nel progetto, ed i termini dell'accordo devono prevedere che:

- **Debbano essere definiti e riconosciuti i lavori aggiuntivi necessari per l'adozione di una strategia di raffreddamento passivo.**  
Ad esempio, nel caso di progetti che utilizzino un'elevata massa termica, è necessario effettuare una valutazione di calcolo fluido dinamico del progetto per garantire la messa a punto e il monitoraggio successivo alla consegna dell'edificio completato.
- **Mentre di solito c'è una chiara demarcazione di responsabilità tra l'architetto e gli ingegneri incaricati della progettazione dei servizi dell'edificio, negli edifici ad elevata massa termica esiste una maggiore sovrapposizione di responsabilità tra i ruoli delle parti in causa e quindi una potenziale confusione sulle responsabilità.**
- **Al punto di vista degli ingegneri incaricati per la progettazione infrastrutturale e dei servizi dell'edificio è dato lo stesso peso di quello degli architetti per quanto**

riguarda gli argomenti che possono influenzare le eventuali performance dei sistemi di raffreddamento. L'opportunità di incrementare la resa di raffreddamento sfruttando la massa termica può essere vanificata dove a prevalere risultino essere solo le considerazioni estetiche.

Dove è contemplata l'opzione di utilizzare la massa termica per il raffreddamento, è essenziale che questa costituisca parte integrante delle direttive di progetto e che le decisioni chiave, riguardanti questo aspetto siano prese senza indugio prima che venga intrapreso ogni lavoro di progettazione architettonica di una certa importanza.

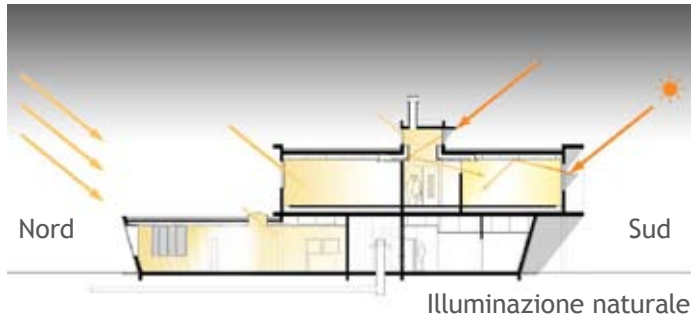
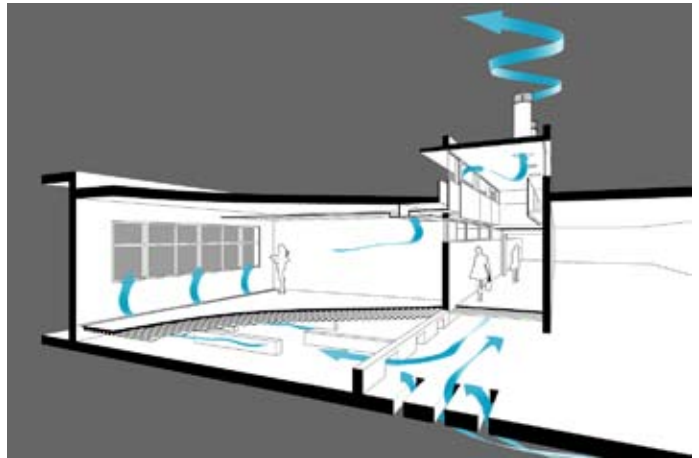
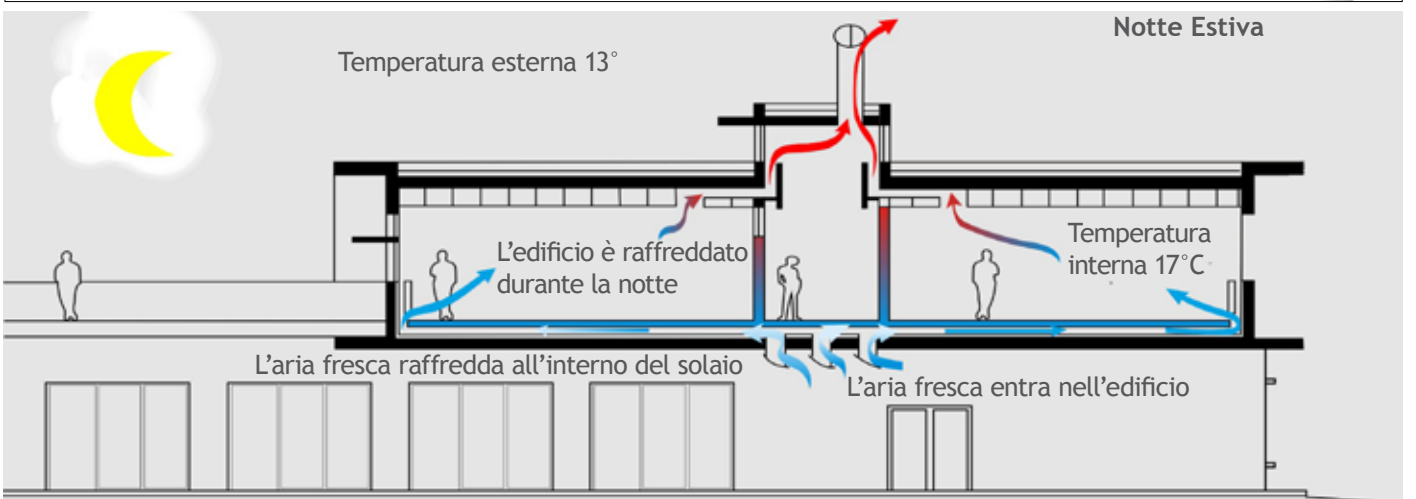
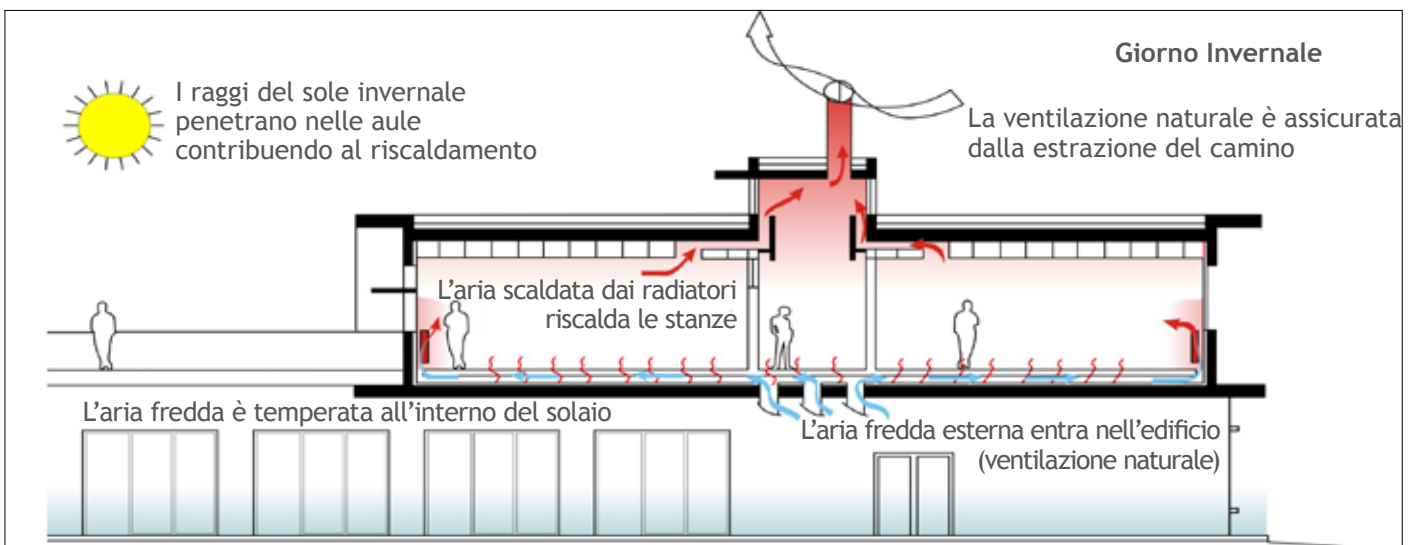


Foto: © Abbadie

Illustrazioni riportate su questa pagina:  
Liceo di Pic-Saint-Loup Architetto: Pierre Tourre  
Responsabile di progetto: Pierre Sanchis



## SOLUZIONI COSTRUTTIVE PER SOLAI: SOLAI ESPOSTI CON VENTILAZIONE NATURALE

I solai piani di calcestruzzo sono facili, veloci da costruire ed economici per lunghezze fino a circa 9 m (13 m con post compressione).

Rappresentano anche il modo più semplice per fornire un alto grado di massa termica.

Quando sono utilizzate contemporaneamente ad una ventilazione naturale ottenibile attraverso l'uso di finestre apribili, i solai possono fornire un raffreddamento di circa 15-20 W/m<sup>2</sup>.

L'incremento dell'area della superficie per i solai profilati o a cassettoni migliora le performance termiche.

Mentre questa soluzione ha un minimo effetto sul trasferimento del calore radiante, incrementa invece molto il trasferimento di calore per via convettiva, giungendo fin quasi a raddoppiare il valore come evidenziato in alcuni esempi<sup>6</sup>.

La capacità di raffreddamento del solaio profilato si aggira tipicamente nell'ordine di 20-25 W/m<sup>2</sup>.

Oltre alle loro caratteristiche estetiche, i solai profilati aiutano a massimizzare la penetrazione dell'illuminazione diurna e forniscono una migliore qualità nel controllo acustico.

I costi della cassaforma sono generalmente più alti, ma il

prefabbricato è un'opzione che potenzialmente permette risparmi nei tempi di cantiere e garantisce i benefici qualitativi che può offrire un getto eseguito in un ambiente più controllato.

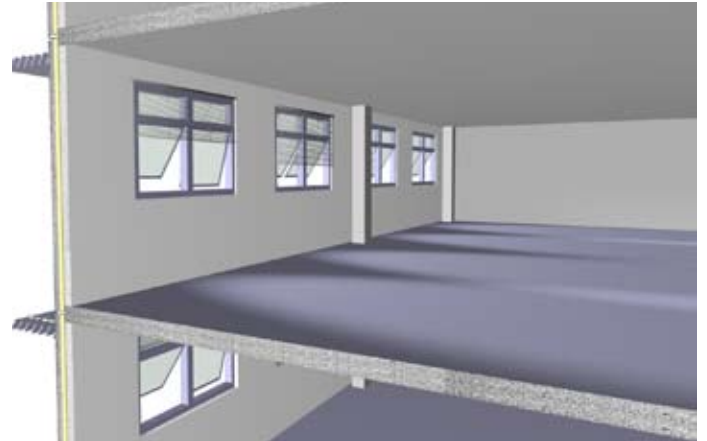


Illustrazione © Concrete Centre

## SOLUZIONI COSTRUTTIVE PER SOLAI: SOLAI ESPOSTI CON VENTILAZIONE MECCANICA SOTTO IL PAVIMENTO

Le pavimentazioni rialzate sono considerate generalmente molto utili per gestire agevolmente il cablaggio degli edifici adibiti ad ufficio e possono anche fornire un mezzo utile per gestire la ventilazione attraverso aperture sul pavimento. Questo ha il beneficio di ridurre l'installazione di condotti e permette alle bocchette poste sul pavimento di essere facilmente spostate per venire incontro alle esigenze di riallocazione degli spazi d'ufficio.

Un ulteriore beneficio di questa tecnica è il contatto diretto che si crea tra l'aria e la parte superiore del solaio, che migliora l'utilizzo della massa termica nella porzione superiore del solaio (vedi il paragrafo sullo spessore ottimale del solaio).

Se utilizzata in combinazione con un soffitto profilato, come avviene abbastanza comunemente, la capacità complessiva di raffreddamento generata dalle lastre del solaio sarà dell'ordine di 25-35 Wm<sup>2</sup>.

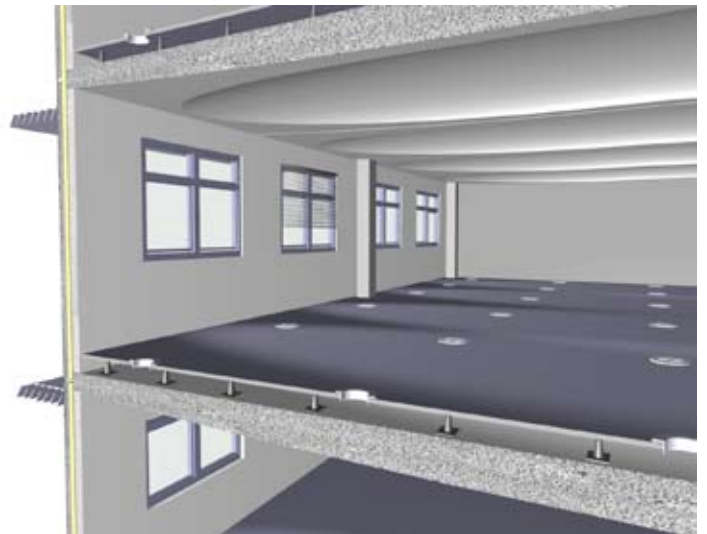


Illustrazione © Concrete Centre

## SOLUZIONI COSTRUTTIVE PER SOLAI: SOLAI ALVEOLARI ESPOSTI CON VENTILAZIONE MECCANICA

I solai alveolari prefabbricati con ventilazione meccanica fornita attraverso gli alveoli, permettono un trasferimento di calore eccellente tra l'aria e il calcestruzzo, permettendo una capacità di raffreddamento fino a 40 W/m<sup>2</sup>.

Sono eccellenti anche i risultati che si riescono a raggiungere durante la stagione invernale.

Questo fa sì che l'utilizzo dei solai alveolari per il riscaldamento ed il raffreddamento dell'ambiente sia un'ottima soluzione progettuale da adottare per gestire il ciclo annuale.

Questa tecnica è nata in Svezia ed è commercializzata con il marchio "TERMODECK".

E' stata utilizzata per la realizzazione di moltissimi edifici che presentano un basso consumo d'energia.

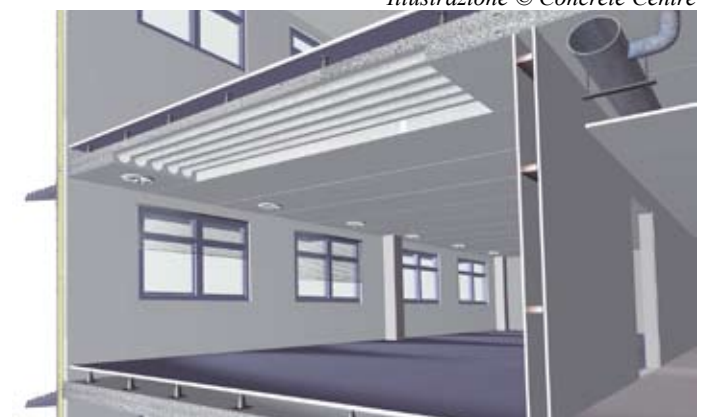


Illustrazione © Concrete Centre

## SOLUZIONI COSTRUTTIVE PER SOLAI: SOLAI ESPOSTI CON RAFFREDDAMENTO/RISCALDAMENTO AD ACQUA

L'utilizzo dell'acqua al posto dell'aria per raffreddare le lastre dei solai permettono di raggiungere maggiori capacità di raffreddamento attraverso il significativo incremento della velocità di trasferimento del calore.

Nei casi in cui esistano dubbi sull'efficacia della durata della ventilazione notturna, i solai con raffreddamento ad acqua permettono di fornire un contributo maggiormente prevedibile che può, se necessario, essere mantenuto attivo per tutte le 24 ore del giorno.

Il sistema è tipicamente costituito da tubi di polibutilene racchiusi nel solaio, circa 50 mm sotto la superficie, attraverso i quali l'acqua è fatta circolare ad una temperatura di circa 14-20°C durante l'estate e a 25-40°C durante la stagione invernale.

La tecnologia è applicabile sia a solai gettati in opera che a solai prefabbricati e può fornire una capacità di raffreddamento di circa 60-80 W/m<sup>2</sup>.

La velocità di risposta, utilizzando il raffreddamento con acqua, risulta relativamente veloce; servono circa tre minuti nel cambio della temperatura del flusso per avere un effetto percettibile sulla superficie del solaio.

Questo sistema fornisce un livello di controllo non facilmente raggiungibile con altri sistemi. In pratica, questo sistema assicura il mantenimento, nel solaio, di un livello di temperatura stabile, prevenendo la possibilità di un incremento fino al punto dove, altrimenti, si può verificare un surriscaldamento durante le condizioni di picco.

Differenti opzioni possono essere utilizzate per fornire acqua raffreddata, incluso il raffreddamento meccanico,

## SOLUZIONI COSTRUTTIVE PER SOLAI: SOLAI ESPOSTI CON TRAVI REFRIGERATE

Negli anni recenti la combinazione di travi refrigerate e soffitti di calcestruzzo esposti è divenuta una delle soluzioni più diffuse, utilizzata nei progetti delle nuove costruzioni e in quelli di ristrutturazione. In particolare le travi refrigerate multi servizi hanno trovato il consenso di molti architetti e utilizzatori.

Questo può essere largamente attribuito alla semplificazione dei servizi localizzati sul soffitto, utilizzando quello che è essenzialmente un sistema impacchettato che può, se richiesto, evitare completamente la necessità di realizzare un soffitto sospeso.

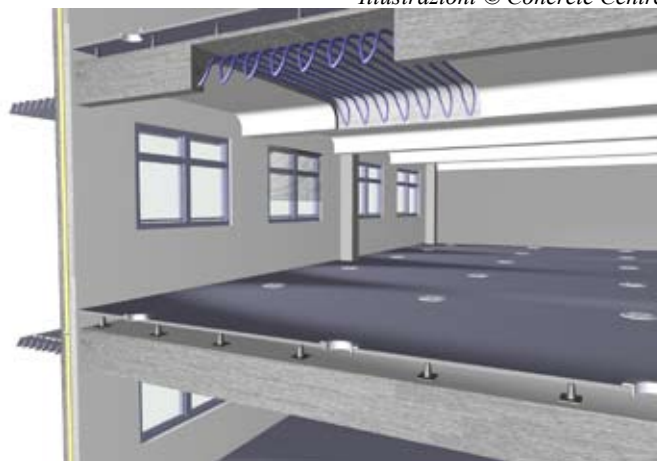
Un'altra caratteristica chiave delle travi refrigerate è la loro abilità di collaborare con la struttura del fabbricato integrando il raffreddamento passivo della massa termica.

Il valore massimo di raffreddamento raggiungibile attraverso l'utilizzo delle travi refrigerate è dell'ordine di 100-160 W/m<sup>2</sup>, con l'ulteriore contributo del raffreddamento fornito dalla massa termica dei solai e potenzialmente dal sistema di ventilazione, anche se l'aria è condizionata.

La ventilazione è essenzialmente approvvigionata separatamente, generalmente utilizzando sia la ventilazione naturale sia una modalità di sistema di miscelazione sotto il pavimento.

La trave opera tipicamente con acqua refrigerata o raffreddata tra i 14°C e i 18°C, offrendo la possibilità di utilizzare

*Illustrazioni © Concrete Centre*



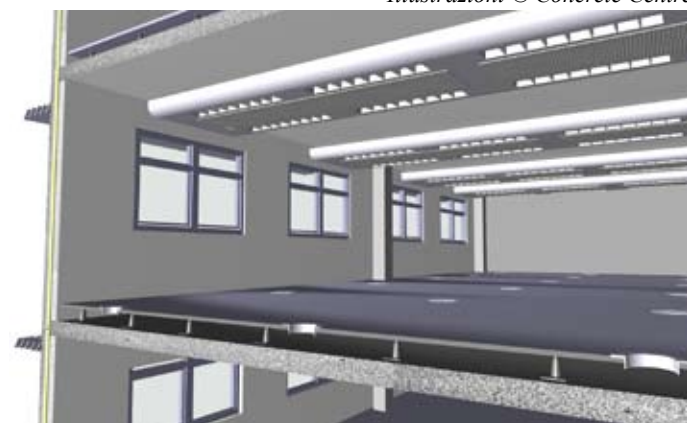
l'utilizzo di una sorgente di acqua naturale o una combinazione dei due sistemi.

La temperatura relativamente elevata dell'acqua di raffreddamento (richiesta per evitare la formazione della condensazione) permette l'utilizzo di acqua proveniente da differenti sorgenti come fiumi, laghi o pozzi.

Un raffreddamento meccanico può anche essere utilizzato quando una sorgente naturale non sia un'opzione perseguibile.

Se la massa termica è progettata per ridurre il picco del carico di raffreddamento (che è utilizzato per dimensionare lo scambiatore refrigerante), si possono ottenere risparmi di investimento attraverso un impianto di raffreddamento relativamente piccolo.

*Illustrazioni © Concrete Centre*



acqua proveniente da differenti fonti come laghi e pozzi.

Il raffreddamento passivo fornito dalla massa termica è realizzato, nel modo tradizionale, con le travi refrigerate utilizzate durante il giorno, per potenziare la capacità globale di raffreddamento.

In alcune installazioni, specialmente quelle che utilizzano sorgenti d'acqua naturale, è opportuno utilizzare le travi anche durante la notte durante la stagione più calda per potenziare il raffreddamento notturno dovuto alla ventilazione.

**Note in calce:**

- 1** Thermal mass for Housing, The Concrete Centre, 2008
- 2** Edwards B. Rough Guide to Sustainability, 2nd Edition, RIBA Enterprises, 2005
- 3** Balaras C. Passive Cooling of Buildings, 1997
- 4** Planning for Passive Solar design, Energy Efficiency Best Practice Program, Department of Trade and Industry, produced by BRECSU/BRE
- 5** Building Service and Research Association, Bracknell, England
- 6** Barnard N., Concannon P., Jaunzens D., Modeling the performance of Thermal Mass, Information Paper IP6/01, BRE, 2001



