



PICCHI & MEOLI

STUDIO ASSOCIATO

RISCALDAMENTO A PAVIMENTO

ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI

Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli

MAR. 06

PUBBLICAZIONE

00

PAGINA
1 DI 1

IMPIANTI A PAVIMENTO RADIANTE

ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI



PICCHI & MEOLI

STUDIO ASSOCIATO

RISCALDAMENTO A PAVIMENTO

ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI

Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli

MAR. 06

PUBBLICAZIONE

00

PAGINA
1 DI 35

INDICE

1	FENOMENOLOGIA DELLA CLIMATIZZAZIONE PER IRRAGGIAMENTO	4
1.1	Introduzione.....	4
1.2	Il riscaldamento a pannelli radianti	5
1.3	Il raffrescamento a pannelli radianti	6
1.4	Aspetti igienico - sanitari	7
2	FONDAMENTI DI COMFORT TERMOIGROMETRICO	8
2.1	Introduzione.....	8
2.2	Cenni di termoregolazione del corpo umano.....	8
2.3	Bilancio di energia sul corpo umano	9
2.3.1	Potenza metabolica.....	10
2.3.2	Potenza meccanica	10
2.3.3	Potenza termica dispersa per evaporazione dalla pelle	11
2.3.4	Potenza termica dispersa per sudorazione	11
2.3.5	Potenza termica dispersa nella respirazione.....	12
2.3.6	Potenza termica dispersa per convezione.....	12
2.3.7	Potenza termica dispersa per convezione.....	13
2.3.8	Potenza termica secca. Temperatura operativa.....	13
2.3.9	Resistenza termica dell'abbigliamento	13
2.3.10	Potenza termica dispersa per conduzione	14
2.4	Comfort termico ed indice di discomfort globale: PMV.....	14
2.4.1	Generalità sugli indici di discomfort globale.	15
2.4.2	L'indice PMV.	16
2.5	Discomfort locale.....	17
2.5.1	Elevata differenza della temperatura dell'aria	18
2.5.2	Pavimento troppo caldo o troppo freddo.	18
2.5.3	Correnti d'aria.....	19
2.5.4	Elevata asimmetria della temperatura piana radiante.	20
2.6	Requisiti di benessere raccomandati.	20
2.6.1	Attività leggera (M < 1,2 met) in condizioni invernali ($I_{cl} = 1,0$ clo)	20
2.6.2	Attività leggera (M < 1,2 met) in condizioni estive ($I_{cl} = 0,5$ clo).	21
2.7	Specificità per impianti a pavimento.....	21



PICCHI & MEOLI

STUDIO ASSOCIATO

RISCALDAMENTO A PAVIMENTO

ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI

Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli

MAR. 06

PUBBLICAZIONE

00

PAGINA
2 DI 35

2.7.1	Discomfort globale.....	21
2.7.2	Discomfort locale, pavimento	22
2.7.3	Discomfort locale, correnti d'aria	22
2.7.4	Discomfort locale, gradiente verticale di temperatura	22
2.7.5	Discomfort locale, asimmetria della temperatura piana radiante.....	22
3	CRITERI PROGETTUALI E COSTRUTTIVI PER GLI IMPIANTI A PAVIMENTO.....	23
3.1	Introduzione.....	23
3.2	Condizioni di posa	23
3.2.1	Situazione costruttiva.	23
3.2.2	Sottofondo portante.	23
3.2.3	Strati di livellamento.	24
3.3	Componenti della struttura del pavimento.....	24
3.3.1	Strato di isolamento.....	24
3.3.2	Striscia isolante di bordo.	25
3.3.3	Strato di protezione.	26
3.3.4	Strato di supporto (o di ripartizione del carico).....	27
3.3.5	Giunti.....	28
3.4	Installazione delle tubazioni	28
3.4.1	Conservazione e trasporto.	28
3.4.2	Distanze.	29
3.4.3	Raccordi.	29
3.4.4	Ancoraggi.	29
3.4.5	Strato barriera all'ossigeno.....	29
3.5	Prova di tenuta - avviamento.....	29
3.5.1	Prova di tenuta.	29
3.5.2	Prova di tenuta.	30
3.5.3	Rivestimento del pavimento.	31
3.6	Regolazioni.....	31
3.6.1	Regolazione con miscelatrice a 3 vie	31
3.6.2	Generatore di calore con temperatura di ritorno minima	32
3.6.3	Generatore di calore senza temperatura di ritorno minima	33
3.6.4	Generatore di calore con circolazione forzata dell'acqua.....	33
3.6.5	Combinazione generatore di calore/refrigeratore d'acqua	34

3.6.6 Generatori di calore alternativi 34

1 FENOMENOLOGIA DELLA CLIMATIZZAZIONE PER IRRAGGIAMENTO

1.1 Introduzione

Nel riscaldamento degli ambienti, l'impiego di ampie superfici di scambio termico, con temperature prossime a quella dell'ambiente servito, non è una novità dei nostri giorni. Era abbastanza comune presso gli antichi romani l'uso degli "ipocausti" (fig. 1) con i quali riscaldavano le dimore più importanti e le terme. Dal focolare si conducevano i gas di combustione tramite canali sotto il pavimento, gli ipocausti appunto, verso l'uscita dei gas di combustione collocati di fronte. Già i romani avevano intuito che la distribuzione omogenea del calore in un'area tiepida di vaste dimensioni creava un clima interno piacevole.

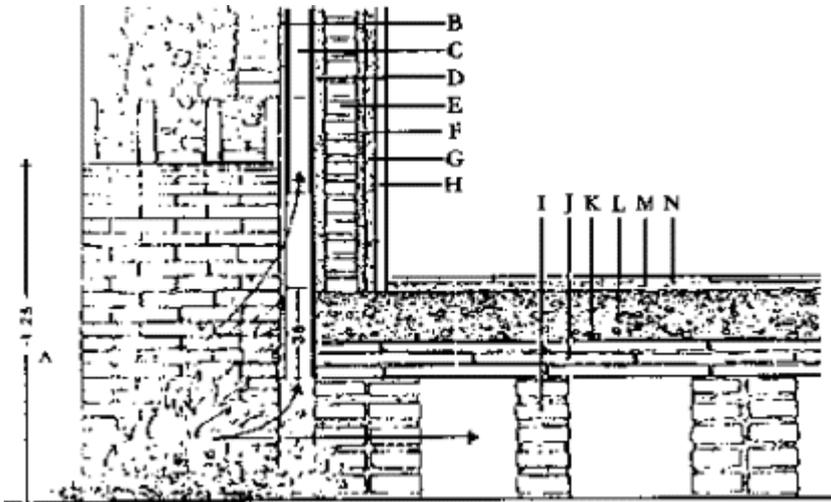


Fig. 1 – Sistema di riscaldamento ad "hipocaustum"

Legenda: a) praefurnium. B) malta grigia. C) tubuli. D) cocchiopesto. E) mattoni. F) cocchiopesto. G) malta grigia. H) lastre di marmo. I) pilae. J) lateres bipedales in tre file. K) lamina di piombo. L) calce con frammenti di tegole. M) malta grigia. N) lastre di marmo.

Questa tipologia impiantistica (poiché di vero e proprio impianto si trattava) scomparve nel periodo medioevale.

1.2 Il riscaldamento a pannelli radianti

In epoca moderna, la tecnica del riscaldamento utilizzando ampie superfici a bassa temperatura così come oggi viene praticata, con tubazioni percorse da acqua immerse nella struttura, ha trovato sviluppo negli anni 50, sia dal punto di vista teorico che dal punto di vista pratico con varie applicazioni in edifici sia pubblici che privati.

L'argomento è stato successivamente ed è tutt'ora oggetto di notevole interesse, come testimoniato dai numerosi metodi di calcolo empirici o analitici che sono stati proposti in letteratura. Recentemente le tecniche numeriche di bilancio termico degli ambienti basate sulle funzioni di trasferimento hanno consentito di affrontare in maniera molto precisa la determinazione degli scambi termici all'interno di un ambiente contenente una o più superfici radianti, partendo dall'applicazione del primo principio della termodinamica al sistema considerato (fig. 2), costituito dall'aria interna all'ambiente:

$$q_c + q_{ic} + G_{ag} + q_p = 0$$

dove i termini q sono i flussi termici scambiati dall'aria rispettivamente con le superfici dell'ambiente, con le sorgenti interne convettive, con l'ambiente esterno per ventilazione o infiltrazione e con una eventuale sorgente costituente l'impianto di riscaldamento o raffreddamento.

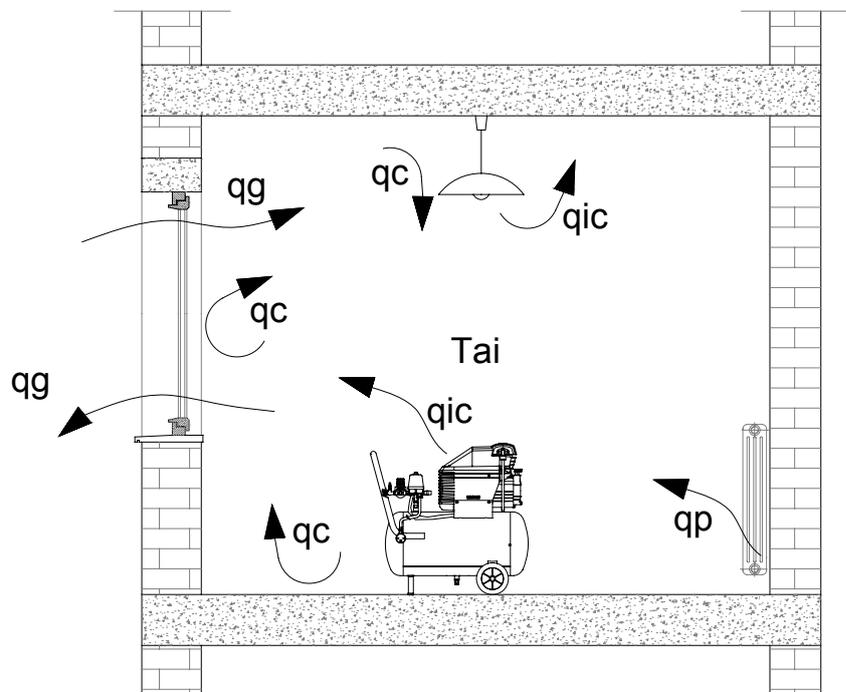


Fig. 2 – Bilancio termico di un ambiente

L'espressione di vari termini del bilancio in funzione dei parametri pertinenti consente, ad esempio, di determinare il flusso termico scambiato dal pavimento per

 <p>PICCHI & MEOLI</p> <hr/> <p>STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO</p> <p>ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 6 DI 35</p>

mantenere prefissate condizioni interne ed eventualmente di valutare le condizioni di comfort che si realizzano.

Dopo un periodo iniziale, a causa di difetti tecnologici (impiego di tubazioni in acciaio saldato sotto pavimento) e delle alte temperature superficiali, necessarie però a garantire le rese specifiche dovute allo scarso isolamento degli edifici di allora (oltre 100 W/m²) l'interesse per questa tipologia impiantistica diminuì sempre più.

Più recentemente i vari provvedimenti legislativi in materia di contenimento dei consumi energetici negli edifici (Legge 373/76 – Legge 10/91 – Decreto Legislativo 192/05) hanno imposto via via isolamenti termici sempre più consistenti, permettendo quindi di operare con rese termiche ridotte (40-50 W/m² o meno), e quindi con temperature superficiali più basse (nell'ordine di 24-25°C); da ricordare che la norma considera come massima temperatura superficiale 29°C, che è anche la massima temperatura considerata compatibile con il comfort delle persone.

1.3 Il raffrescamento a pannelli radianti

Attualmente si va diffondendo sempre più l'uso dei pannelli radianti a pavimento anche per il raffrescamento, facendo passare all'interno dei tubi acqua refrigerata. La resa termica (tra 15 e 45 W/m²), in questo caso, sarà leggermente inferiore rispetto al riscaldamento, poiché il coefficiente di adduzione termica, con la superficie fredda in basso sarà minore. La differenza di temperatura tra superficie ed aria è praticamente uguale a quella invernale (circa 4-5°C), sia perché esistono limiti di accettabilità per le persone, sia per il rischio di condensazione superficiale sul pavimento stesso.

Quanto sopra mette in evidenza la principale particolarità del raffrescamento per irraggiamento: l'ambiente stesso costituisce il "terminale d'impianto". Questo fatto ha influenza sui complessi fenomeni di scambio termico che intervengono sugli ambienti a seguito della loro interazione con le condizioni esterne e con i carichi termici interni eventualmente presenti. In questo contesto si inserisce il comportamento del corpo umano in rapporto alle condizioni ambientali e l'esigenza di assicurare condizioni di "benessere termoigrometrico" come obiettivo primario del sistema "edificio-impianto".

Nel caso del raffrescamento con pannelli radianti è quindi di primaria importanza il controllo della temperatura superficiale del pavimento in rapporto alle condizioni idrometriche dell'aria ambiente: tale temperatura dovrà chiaramente mantenersi al di sopra della temperatura di rugiada per evitare il bagnamento della superficie. Il problema è facilmente risolvibile se si può dotare l'ambiente di un impianto di aria primaria o quanto meno di controllo dell'umidità.

In assenza di un sistema di controllo dell'umidità relativa ambiente sono necessarie particolari cautele, che possono realizzarsi con opportuni sistemi di regolazione, tali da impedire il raggiungimento di temperature superficiali troppo prossime a quella di rugiada; si tratta di sistemi già presenti sul mercato che effettuano anche la misura dell'umidità relativa ambiente ed in funzione di questa e della temperatura ambiente, per mezzo di

 <p>PICCHI & MEOLI</p> <hr/> <p>STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO</p> <p>ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 7 DI 35</p>

opportuni algoritmi, regolano l'alimentazione idronica del pannello in modo da controllarne la temperatura superficiale.

Tale operazione porta naturalmente alla diminuzione della resa termica in raffrescamento che il pannello riesce ad erogare; è quindi possibile che, in dette circostanze, non si riesca a rispettare il controllo della temperatura.

Poiché quello a pavimento è un sistema di riscaldamento a bassa temperatura e di raffrescamento ad alta temperatura è possibile impiegare, come generatore una pompa di calore ad alta efficienza come quelle del tipo geotermico; nel caso del raffrescamento potrebbe pure essere possibile scambiare calore direttamente col terreno (la cui temperatura è di circa 10°C), senza l'impiego di una pompa di calore o chiller.

1.4 Aspetti igienico - sanitari

Dal punto di vista igienico, il sistema di riscaldamento a pavimento radiante presenta indubbiamente caratteristiche straordinarie:

- a. Il pavimento è anche corpo riscaldante; in tal modo la normale pulizia dei pavimenti comporta anche la pulizia dei corpi scaldanti.
- b. I nidi di polvere sono del tutto esclusi. La bassa differenza di temperatura pavimento ed ambiente (in media circa 4°C) riduce il sollevamento della polvere e quindi anche la diffusione di agenti allergogeni. E' stato poi dimostrato che i sistemi di riscaldamento a pavimento riducono e talvolta eliminano la presenza dell'acaro della polvere domestica in modo significativo e persistente, in quanto viene sottratto all'acaro uno dei suoi elementi vitali: l'umidità.
- c. Da ricerche effettuate emerge che questa tipologia impiantistica esercita un'azione limitante rispetto alla presenza di spore negli ambienti abitativi.
- d. Sotto il profilo del giudizio medico è da sottolineare che una distribuzione uniforme del calore tramite l'intera superficie del pavimento ha un effetto protettivo contro le malattie da raffreddamento. Il pregiudizio, secondo il quale il riscaldamento a pavimento avrebbe l'effetto di favorire la formazione di edemi negli individui con problemi venosi, è del tutto inconsistente e scientificamente insostenibile, se si pensa poi che la temperatura superficiale è mediamente sui 23-25°C.

 <p>PICCHI & MEOLI STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 8 DI 35</p>

2 FONDAMENTI DI COMFORT TERMOIGROMETRICO

2.1 Introduzione

Le problematiche connesse al comfort termoigrometrico sono diventate particolarmente importanti con l'entrata in vigore del noto D.L.vo 626/94 sulla sicurezza sui posti di lavoro, che pur dando indicazioni solo qualitative e generiche su temperatura ed umidità, tuttavia stabilisce che

- ❖ bisogna occuparsi non solo della salute e della sicurezza ma anche del *“rispetto dei principi ergonomici”*;
- ❖ *“l'individuazione della misure per la salubrità degli ambienti di lavoro”* va fatta *“nel rispetto della normativa vigente”*, normativa che in questo campo è molto precisa e dettagliata.

In questa parte della relazione, dopo aver dato i necessari elementi sulla termoregolazione e sugli scambi di energia del corpo umano, vengono illustrati i criteri con i quali va valutato il microclima secondo la normativa vigente.

2.2 Cenni di termoregolazione del corpo umano

Nella fisiologia della termoregolazione, per molte applicazioni risulta valido il modello che considera il corpo umano suddiviso in due zone: una esterna, costituita dalla pelle e dai tessuti sottocutanei, ed una interna, detta nucleo, comprendente gli organi vitali. Le due zone sono caratterizzate da temperature diverse: in un soggetto sano, quella del nucleo è praticamente costante e mediamente uguale a 37°C; quella media della zona esterna, detta anche temperatura della pelle, può invece variare da un massimo di 45°C ad un minimo che dipende dalla zona del corpo (es: per le dita 4°C, per la fronte 17°C).

La funzione di mantenere quasi isoterma il nucleo del corpo ovvero di mantenere la temperatura all'incirca a 37°C, è delegata al sistema di termoregolazione, che è un sistema di controllo della temperatura a retroazione, nel quale i recettori termici (terminazioni nervose sensibili sia alla temperatura che alla sua velocità di variazione) inviano segnali all'ipotalamo (area cerebrale responsabile della risposta dell'uomo alle sollecitazioni termiche) che li confronta con i valori di riferimento delle temperature ed eventualmente attiva il meccanismo necessario a mantenere l'omeotermia del corpo. Esistono recettori del freddo, localizzati essenzialmente in periferia, che reagiscono alle basse temperature, e recettori del caldo, localizzati essenzialmente nel cervello, che reagiscono alle alte temperature. Il valore di soglia, al di là del quale i recettori si attivano, varia da soggetto a soggetto.

Esistono due tipi di termoregolazione:

 <p>PICCHI & MEOLI STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 9 DI 35</p>

- ❖ vasomotoria (contro il caldo e contro il freddo);
- ❖ comportamentale (contro il caldo e contro il freddo).

La termoregolazione vasomotoria interessa i capillari periferici, cioè quelli superficiali. I capillari sono dotati di sfinteri (valvole) che, aprendosi o chiudendosi, permettono o impediscono l'afflusso di sangue; in ambienti freddi si ha la chiusura delle valvole (vasocostrizione) con diminuzione dell'afflusso di sangue verso la periferia e con conseguente diminuzione della temperatura superficiale e dello scambio termico con l'esterno. In ambiente caldo si riscontra la situazione opposta: l'apertura degli sfinteri determina un aumento dell'afflusso di sangue alla periferia, con conseguente aumento della temperatura della pelle e dello scambio termico con l'esterno.

Nel caso in cui la termoregolazione vasomotoria non sia sufficiente ad assicurare l'omeotermia del nucleo, interviene la termoregolazione comportamentale, contro il caldo e contro il freddo. Quella contro il freddo si manifesta con il brivido, che consiste nell'attivazione di quasi tutti i gruppi muscolari e nell'aumento della generazione di energia termica all'interno del corpo. Quella contro il caldo consiste nella sudorazione, di cui si parlerà più avanti.

Se nemmeno la termoregolazione comportamentale è sufficiente ad assicurare l'omeotermia, si può avere ipotermia (fino alla morte per fibrillazione cardiaca) o ipertermia (fino alla morte per danni irreversibili alle proteine dei tessuti nervosi).

2.3 Bilancio di energia sul corpo umano

Il bilancio di energia sul corpo umano può essere scritto nel seguente modo:

$$(1) \quad S = M - W - E_{ve} - C_{ve} - C - R - E_{sk} - C_k$$

dove:

- S variazione di energia interna al corpo umano nell'unità di tempo o accumulo di energia nell'unità di tempo (W);
- M potenza metabolica (W);
- W potenza meccanica ceduta dal corpo umano all'ambiente (W);
- E_{sk} potenza termica dispersa per evaporazione della pelle (W);
- E_{ve} potenza termica dispersa nella respirazione come "calore latente" (W);
- C_{ve} potenza termica dispersa nella respirazione come "calore sensibile" (W);
- C potenza termica dispersa per convezione (W);
- R potenza termica dispersa per irraggiamento (W);
- C_k potenza termica dispersa per conduzione (W).

L'equazione (1) è scritta supponendo che tutti gli scambi di energia, termica e meccanica, avvengano nel verso che va dal corpo umano all'ambiente; nel caso in cui

 <p>PICCHI & MEOLI STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 10 DI 35</p>

scambi avvengano nel verso opposto, il relativo termine risulterà negativo.

Spesso i termini dell'equazione (1) sono riferiti all'unità di area della superficie del corpo umano nudo (A_b), che è ricavabile dalla relazione di Du Bois:

$$(2) \quad A_b = 0,202 * m^{0,425} * h^{0,725}$$

dove:

A_b area della superficie del corpo umano nudo (m^2);

m massa del soggetto (kg)

h altezza del soggetto (m)

Dalla equazione (2) si ricava che, per un uomo di peso 70 kg e di altezza 1,70 m, l'area della superficie del corpo A_b è 1,80 m^2 .

2.3.1 Potenza metabolica

I cibi e le bevande ingeriti subiscono, nel corpo umano, un enorme numero di trasformazioni chimiche, che nel loro complesso costituiscono il metabolismo. I processi metabolici sono complessivamente esoenergetici; pertanto, parte dell'energia potenziale chimica dei cibi, delle bevande ed eventualmente delle sostanze di riserva, si trasforma in energia termica all'interno del corpo umano. Se l'energia termica generata non è uguale a quella complessivamente ceduta all'ambiente sotto forma di lavoro meccanico e di calore, si ha accumulo (negativo o positivo) di energia termica, con conseguente variazione (diminuzione o aumento) della temperatura corporea. La quantità di energia potenziale chimica che si trasforma in energia termica costituisce l'energia metabolica, generalmente riferita all'unità di tempo e di superficie corporea e quindi viene espressa in W/m^2 .

Va sottolineato che la potenza metabolica (M), che viene chiamata in modi diversi, quali ad esempio: metabolismo energetico, energia metabolica, metabolismo, tasso metabolico, dispendio energetico, ecc., in pratica è funzione unicamente dell'attività svolta; non dipende cioè da alcuna altra variabile.

La potenza metabolica viene spesso misurata in "met" (1 met = 58,2 W/m^2). Come riferimento si consideri che 1 met è la potenza metabolica relativa ad una persona distesa a riposo e che la potenza metabolica per attività leggere sedentarie è di circa 1,2 met.

2.3.2 Potenza meccanica

La potenza meccanica rappresenta l'energia che nell'unità di tempo l'uomo scambia con l'ambiente sotto forma di lavoro meccanico. La potenza meccanica è positiva se l'uomo compie lavoro sull'ambiente, negativa se l'ambiente compie lavoro sull'uomo. Un esempio di potenza meccanica negativa si ha nello scendere le scale: al corpo viene trasferita la variazione di energia potenziale meccanica potenziale.

 <p>PICCHI & MEOLI STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 11 DI 35</p>

Si definisce rendimento meccanico (η), il rapporto tra la potenza meccanica e la potenza metabolica:

$$(3) \quad \eta = W/M$$

La differenza $W - M$ dell'equazione (1) rappresenta la parte di energia termica generata che non si trasforma in energia meccanica e che quindi si ritrova o come variazione di energia interna (S) o come scambio di energia termica con l'ambiente.

Il valore del rendimento meccanico è molto basso, oscillando tra 0 e 0,2 ed è leggermente crescente all'aumentare della potenza meccanica (W), che come la potenza metabolica, è funzione solo dell'attività svolta. Molto spesso, soprattutto per bassi valori della potenza metabolica e quindi per le attività che generalmente si svolgono negli edifici civili, la potenza meccanica viene assunta pari a 0.

2.3.3 Potenza termica dispersa per evaporazione dalla pelle

La diffusione attraverso la pelle è un fenomeno indipendente dal sistema di termoregolazione. Secondo Fanger la potenza termica dispersa per diffusione di vapore attraverso la pelle E_d , per la legge di Fick, è proporzionale alla permeanza della pelle ed alla differenza tra la tensione di vapore dell'acqua alla temperatura della pelle e la pressione parziale del vapor d'acqua nell'aria.

Il termine E_d risulta in definitiva funzione delle seguenti variabili:

- ❖ grado igrometrico dell'aria;
- ❖ temperatura dell'aria;
- ❖ temperatura della pelle

2.3.4 Potenza termica dispersa per sudorazione

La sudorazione consiste di varie fasi:

- a. le ghiandole sudoripare, che si trovano immediatamente sotto la pelle e che sono sotto il controllo dell'ipotalamo, secernono il sudore, costituito prevalentemente da una soluzione acquosa di cloruro di sodio;
- b. il sudore arriva sulla superficie esterna della pelle attraverso appositi condotti;
- c. il sudore si sparge sulla pelle ricoprendola di un film sottile;
- d. a regime permanente ed in assenza di gocciolamento, tutto il sudore passa come vapore nell'aria per evaporazione.

La produzione oraria di sudore dipende dai segnali di temperatura che giungono all'ipotalamo sia dalla pelle che dal nucleo, secondo una relazione piuttosto complessa. In ogni caso la quantità evaporata può essere espressa in funzione delle seguenti variabili;

- ❖ temperatura della pelle;

 <p>PICCHI & MEOLI</p> <hr/> <p>STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO</p> <p>ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 12 DI 35</p>

- ❖ temperatura dell'aria;
- ❖ velocità relativa soggetto aria;
- ❖ grado igrometrico dell'aria;
- ❖ permeabilità al vapore dell'abbigliamento;
- ❖ percentuale di pelle bagnata dal sudore.

Fanger ha proposto un'espressione in cui il termine legato alla sudorazione, E_{sw} , è funzione unicamente dell'attività e che è valida solo in condizioni di comfort termico.

La somma della potenza termica dispersa per diffusione E_d e della potenza termica dispersa per sudorazione E_{sw} rappresenta la potenza termica dispersa attraverso la pelle come calore latente: viene indicata con E_{sk} e chiamata anche potenza termica evaporativa attraverso la pelle.

2.3.5 Potenza termica dispersa nella respirazione

L'aria inspirata in seguito al processo di respirazione scambia calore e vapor d'acqua con le mucose del tratto respiratorio; una volta giunta negli alveoli polmonari, è satura di vapor d'acqua ed ha una temperatura praticamente uguale a quella del nucleo.

Pertanto, quando viene espirata, l'aria ha un'entalpia e un titolo maggiori che nelle condizioni di inspirazione.

La potenza termica connessa alla respirazione generalmente viene vista come somma di due aliquote: quella per calore latente e quella per calore sensibile.

La potenza termica dispersa nella respirazione è in definitiva funzione delle seguenti variabili:

- ❖ attività svolta dall'individuo;
- ❖ grado igrometrico dell'aria;
- ❖ temperatura dell'aria.

2.3.6 Potenza termica dispersa per convezione

La potenza termica che il corpo umano scambia per convezione con l'ambiente è funzione delle seguenti variabili:

- ❖ temperatura della superficie esterna del corpo umano vestito;
- ❖ temperatura dell'aria;
- ❖ velocità relativa soggetto - aria (variabile quest'ultima nel caso di convezione naturale);
- ❖ coefficiente di area dell'abbigliamento, che a sua volta dipende essenzialmente dall'abbigliamento.

 <p>PICCHI & MEOLI STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 13 DI 35</p>

2.3.7 Potenza termica dispersa per convezione

La potenza termica che il corpo umano scambia per irraggiamento con l'ambiente circostante può essere valutata con la relazione valida per lo scambio relativo tra due corpi 1 e 2, con $A_2 \gg A_1$ e con il corpo 1 grigio e contenuto in 2.

Senza addentrarci nei dettagli matematici, diciamo che la potenza termica dispersa per irraggiamento e funzione delle seguenti variabili:

- ❖ temperatura della superficie esterna del corpo vestito;
- ❖ temperatura media radiante;
- ❖ coefficiente di area dell'abbigliamento, che a sua volta dipende essenzialmente dall'abbigliamento.

2.3.8 Potenza termica secca. Temperatura operativa

La somma della potenza termica dispersa per convezione e di quella dispersa per irraggiamento rappresenta la potenza termica dispersa come "calore sensibile" attraverso la pelle e viene spesso chiamata potenza termica secca in contrapposizione alla potenza termica dispersa attraverso la pelle come "calore latente", $E_{sk} = E_d + E_{sw}$, che rappresenta quella evaporativa.

La potenza termica secca può anche essere scritta nella forma:

$$(4) \quad R + C = f_{cl} * A_b * [h_r * (t_{cl} - t_r) + h_c * (t_{cl} - t_a)]$$

Che ponendo:

$$t_o = (h_r * t_r + h_c * t_a) / h$$

e:

$$h = h_r + h_c$$

diventa:

$$(5) \quad R + C = f_{cl} * A_b * h * (t_{cl} - t_o)$$

La t_o viene detta temperatura operativa o temperatura operante e rappresenta la media ponderale di t_r e t_a con h_c e h_r coefficienti di peso.

Negli ambienti civili generalmente si può assumere t_o pari alla media aritmetica di t_r e t_a .

2.3.9 Resistenza termica dell'abbigliamento

La relazione:

$$(6) \quad R + C = \frac{A_b * (t_{sk} - t_{cl})}{R_{cl}}$$

 <p>PICCHI & MEOLI STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO</p> <p>ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 14 DI 35</p>

definisce la resistenza termica dell'abbigliamento, R_{cl} .

Attraverso l'abbigliamento lo scambio termico avviene secondo meccanismi diversi; infatti i diversi capi non sono sempre perfettamente a contatto ed i tessuti sono costituiti da fibre: lo scambio avviene pertanto per conduzione attraverso le parti solide, per convezione e per irraggiamento negli spazi occupati dall'aria. Pertanto R_{cl} rappresenta una resistenza termica unitaria conduttiva equivalente, ovvero la resistenza termica unitaria di un solido ideale che, disposto uniformemente su tutto il corpo, a temperatura della pelle uniforme e pari a t_{sk} , in condizioni di regime permanente farebbe disperdere una potenza termica pari a quella effettiva ($R + C$), essendo la temperatura della pelle uniforme e pari a t_{ic} .

Generalmente, per la resistenza termica unitaria dell'abbigliamento viene usata un'unità di misura incoerente, il "clo", essendo $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$. Come riferimento si consideri che 1 clo è il valore della resistenza termica dell'abbigliamento tipico invernale da ufficio e che un abbigliamento tipico estivo ha una resistenza di termica di 0,3 – 0,6 clo, mentre un abbigliamento tipico invernale ha una resistenza termica di 1,0 – 1,5 clo.

Il termine ($R + C$) è in definitiva funzione delle seguenti variabili:

- ❖ temperatura della pelle;
- ❖ temperatura dell'aria;
- ❖ temperatura media radiante;
- ❖ abbigliamento;
- ❖ velocità relativa soggetto – aria.

2.3.10 Potenza termica dispersa per conduzione

Il termine C_k rappresenta la potenza termica dispersa per conduzione attraverso i solidi a contatto con il corpo umano. Rientrano quindi in C_k la potenza termica che si scambia tra i piedi ed il pavimento, la potenza termica che si scambia con la sedia nel caso di soggetto seduto, ecc. rientra in C_k anche la potenza termica che il soggetto con gli oggetti tenuti in mano.

Spesso il termine C_k è trascurabile; quando non lo è se ne tiene conto variando opportunamente la resistenza termica dell'abbigliamento e quindi in definitiva conglobandolo in ($R + C$), magari aumentando la esistenza termica di circa 0,15 clo.

2.4 **Comfort termico ed indice di discomfort globale: PMV**

La condizione di comfort termico o benessere termico è definita come quello stato psicofisico in cui il soggetto esprime soddisfazione nei riguardi del microclima; oppure come la condizione in cui il soggetto non ha né sensazione di caldo né sensazione di freddo, condizione che si dice di neutralità termica.

 <p>PICCHI & MEOLI STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO</p> <p>ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 15 DI 35</p>

Le due definizioni sono del tutto equivalenti ed abbastanza semplici. Più complesso è esprimere il benessere termico o lo scostamento dal benessere termico in termini fisiologici o in termini di parametri microclimatici.

Perché ci sia comfort termico, una condizione necessaria è che l'energia interna del corpo umano non aumenti né diminuisca, ovvero che sia nullo il termine di accumulo che nell'eq. 1 è indicato come S; in questa ipotesi l'eq. 1 diventa, per quanto visto in precedenza, una relazione del tipo:

$$(7) \quad f * (\text{abbigliamento, attività, } t_a, v_a, \phi, t_r, t_{sk}, E_{sw}) = 0$$

in cui compaiono otto variabili: due legate al soggetto (abbigliamento ed attività), quattro ambientali (temperatura, velocità e umidità dell'aria e temperatura media radiante) e due fisiologiche (temperatura della pelle e potenza termica dispersa per sudorazione).

In verità le due variabili fisiologiche non sono indipendenti, ma dipendono con legge complessa da altre; l'argomento richiederebbe un approfondimento della fisiologia della termoregolazione ed esula dagli scopi di questa memoria. Le variabili indipendenti da cui dipende effettivamente il benessere termico sono dunque sei.

La verifica dell'eq. 7 è sì condizione necessaria ma non sufficiente per il benessere termico.

Secondo Fanger, perché siano verificate le condizioni di benessere, devono anche essere soddisfatte le due equazioni:

$$(8) \quad E_{sw} = 0,42 * A_b * [(M - W) / A_b - 58,2]$$

$$(9) \quad T_{sk} = 35,7 - 0,0275 * (M - W) / A_b$$

Cioè i valori di E_{sw} e t_{sk} reali in condizioni di comfort termico sono quelli che si ottengono dalle equazioni 8 e 9 in funzione dell'attività realmente svolta dall'individuo.

2.4.1 Generalità sugli indici di discomfort globale.

Il problema di valutare lo scostamento del comfort termico si risolve mediante opportuni indici detti di discomfort globale. Un indice di discomfort globale è funzione delle sei variabili di cui in precedenza e assume lo stesso valore per tutte le combinazioni di queste ultime che danno uguali sensazioni termiche.

Questi indici si dicono di discomfort globale perché si valutano ipotizzando che le quattro variabili ambientali siano uniformi nello spazio che circonda il soggetto, ovvero che i loro valori coincidano con quelli medi spaziali.

C'è subito da sottolineare un aspetto che verrà ripreso più avanti: gli indici esprimono la risposta media di un gran numero di soggetti, il che significa che per valori dell'indice corrispondenti ad esempio a condizioni di comfort termico ci possono essere individui che invece avvertono caldo o freddo.

2.4.2 L'indice PMV.

L'indice PMV (dall'inglese Predicted Mean Vote, in italiano voto medio previsto) proposto da Fanger si basa su due posizioni:

La sensazione di caldo o di freddo che prova un individuo è proporzionale al carico termico, L, definito come differenza tra energia termica che, generatasi all'interno del corpo umano, non si trasforma in energia meccanica, (M – W), e l'energia termica che l'individuo disperderebbe se fosse in benessere con il valore reale di (M – W).

La relazione tra l'indice PMV, ovvero la sensazione di caldo o di freddo di un individuo medio espressa come voto sulla scala a sette valori riportata in tabella 1 ed il carico termico ora definito è la seguente:

voto	sensazione
+3	molto caldo
+2	caldo
+1	leggermente caldo
0	né caldo né freddo
-1	leggermente freddo
-2	freddo
+3	molto freddo

Tabella 1 – Scala di voti usata per le sensazioni termiche

$$(10) \quad PMV = [0,303 \exp * (-0,036 * M) + 0,028] * L$$

Analizzando le equazioni per il calcolo del PMV, ed i suoi sviluppi, risulta che per ambienti moderati l'umidità influisce molto poco sul valore della sensazione termica.

Questa considerazione sembra contrastare con l'indicazione della stessa UNI-EN-ISO 7730, la quale prescrive che l'umidità relativa deve essere compresa tra il 30 ed il 70%.

È bene perciò chiarire che questi limiti sono dovuti a motivi indipendenti dalle sensazioni termiche: per valori di umidità relativa minori del 30% si seccano le mucose, con diminuzione delle difese da germi e batteri e si hanno fenomeni di elettrizzazione; per valori dell'umidità relativa maggiori del 70% aumentano i rischi di allergie e le probabilità che si formi condensa su punti freddi con conseguente sviluppo di muffe.



Come già detto, il PMV rappresenta il voto di un individuo medio ovvero la media dei voti espressi da un gran numero di persone poste nelle stesse condizioni. Sperimentalmente si è visto che i voti dei singoli individui presentano una certa dispersione intorno al valore medio. Fanger ha chiamato PPD la percentuale prevista di insoddisfatti, definendo insoddisfatti coloro che votano ± 2 o ± 3 ; utilizzando i dati raccolti sui 1300 soggetti, dei quali si è detto in precedenza, ha poi correlato il PVM al PPD ottenendo il diagramma di figura 3, riportato anche dalla UNI-EN-ISO 7730, dal quale si rileva che per $PVM = 0$ la percentuale di insoddisfatti è pari al 5. Il diagramma evidenzia l'esistenza di differenze interindividuali: le risposte soggettive non sono uniformi ed è quindi impensabile realizzare condizioni che siano di comfort per tutti.

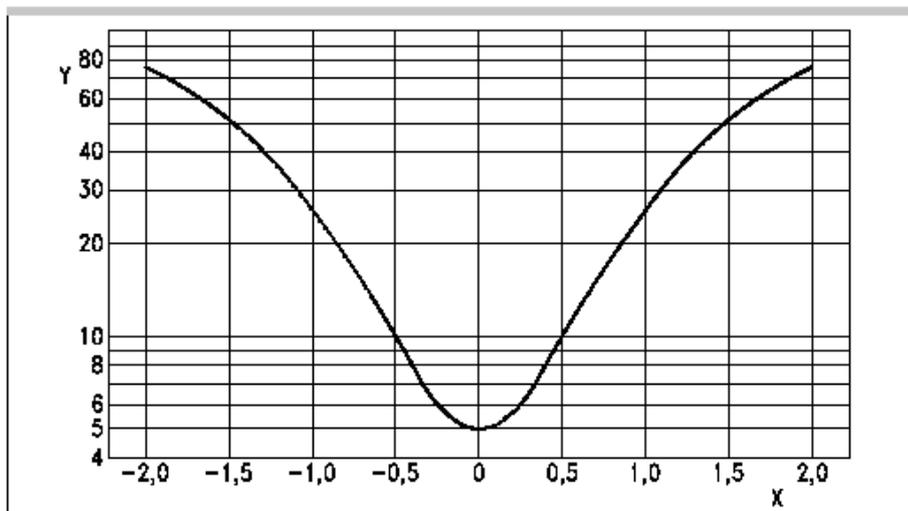


Figura 3 – Percentuale prevista di insoddisfatti PPD, in funzione del voto medio previsto PVM
X Voto medio previsto PVM
Y Percentuale prevista di insoddisfatti PPD

Considerazioni tecnico / economiche hanno orientato a ritenere accettabili ambienti con un $PPD \leq 10\%$, ovvero con un PMV compreso tra $-0,5$ e $+0,5$ (UNI-EN-ISO 7730).

La norma UNI-EN-ISO 7730 per $M = 1,2$ met (potenza metabolica tipica per ambienti civili), indica i seguenti limiti per la temperatura operante:

stagione estiva $23 \leq t_o \leq 26^\circ\text{C}$ ($I_{cl} = 0,5$ clo)

stagione invernale $20 \leq t_o \leq 24^\circ\text{C}$ ($I_{cl} = 1,0$ clo)

2.5 Discomfort locale.

Va sottolineato che la condizione $PMV \equiv \pm 0,5$ rappresenta una condizione necessaria ma non sufficiente per l'accettabilità di un ambiente dal punto di vista termico.

 <p>PICCHI & MEOLI STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO</p> <p>ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 18 DI 35</p>

Perché l'ambiente sia termicamente accettabile, deve anche essere nullo il discomfort dovuto a disuniformità delle variabili ambientali, cioè non deve esserci discomfort localizzato.

Le cause di discomfort localizzato sono sostanzialmente quattro:

- ❖ elevata differenza verticale della temperatura dell'aria;
- ❖ pavimento troppo caldo o troppo freddo;
- ❖ correnti d'aria;
- ❖ elevata asimmetria media radiante.

2.5.1 Elevata differenza della temperatura dell'aria

Generalmente negli ambienti chiusi esiste un gradiente verticale della temperatura dell'aria; in particolare la temperatura in prossimità del soffitto è maggiore di quella al pavimento. Questa differenza può comportare un discomfort localizzato per i soggetti esposti a quel microclima, che possono avvertire caldo alla testa e/o freddo ai piedi. È da sottolineare che mentre una temperatura a livello della testa maggiore di quella a livello delle caviglie può provocare discomfort localizzato, una temperatura a livello caviglie più alta di quella a livello testa non comporta discomfort.

La norma UNI-EN-ISO 7730 ha assunto come valore limite per l'accettabilità un Pd_a del 5%, a cui corrisponde una differenza di temperatura dell'aria a livello testa e quella a livello caviglie per persona seduta, ovvero tra 1,1 m e 0,1 m dal pavimento, di 3°C

2.5.2 Pavimento troppo caldo o troppo freddo.

La temperatura del pavimento t_p ha una doppia influenza sulla sensazione termica: da una parte è determinante ai fini del valore della temperatura media radiante, dall'altra può causare discomfort locale ai piedi. Per stabilire il discomfort dovuto ad una temperatura del pavimento troppo bassa o troppo elevata, furono condotti degli esperimenti sia su persone scalze che su persone con scarpe, estive ed invernali, in condizioni di comfort termico globale.

2.5.2.1 Persone scalze

La determinazione dei limiti di discomfort per persone scalze è importante nella progettazione di ambienti quali: piscine coperte, spogliatoi, palestre, ecc. i cui occupanti risiedono a lungo scalzi. Il discomfort dipende in questo caso dalla natura del pavimento, infatti a parità di temperatura, un pavimento in legno comporta una percentuale di insoddisfatti minore del pavimento in calcestruzzo.

2.5.2.2 Persone con scarpe

In questo caso il discomfort non più tanto influenzato dalla natura del pavimento, quanto dal tipo di scarpe e di calze indossate dalla persona.

 <p>PICCHI & MEOLI STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO</p> <p>ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 19 DI 35</p>

La norma UNI-EN-ISO 7730 prevede che la temperatura del pavimento possa variare tra i 19 e 26°C (solo con un sistema d'impianto a pavimento si può assumere una temperatura di 29°C).

2.5.3 Correnti d'aria.

Il discomfort da corrente d'aria è definito come un raffreddamento indesiderato, dovuto al movimento dell'aria, localizzato ad una parte anche piccola del corpo umano.

È un problema molto delicato e dibattuto. Delicato perché spesso sono proprio le correnti d'aria la causa del discomfort, soprattutto in ambienti provvisti di impianto di climatizzazione con ventilazione forzata e nei mezzi di locomozione (auto, ecc.). Dibattuto perché, dopo molte ricerche, si è arrivati ad una conclusione. Fino ad una decina di anni fa si pensava che il discomfort da correnti d'aria dipendesse unicamente dalla velocità dell'aria. Poi le ricerche sperimentali degli ultimi 10 anni hanno dimostrato che il discomfort da corrente d'aria dipende anche dalla temperatura t_a e dall'intensità di turbolenza T_u .

Com'è noto, il moto dell'aria negli ambienti è turbolento, cioè la velocità istantanea dell'aria in un punto non è costante nel tempo, anche nel caso in cui ci siano condizioni che farebbero pensare ad una situazione di regime permanente.

Anche la percentuale di insoddisfatti DR, è stata espressa con una equazione:

$$(11) \quad DR = (34 - t_a) * (v_a - 0,05) + 0,62 * (0,37 * v_a * T_u + 3,14)$$

L'equazione 11 è stata recepita dalla UNI-EN-ISO 7730, che ha assunto come valore limite per il DR il 15%.

Il valore di T_u non è di facile determinazione strumentale, ma la norma ci consiglia di ipotizzare un valore di T_u pari a 0,4, che è il più probabile in ambienti climatizzati.

L'equazione 11, per DR = 15% è stata diagrammata nella Figura 4 estrapolata dalla norma UNI-EN-ISO 7730.

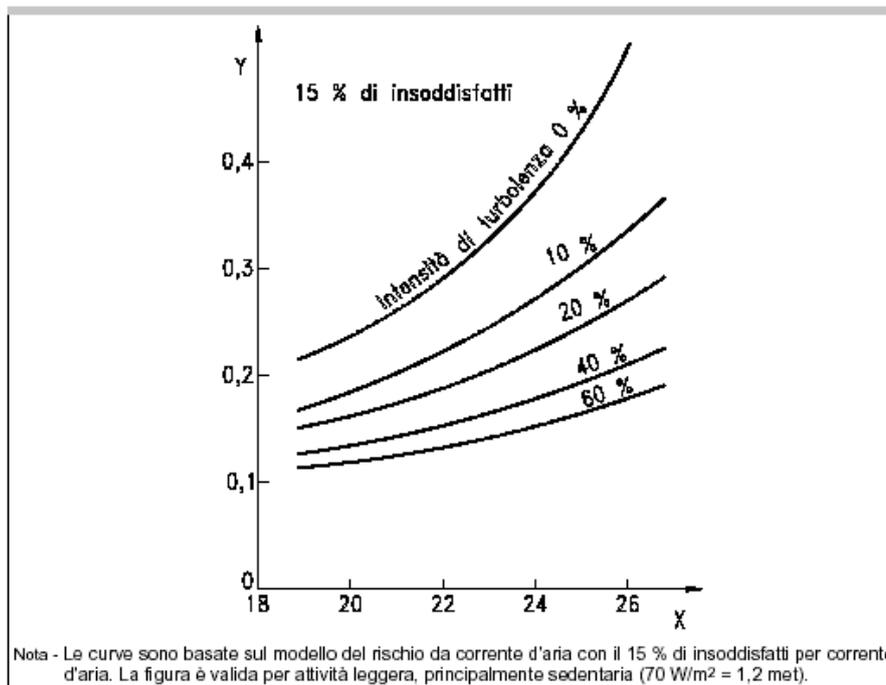


Figura 4 – Velocità media dell'aria ammissibile in funzione della temperatura dell'aria e dell'intensità di turbolenza

X Temperatura dell'aria in °C

Y Velocità media dell'aria in m/s

2.5.4 Elevata asimmetria della temperatura piana radiante.

L'asimmetria della temperatura piana radiante è la differenza tra la temperatura piana radiante di due facce opposte di un elemento piano, laddove la temperatura piana radiante è la temperatura di una ideale cavità isoterma in cui il flusso radiante incidente su una faccia di un elementino piano è uguale a quello che c'è nell'ambiente reale.

2.6 **Requisiti di benessere raccomandati.**

L'appendice D della norma UNI-EN-ISO 7730 raccomanda i seguenti requisiti di benessere termico per locali destinati ad essere occupati dall'uomo.

2.6.1 Attività leggera ($M < 1,2 \text{ met}$) in condizioni invernali ($I_{cl} = 1,0 \text{ clo}$)

Le condizioni di benessere raccomandate sono le seguenti:

- ❖ temperatura operativa compresa tra 20°C e 24°C (es. $22^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$);
- ❖ differenza verticale di temperatura dell'aria tra 1,1 m e 0,1 m dal pavimento, $\leq 3^\circ\text{C}$;

 <p>PICCHI & MEOLI STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO</p> <p>ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 21 DI 35</p>

- ❖ temperatura superficiale del pavimento compresa tra 19°C e 26°C (sono ammessi 29°C per gli impianti a pavimento radiante);
- ❖ velocità media dell'aria inferiore a quella specificata in Fig. 2;
- ❖ asimmetria della temperatura radiante dovuta a finestre o altre superfici fredde verticali $\leq 10^\circ\text{C}$;
- ❖ umidità relativa compresa tra il 30% ed il 70%.

2.6.2 Attività leggera ($M < 1,2$ met) in condizioni estive ($I_{cl} = 0,5$ clo).

Le condizioni di benessere raccomandate sono le seguenti:

- ❖ temperatura operativa compresa tra 23°C e 26°C (es. $24,5^\circ\text{C} \pm 1,5^\circ\text{C}$);
- ❖ differenza verticale di temperatura dell'aria tra 1,1 m e 0,1 m dal pavimento, $\leq 3^\circ\text{C}$;
- ❖ velocità media dell'aria inferiore a quella specificata in Fig. 2;
- ❖ umidità relativa compresa tra il 30% ed il 70%.

2.7 Specificità per impianti a pavimento.

Premesso che quanto esposto ai punti 2.4 e 2.5 vale qualunque sia l'impianto di climatizzazione, per gli impianti di riscaldamento e/o raffrescamento a pavimento si possono fare le seguenti considerazioni:

2.7.1 Discomfort globale

Il fattore di vista persona-pavimento dipende dalla posizione della persona (seduta o in piedi) e dalle dimensioni in pianta dell'ambiente; in genere il suo valore oscilla tra 0,3 e 0,45. Pertanto a parità di temperatura delle pareti, per un aumento (diminuzione) della temperatura del pavimento di 3°C, la temperatura media radiante aumenta (diminuisce) di circa 1°C e di conseguenza a parità di temperatura operativa, la temperatura dell'aria ambiente può aumentare (diminuire) di 1°C. In altre parole, d'inverno con un impianto di riscaldamento a pavimento, per ogni 3°C di aumento della T_p , una diminuzione della temperatura ambiente di 1°C comporta lo stesso valore dell'indice PMV; analogamente d'estate, con un impianto di raffrescamento a pavimento, per ogni 3°C di diminuzione della T_p , un aumento della temperatura ambiente di 1°C comporta lo stesso valore dell'indice PMV.

 <p>PICCHI & MEOLI STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 22 DI 35</p>

2.7.2 Discomfort locale, pavimento

Quanto detto al punto 2.5 limita il valore della temperatura del pavimento tra 19°C e 29°C, intervallo entro il quale è permesso di rimanere, dalla normativa.

2.7.3 Discomfort locale, correnti d'aria

Con gli impianti a pavimento il movimento dell'aria è dovuto unicamente ai moti convettivi naturali e conseguentemente la velocità dell'aria risulta normalmente inferiore a 0,10 m/s, alla quale corrisponde un valore dell'indice DR molto inferiore al limite del 15%; in altre parole non vi è alcun rischio di correnti d'aria.

2.7.4 Discomfort locale, gradiente verticale di temperatura

Nel caso di impianti a pavimento, proprio perché l'aria scambia energia termica con le pareti e con il pavimento per convezione naturale, la temperatura dell'aria è quasi uniforme ed il gradiente verticale della temperatura dell'aria è sempre inferiore ai 3°C/m, valore limite della norma.

2.7.5 Discomfort locale, asimmetria della temperatura piana radiante

Nel caso di soffitto freddo un valore del PD_r del 5% comporta un'asimmetria radiante di 15°C, valore certamente irraggiungibile se non altro per il su menzionato limite su T_p .

Quindi non si hanno problemi di asimmetria radiante per impianti di riscaldamento a pavimento.

Nel caso di soffitto caldo, come già detto, il ΔT_{pr} deve essere minore di 5°C. In effetti gli studi sperimentali sull'asimmetria radiante sono stati effettuati solo nella stagione invernale e mancano per la stagione estiva, per la quale la UNI-EN-ISO 7730 non fornisce indicazioni. E' comunque da ritenere che il valore limite dell'asimmetria rimanga pressoché lo stesso.

 <p>PICCHI & MEOLI STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 23 DI 35</p>

3 CRITERI PROGETTUALI E COSTRUTTIVI PER GLI IMPIANTI A PAVIMENTO

3.1 Introduzione

Per la progettazione e la realizzazione della struttura di un pavimento riscaldato si devono seguire le direttive e le normative tecniche specifiche.

La prima normativa tecnica in materia risale al 1992 ed è la norma tecnica tedesca DIN 4727 (parti 1 – 2 – 3 – 4); nel 1997 la norma di cui sopra è stata revisionata ed è stata pubblicata con il numero DIN EN 1264 (parti 1 – 2 – 3 – 4). La prima normativa tecnica italiana in materia è stata la UNI EN 1264 che recepiva le prime 3 parti della corrispettiva norma DIN, la quarta parte è stata recepita e pubblicata nell'ottobre 2003.

Pertanto ad oggi la normativa di riferimento è la UNI EN 1264, composta dalle seguenti 4 parti:

Parte 1 – Definizione e simboli

Parte 2 – Determinazione della potenza termica

Parte 3 – Dimensionamento

Parte 4 – Installazione

Detta norma si applica agli impianti di riscaldamento a pavimento alimentati ad acqua calda utilizzati in edifici residenziali o similari con strato di supporto in cemento.

3.2 Condizioni di posa

3.2.1 Situazione costruttiva.

Prima della posa del pavimento devono essere montate le porte e le finestre esterne, devono essere terminati gli intonaci ed i montaggi degli impianti tecnici (elettrico ed idraulico), devono essere montati i telai delle porte interne e chiuse tutte le tracce nelle pareti; infine devono essere realizzati tutti gli elementi costruttivi al pavimento.

3.2.2 Sottofondo portante.

Il sottofondo deve essere sufficientemente asciutto per permettere la posa dello strato di ripartizione del carico e deve presentare una superficie piana. Non vi devono essere rilievi localizzati o dovuti a tubi o ad altre sporgenze che possano determinare delle discontinuità nello spessore isolante.

Qualora sul sottofondo portante siano posati dei tubi, questi devono essere fissati stabilmente. Si procederà poi a stendere uno strato di livellamento per formare una superficie piana, sulla quale verrà poi posato lo strato isolante. Occorre che l'altezza necessaria per l'intera struttura venga esattamente calcolata a priori. Per i livellamenti non possono essere impiegati materiali sabbiosi naturali o macinati non legati.

3.2.3 Strati di livellamento.

Nel caso di sottofondo portante non soddisfatti le tolleranze di planarità, dovrà essere prevista una regolarizzazione del livello mediante un apposito strato di livellamento. Solo successivamente si potrà procedere alla posa dello strato di coibentazione e quindi del sistema di riscaldamento a pavimento.

- 1 – Strato di ripartizione del carico
- 2 - Tubo di riscaldamento
- 3 – Rete rialzata con foglio in PE
- 4 – Isolamento termico
- 5 – Strato di livellamento
- 6 – Soletta in calcestruzzo grezzo

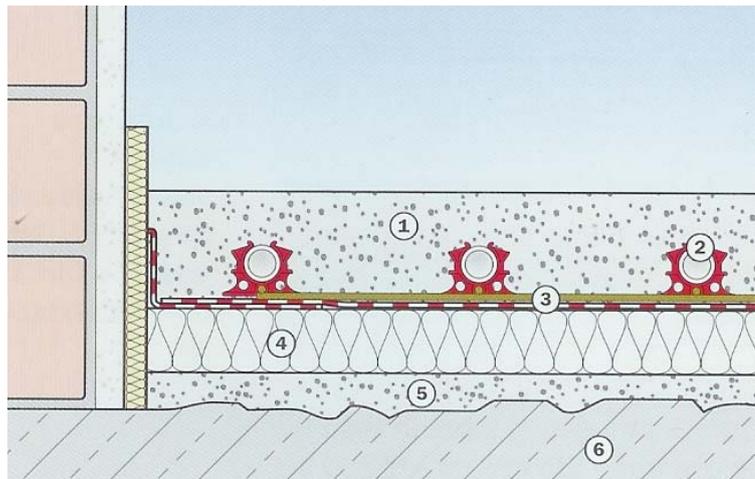


Figura 5 – Soletta in calcestruzzo grezzo con strato di livellamento

Su solette grezze risultano idonei massetti fluidi anidritici o massetti a presa rapida. Devono essere rispettate le indicazioni del produttore riguardo ai tempi di presa, umidità residua nei vari strati di compensazione, nonché riguardo allo stendimento di fondi aderenti sulla soletta grezza. Nel caso di solette a struttura leggera si dovrà fare attenzione al peso aggiuntivo costituito dagli strati di compensazione.

3.3 Componenti della struttura del pavimento

3.3.1 Strato di isolamento.

Gli strati di isolamento devono presentare la seguente resistenza termica minima in funzione delle condizioni termiche sottostanti la struttura di riscaldamento a pavimento.

	Ambiente sottostante riscaldato	Ambiente sottostante non riscaldato o riscaldato in modo continuativo o direttamente sul suolo*	Temperatura dell'aria esterna sottostante		
			Temperatura esterna $T_d \geq 0^\circ\text{C}$	Temperatura esterna $0^\circ\text{C} > T_d \geq -5^\circ\text{C}$	Temperatura esterna $-5^\circ\text{C} > T_d \geq -15^\circ\text{C}$
Resistenza termica (m ² K/W)	0,75	1,25	1,25	1,50	2,00
* Con un livello di acque freatiche ≤ 5 m, il valore dovrebbe essere aumentato					

Tabella 2 – Resistenza termica minima degli strati di isolamento sottostanti l'impianto di riscaldamento a pavimento

Quando si installa lo strato isolante, i pannelli isolanti devono essere uniti saldamente insieme. Più strati isolanti devono essere sfalsati o posizionati in modo tale che i giunti tra i pannelli di uno strato non siano allineati con lo strato successivo.

3.3.2 Striscia isolante di bordo.

Prima della posa dello strato di supporto, deve essere posata una striscia di dilatazione perimetrale (giunto d'angolo) lungo i muri e gli altri componenti edilizi che penetrano nello strato di supporto (ripartitore del carico); tale striscia perimetrale deve essere saldamente fissata alla base di supporto, ad esempio a telai delle porte, piloni e montanti.

La striscia perimetrale ha le seguenti funzioni:

- ❖ strato di separazione con funzione di separazione acustica;
- ❖ assorbimento delle dilatazioni termiche dello strato di ripartizione del carico;
- ❖ strato di isolamento termico tra strato di ripartizione del carico ed elementi edificiali freddi

La striscia perimetrale deve ergersi dalla base di supporto fino alla superficie del pavimento finito e permettere un gioco dello strato di supporto di almeno 5 mm.

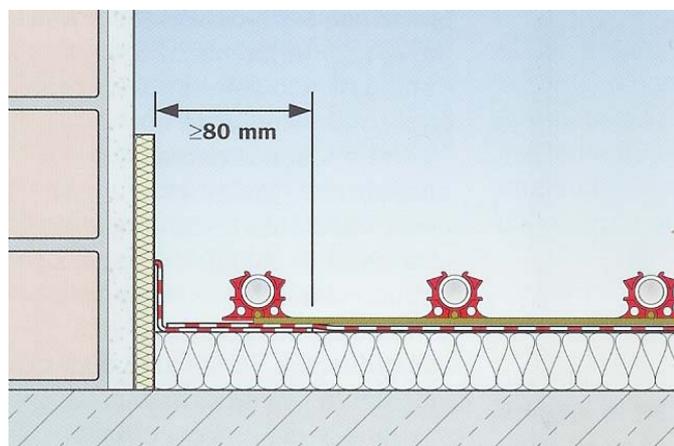


Figura 6 – Disposizione della striscia isolante di bordo

Nel caso di più strati isolanti, la striscia perimetrale deve essere posata prima dell'applicazione dello strato di isolamento superiore. Durante la posa dello strato di supporto, la striscia di isolamento perimetrale deve essere fissata in modo che rimanga ferma in posizione. La parte superiore della striscia di isolamento periferica che sovrasta il pavimento finito non deve essere tagliata fino al completamento del rivestimento a pavimento e, nel caso di un rivestimento tessile o plastico, fino all'indurimento dell'additivo.

3.3.3 Strato di protezione.

Prima della posa dello strato di supporto, lo strato di isolamento deve essere ricoperto con una pellicola di polietilene di almeno 0,15 mm di spessore o con un altro prodotto dalla funzione equivalente, a meno che lo strato di isolamento non sia un composito protettivo simile. Le singole sezioni devono sovrapporsi in corrispondenza dei giunti di almeno 80 mm.

In conformità punto precedente (e quindi al punto 4.2.2.2 della UNI 1264-4) lo strato di protezione deve essere capovolto sopra il bordo superiore della striscia perimetrale se questa non svolge la funzione di protezione. In alternativa è ammesso che le strisce di bordo siano a loro volta rivestite da un foglio in PE in grado di coprire a sufficienza i punti di giunzione.

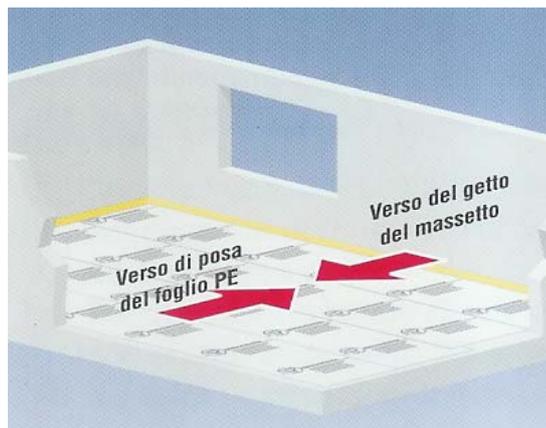


Figura 7 – Modalità di posa

Quando si usano strati di supporto liquidi, la protezione dello strato di isolamento deve essere impermeabile, in modo tale da non compromettere la funzione dello strato di isolamento.

Gli strati di protezione non sono barriere contro l'umidità.

3.3.4 Strato di supporto (o di ripartizione del carico).

Il massetto, quale piastra di supporto e di ripartizione dei carichi, costituisce uno dei componenti principali del riscaldamento a pavimento.

Il massetto dovrà rispondere ai seguenti requisiti:

- ❖ adeguata aderenza ai tubi, per assicurare una buona trasmissione del calore;
- ❖ valori di resistenza meccanica adeguata alla normativa;
- ❖ resistenza fino alla temperatura di 60°C, in corrispondenza delle tubazioni.



Figura 8 – Strato di supporto additivato

Tra gli strati riscaldanti, si distinguono i seguenti tipi (vedere EN 1264-1:1997, 3.11):

- tipo A - Impianti con tubi annegati nello strato di supporto;
- tipo B - Impianto con tubi sotto lo strato di supporto;
- tipo C - Impianti annegati in uno strato livellante, in cui lo strato aderisce ad un doppio strato di separazione.

Lo spessore dello strato livellante deve essere di almeno 20 mm maggiore del diametro degli elementi riscaldanti. Lo strato aderente deve avere uno spessore di non meno 45 mm.

Lo spessore dello strato è calcolato sulla base della norma pertinente, che prende in considerazione la capacità di carico e la classe di resistenza alla flessione. Fino a quando non è disponibile una norma europea, dovrebbero essere utilizzate le norme nazionali.

Lo spessore nominale sopra i tubi di riscaldamento (altezza di copertura) deve essere, per ragioni costruttive, almeno tre volte maggiore della dimensione massima dei granelli del materiale aggregato e comunque di **almeno 30 mm**.

I massetti devono essere migliorati con l'aggiunta di appositi additivi fluidificanti, che consentano di aumentarne la resistenza meccanica, cosicché con uno spessore di soli 30 mm (sopra le tubazioni) sia possibile ottenere un valore di resistenza ai carichi accidentali

 <p>PICCHI & MEOLI STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO</p> <p>ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 28 DI 35</p>

pari a 1,5 kN/m² e con uno spessore di 45 mm un valore di resistenza ai carichi accidentali pari a 5 kN/m².

L'applicazione dello strato di supporto e l'installazione degli elementi riscaldanti non deve compromettere il funzionamento di alcun componente, come per esempio attraverso l'uso di ginocchiere non idonee. Quando si movimentata la malta dello strato di supporto sul sistema di tubi installato, dovrebbero essere posati cartoni o simili. Analogamente, deve essere evitata la posa di carichi importanti a breve termine sullo strato di isolamento per non ridurre l'effetto isolante.

Durante la posa dello strato di supporto, la temperatura dello stesso e la temperatura ambiente non devono scendere al di sotto di 5 °C. Successivamente, occorre mantenere una temperatura di almeno 5 °C per un periodo non minore di 3 giorni. Inoltre, lo strato di supporto di cemento deve essere protetto dall'essiccazione per almeno 3 giorni (in caso di basse temperature o cementi a indurimento lento occorre un periodo di tempo più lungo) e, in seguito, da effetti nocivi come per esempio calore e siccità al fine di mantenere basso il livello di ritiro. Generalmente questo effetto è garantito per gli edifici più piccoli, quando l'edificio viene chiuso.

Lo strato di supporto di cemento colato può essere posato ad una temperatura minima di 0 °C.

3.3.5 Giunti.

Per gli strati di supporto riscaldanti idonei all'applicazione di rivestimenti in pietra o ceramica, le superfici dei giunti non devono essere maggiori di 40 m² con una lunghezza massima di 8 m. Nel caso di ambienti rettangolari, le superfici dei giunti possono superare queste dimensioni, con un rapporto massimo in lunghezza di 2 a 1.

Se negli strati di supporto riscaldanti vengono posti giunti a contrazione indotta, questi devono essere tagliati a una profondità non maggiore di un terzo dello spessore dello strato, tenendo in considerazione l'ubicazione dei tubi in un impianto di tipo A e devono essere sigillati dopo l'avviamento del riscaldamento.

L'installatore dell'impianto di riscaldamento deve essere fornito di una piantina indicante la posizione dei giunti, inclusa nelle specifiche.

Nel caso di strati di supporto riscaldanti di tipo A e C, i giunti sottoposti a sollecitazione e i giunti perimetrali devono soltanto essere attraversati da tubi di connessione e solo ad un livello. In questo caso, i tubi di connessione devono essere ricoperti da un tubo flessibile di isolamento della lunghezza di circa 0,3 m.

3.4 **Installazione delle tubazioni**

3.4.1 Conservazione e trasporto.

Dopo l'arrivo sul luogo di lavoro, i tubi devono essere trasportati, conservati e movimentati in modo tale da essere:

- protetti da eventuali elementi potenzialmente dannosi;

 <p>PICCHI & MEOLI STUDIO ASSOCIATO</p>	<p>RISCALDAMENTO A PAVIMENTO ASPETTI TECNICI ED OPERATIVI</p>
<p>Per. Ind. Davide Picchi – Per. Ind. Francesco Meoli</p>	<p>MAR. 06 PUBBLICAZIONE 00 PAGINA 29 DI 35</p>

- i tubi di plastica devono essere conservati a riparo dalla luce solare diretta.

3.4.2 Distanze.

I tubi devono essere posizionati a oltre:

- 50 mm di distanza dalle strutture verticali;
- 200 mm di distanza dalle canne fumarie e dai caminetti aperti, da assi a cielo aperto o murate e da trombe dell'ascensore.

3.4.3 Raccordi.

Tutti i raccordi all'interno della costruzione a pavimento devono essere esattamente ubicati e indicati sul disegno depositato.

3.4.4 Ancoraggi.

I tubi e i relativi sistemi di ancoraggio devono assicurare che le rispettive posizioni orizzontali e verticali siano mantenute come da progetto. Lo scarto verticale verso l'alto dei tubi prima e dopo l'applicazione dello strato di supporto non deve essere maggiore di 5 mm in qualsiasi punto. Lo scarto orizzontale della distanza specificata del tubo nel circuito di riscaldamento non deve essere maggiore di ± 10 mm in corrispondenza dei punti di collegamento. Questi requisiti non sono applicabili nelle aree di curvatura e flessione. Le distanze tra gli ancoraggi necessarie al rispetto di questi requisiti dipendono dal materiale del tubo, dalle dimensioni e dagli impianti.

Il fabbricante deve specificare la distanza massima ammessa tra i punti di ancoraggio.

Tutti i raccordi all'interno della costruzione a pavimento devono essere esattamente ubicati e indicati sul disegno depositato.

3.4.5 Strato barriera all'ossigeno.

Per ridurre i problemi di corrosione quando negli impianti di riscaldamento si combinano tubi in plastica con materiali soggetti a corrosione, potrebbe essere opportuno scegliere tubi in plastica con strato barriera di ossigeno. La permeabilità all'ossigeno dovrebbe essere $\leq 0,1 \text{ g/m}^3 \cdot \text{d}$ ad una temperatura dell'acqua di $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Il valore di riferimento del volume è il volume interno del tubo.

3.5 **Prova di tenuta - avviamento**

3.5.1 Prova di tenuta.

Prima della posa dello strato di supporto, i circuiti di riscaldamento devono essere sottoposti al controllo di tenuta mediante una prova di pressione d'acqua. La pressione

utilizzata nella prova deve essere due volte la pressione di esercizio, con un minimo di 6 bar.

Durante la posa dello strato di supporto, questa pressione deve essere applicata ai tubi.

L'assenza di perdite e la pressione della prova devono essere specificate in un resoconto di prova.

Quando sussiste il rischio di gelo, occorre prendere provvedimenti idonei come l'uso di prodotti antigelo o il condizionamento dell'edificio.

Se il normale funzionamento dell'impianto non richiede ulteriori protezioni antigelo, i prodotti antigelo devono essere drenati e l'impianto deve essere flussato utilizzando almeno 3 cambi di acqua.

3.5.2 Prova di tenuta.

Questa operazione deve essere eseguita almeno 21 giorni dopo la posa dello strato di supporto di cemento o in conformità alle istruzioni del fabbricante e comunque dopo almeno 7 giorni in caso di strati di supporto di anidrite.

Il riscaldamento iniziale comincia ad una temperatura di alimentazione compresa tra 20 °C e 25 °C, che deve essere mantenuta per almeno 3 giorni. Successivamente, occorre impostare la temperatura massima di progetto, che deve essere mantenuta per almeno altri 4 giorni.

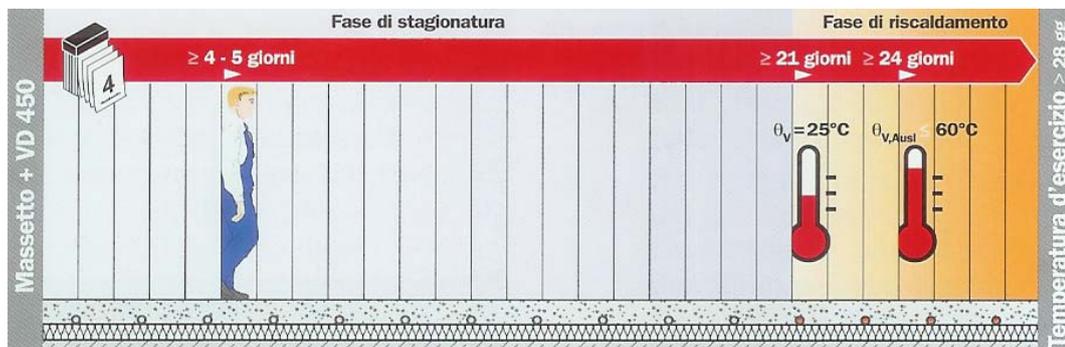


Figura 9 – Tempi minimi di presa per massetti cementiti standard

I tempi di maturazione e presa di cui sopra possono essere ridotti con l'impiego di massetti additivati con fluidificanti particolari o con l'impiego di massetti anidritici.

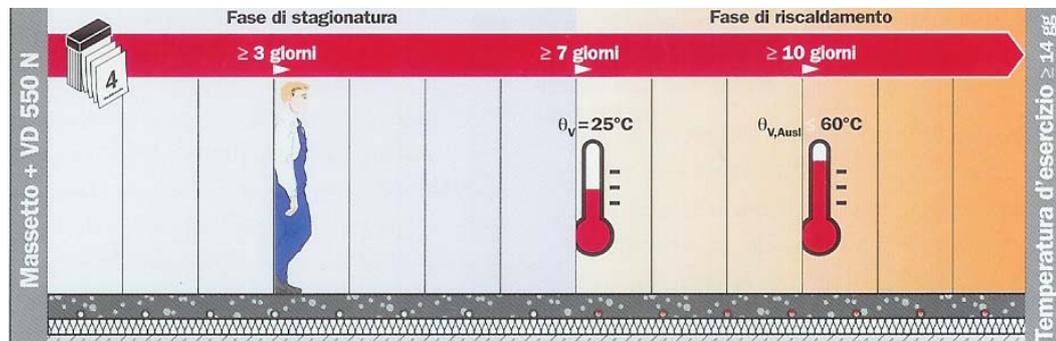


Figura 10 – Tempi ridotti di presa per massetti cementiti con additivi speciali

Il processo di avviamento del riscaldamento deve essere documentato.

3.5.3 Rivestimento del pavimento.

Nei calcoli del riscaldamento, occorre prendere in considerazione la resistenza al calore dei rivestimenti per pavimentazioni.

Prima della posa del rivestimento per pavimentazioni, il posatore deve verificare l'idoneità della posa del rivestimento sullo strato di supporto.

I rivestimenti per pavimentazioni sono conservati e installati in conformità alle norme pertinenti e alle istruzioni del fabbricante.

3.6 Regolazioni

Ogni impianto di riscaldamento deve essere fatto funzionare con una potenza termica corrispondente, caso per caso, al fabbisogno termico dell'edificio. E' indispensabile quindi disporre di un sistema di regolazione automatica. In linea di principio, gli impianti di riscaldamento a pavimento devono operare con un sistema di regolazione climatica, ovvero con la regolazione della temperatura dell'acqua calda in funzione delle condizioni climatiche esterne.

Come terminale di regolazione, a tal fine, si prestano bene le valvole miscelatrici. Per evitare problemi di natura idraulica si dovrà provvedere all'installazione di una valvola di by-pass o meglio ancora di un compensatore-separatore idraulico.

Per evitare poi il rischio di sovratemperature d'esercizio occorre installare un termostato di massima atto a limitare il valore della temperatura di mandata dell'acqua al suo massimo ammissibile ($\leq 60^{\circ}\text{C}$).

3.6.1 Regolazione con miscelatrice a 3 vie

Se l'impianto di riscaldamento a pavimento è collegato ad un generatore di calore funzionante a temperatura costante (notevolmente superiore a quella massima di

mandata necessaria all'impianto) la miscelatrice a tre vie montata secondo lo schema di seguito è più che sufficiente.

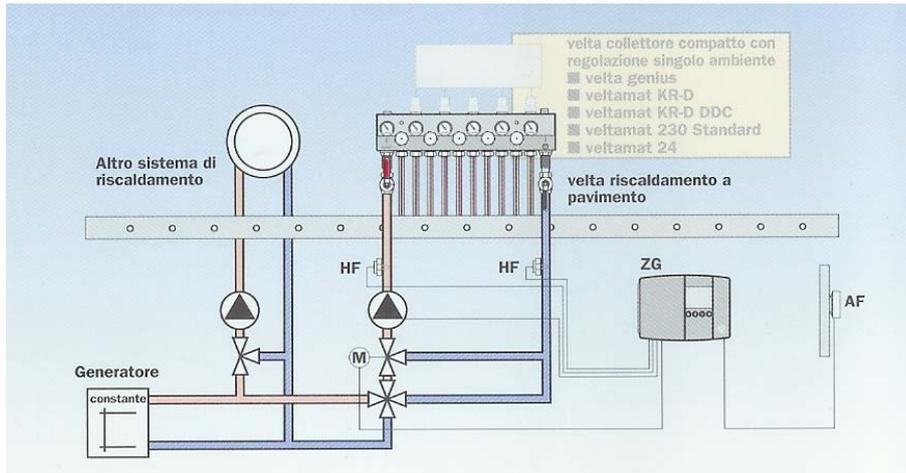


Figura 11 – Regolazione con miscelatrice 3 vie

3.6.2 Generatore di calore con temperatura di ritorno minima

Nel caso in cui al generatore non possa ritornare l'acqua con una temperatura inferiore ad un certo valore minimo tollerato, la regolazione della temperatura deve necessariamente essere realizzata con una valvola miscelatrice a 4 vie, come da schema di seguito riportato.

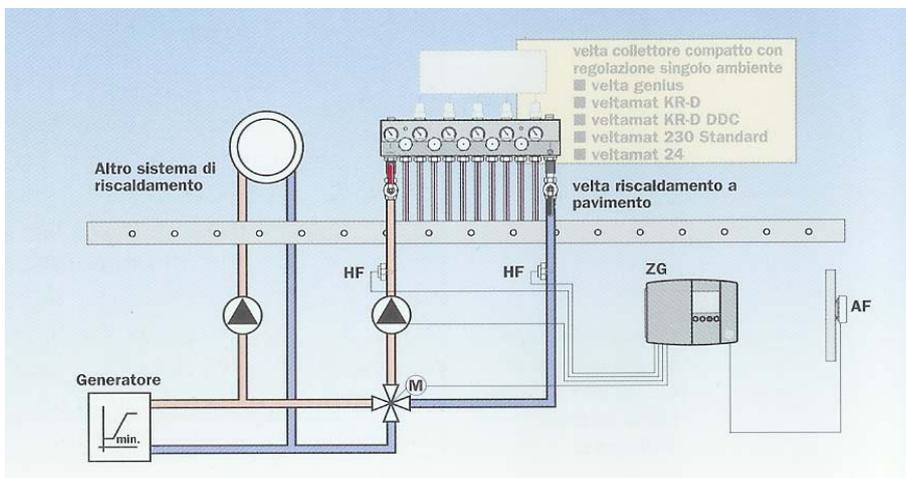


Figura 12 – Regolazione nel caso di generatore con temperatura ritorno minima

3.6.3 Generatore di calore senza temperatura di ritorno minima

Nel caso in cui il generatore non presenti problemi relativi alla temperatura di ritorno dell'acqua, la miscelatrice a tre vie montata secondo lo schema di seguito può sostituire la miscelatrice a 4 vie.

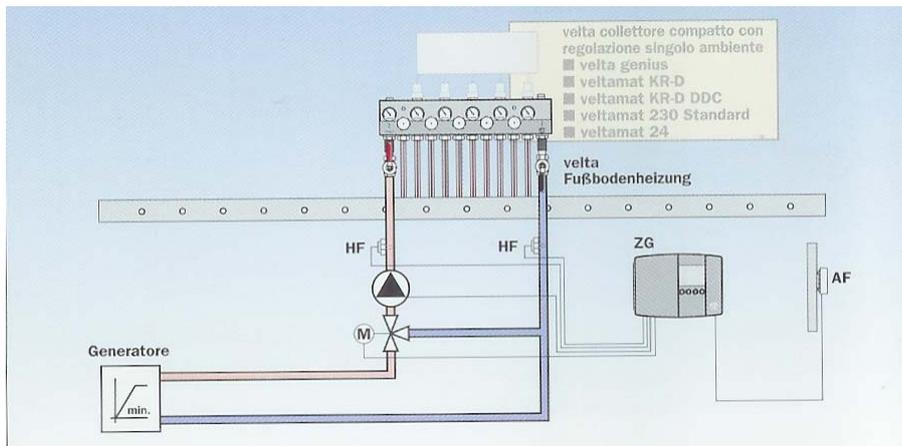


Figura 13 – Regolazione nel caso di generatore senza temperatura ritorno minima

3.6.4 Generatore di calore con circolazione forzata dell'acqua

Nel caso in cui il generatore abbia già al suo interno un proprio circolatore occorre realizzare un circuito primario ed uno secondario, installando un separatore idraulico, ovvero inserire tra la miscelatrice ed il generatore un sistema di by-pass.

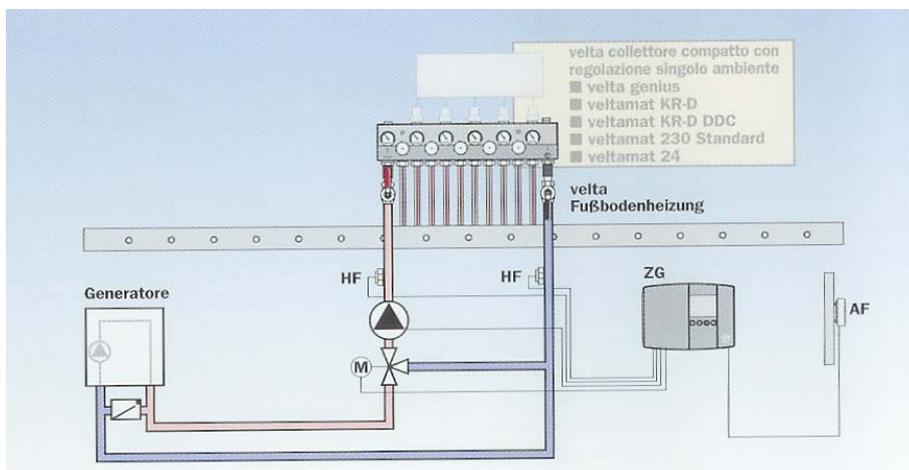


Figura 14 – Regolazione nel caso di generatore con circolatore interno

3.6.5 Combinazione generatore di calore/refrigeratore d'acqua

Nel caso in cui l'impianto a pavimento venga utilizzato anche per il raffrescamento estivo, lo schema di regolazione è quello base, con l'aggiunta del refrigeratore d'acqua.

Con adeguati sistemi di termoregolazione è possibile realizzare la commutazione estate/inverno in maniera automatica, come è pure possibile comandare dei ventilconvettori ovvero dei deumidificatori (allo scopo di deumidificare l'ambiente) in modo automatico in funzione delle condizioni termoigrometriche ambientali.

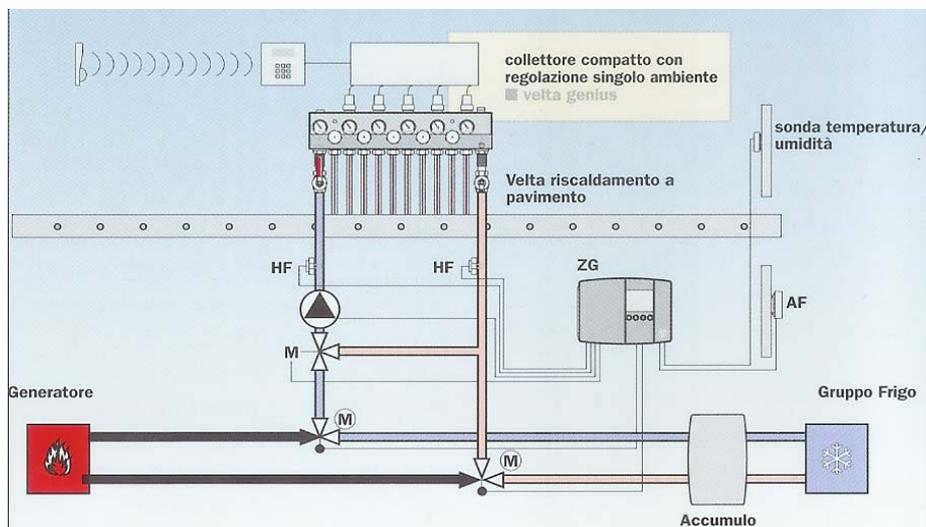


Figura 15 – Regolazione tipica estiva ed invernale

3.6.6 Generatori di calore alternativi

L'impiego del riscaldamento a pavimento risulta ideale, soprattutto in combinazione con collettori solari o pompe di calore, in quanto questi tipi di generatori permettono una gestione ottimale con basse temperature di esercizio.

Le pompe di calore raggiungono valori di rendimento tanto più elevati, quanto minore è la differenza tra la temperatura della sorgente di calore (ad esempio terreno, acqua di falda, ecc.) e quella del fluido riscaldante. Da questo punto di vista il riscaldamento a pavimento, grazie alle basse temperature di mandata, tipiche del sistema, garantisce coefficienti di rendimento delle pompe di calore più elevati rispetto ai sistemi di distribuzione del calore con temperature di mandata maggiori.

I sistemi che sfruttano l'energia solare sono già impiegati da molto tempo per il riscaldamento degli edifici. Tuttavia, a causa dell'imprevedibilità delle condizioni meteorologiche da cui dipendono, questi non sono in grado di raggiungere temperature dell'acqua caratteristiche dei sistemi tradizionali. Il sistema di riscaldamento a pavimento, in virtù della bassa temperatura di esercizio, risulta particolarmente indicato per questi

sistemi di generazione del calore.

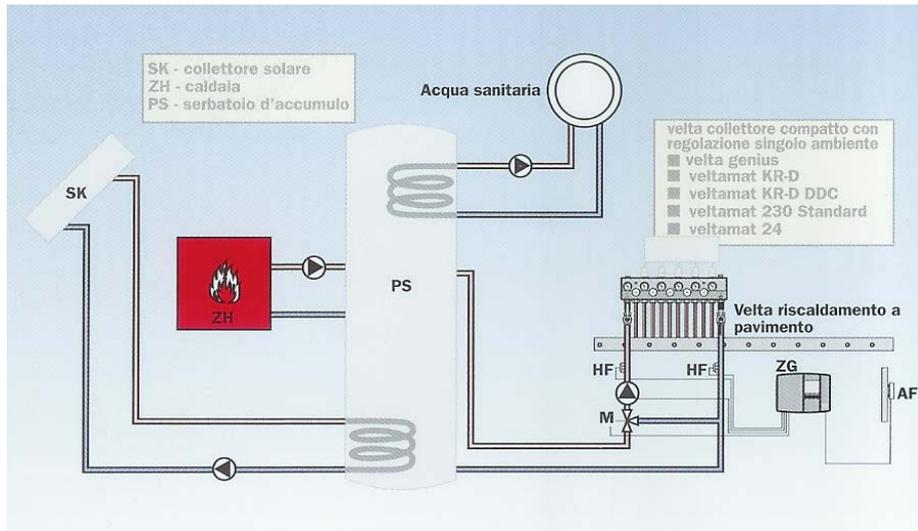


Figura 16 – Sistemi di generazione del calore combinati ed alternativi

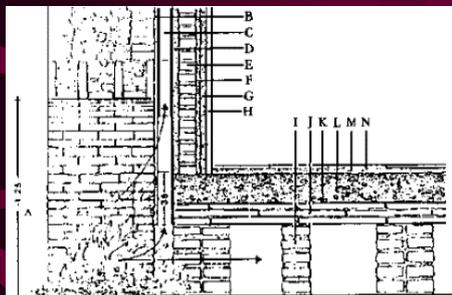
Una caratteristica degli impianti con sistemi di generazione combinati, basati su pompe di calore o collettori solari, è rappresentata dall'accumulatore di calore intermedio posto tra il generatore di calore ed il circuito di riscaldamento. In tal caso il sistema di generazione del calore è di tipo misto con caldaia supplementare (in genere a condensazione e quindi ad alto rendimento).

IMPIANTI A PAVIMENTO RADIANTE

ASPETTI TECNICI ED
OPERATIVI

PARTE PRIMA
FONDAMENTI DI COMFORT
TERMICO

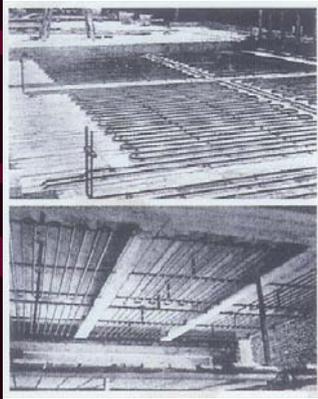
IMPIANTO STORICO



SISTEMA DI
RISCALDAMENTO A
“HIPOCAUSTUM” CON
CANALI PER IL PASSAGGIO
DELL’ARIA CALDA SOTTO
IL PAVIMENTO.

GRANDI SUPERFICI DI
SCAMBIO A BASSA
TEMPERATURA.

LE REALIZZAZIONI NEGLI ANNI '50 – '60



GLI IMPIANTI A PAVIMENTO
DEGLI ANNI '50 E '60
PRESENTAVANO ALCUNI
DIFETTI TECNOLOGICI:

- TUBAZIONI IN ACCIAIO CON
SALDATURE VULNERABILI
ANNEGATE NEI SOLAI;
- ELEVATE TEMPERATURE
SUPERFICIALI (CAUSA EDIFICI
NON ISOLATI);
- MANCANZA DI BILANCIAMENTO
IDRAULICO E DI REGOLAZIONI
CLIMATICHE.

OGGI



L'ATTUALE NORMATIVA:

- LEGGE 10/91 D.L. 192/05
(RISPARMIO ENERGETICO);
- UNI EN 7730 (COMFORT);
- UNI EN 1264 (IMPIANTI A
PAVIMENTO).

L'EVOLUZIONE DEI MATERIALI.
LA FLESSIBILITA' DI
REGOLAZIONE.

PRESUPPOSTI PER L'OTTIMALE
APPLICAZIONE DEI SISTEMI
RADIANTI A PAVIMENTO.

RAFFRESCAMENTO



- RESE: DA 20 A 40 W/m²
- Dt superficie/aria: 4-5 °C
- T acqua mandata 10°C
- CONTROLLO DELLA TEMPERATURA SUPERFICIALE PAVIMENTO AFFINCHÉ
Tsuperficiale > Trugiada pav.

IL BENESSERE TERMICO



NORMA UNI EN 7730

“... METODO PER PREVEDERE LA SENSAZIONE TERMICA ...”

“... CONDIZIONI AMBIENTALI TERMICAMENTE ACCETTABILI...”

TERMOREGOLAZIONE DEL CORPO UMANO

TERMOREGOLAZIONE VASOMOTORIA:

INTERESSA I CAPILLARI PERIFERICI O SUPERFICIALI REGOLANDO L'AFFLUSSO DEL SANGUE VERSO LA PERIFERIA;

TERMOREGOLAZIONE COMPORTAMENTALE:

INTERVIENE QUALORA QUELLA VASOMOTORIA NON SIA SUFFICIENTE E SI MANIFESTA CON I BRIVIDI (CONTRO IL FREDDO) O CON LA SUDORAZIONE (CONTRO IL CALDO).

BILANCIO ENERGETICO SUL CORPO UMANO

$$S = M - W - E_{ve} - C_{ve} - C - R - E_{sk} - C_k$$

S VARIAZIONE I ENERGIA INTERNA AL CORPO UMANO NELL'UNITA' DI TEMPO

M POTENZA METABOLICA

W POTENZA MECCANICA CEDUTA DAL CORPO UMANO ALL'AMBIENTE

E_{sk} POTENZA TERMICA DISPERSA PER EVAPORAZIONE DELLA PELLA

E_{ve} POTENZA TERMICA DISPERSA NELLA RESPIRAZIONE COME CALORE LATENTE

C_{ve} POTENZA TERMICA DISPERSA NELLA RESPIRAZIONE COME CALORE SENSIBILE

C POTENZA DISPERSA PER CONVEZIONE

R POTENZA DISPERSA PER IRRAGGIAMENTO

C_k POTENZA DISPERSA PER CONDUZIONE

IL METABOLISMO



IL METABOLISMO E' IL MOTORE DEL CORPO UMANO

IL METABOLISMO SI MISURA IN MET
L'ENERGIA PRODOTTA DAL
METABOLISMO DIPENDE
DALL'ATTIVITA' MUSCOLARE

1 MET = 58,15 W/m² DI SUPERFICIE
CORPOREA.

$$Ab = 0,202 \times m^{0,425} \times h^{0,725}$$

(PER UN UOMO DI 70 KG DI PESO
ED ALTO 1,70 M – Ab = 1,80 m²).

RESISTENZA TERMICA ABBIGLIAMENTO



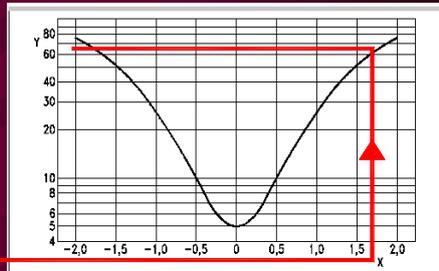
LA RESISTENZA TERMICA
DELL'ABBIGLIAMENTO HA
UN'UNITA' DI MISURA
INCOERENTE DETTA "CLO"

$$1 \text{ CLO} = 0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$$

ABBIGLIAMENTO EST. = 0,3 – 0,6
CLO

ABBIGLIAMENTO INV. = 1 – 1,5
CLO

VALORI PMV E PPD



PMV VOTO MEDIO PREVISTO

DIPENDE PRINCIPALMENTE DA: MET, CLO, TEMPERATURA OPERATIVA, VELOCITA' DELL'ARIA, UMIDITA' DELL'ARIA

PPD PERCENTUALE PREVISTA DI INSODDISFATTI

REQUISITI DI BENESSERE RACCOMANDATI



L'APPENDICE D DELLA UNI EN ISO 7730 RACCOMANDA I SEGUENTI REQUISITI DI BENESSERE TERMICO:

$PPD < 10\%$ $-0,5 < PMV < 0,5$

INVERNO

($M < 1,2$ MET – $I_{cl} = 1,0$ CLO)

$20^{\circ}\text{C} < T_o < 24^{\circ}\text{C}$

Dt. VERTICale (1,1/0,1 m) $\leq 3^{\circ}\text{C}$
(1,1/0,1 m) $\leq 3^{\circ}\text{C}$

$30\% < UR < 70\%$

$19^{\circ}\text{C} < T_s < 26^{\circ}\text{C}$ (max 29°C)

ASIMMETRIA T_r (finestre ecc) $\leq 10^{\circ}\text{C}$

ESTATE

($M < 1,2$ MET – $I_{cl} = 0,5$

$23^{\circ}\text{C} < T_o < 26^{\circ}\text{C}$

Dt. VERTICALE

$30\% < UR < 70\%$

SPECIFICITA' PER IMPIANTI A PAVIMENTO

To: TEMPERATURA OPERATIVA (QUELLA REALMENTE PERCEPITA DALLE PERSONE) E' LA MEDIA PESATA TRA TEMPERATURA AMBIENTE (T_a) E TEMPERATURA MEDIA RADIANTE (T_r)

MANTENENDO INVARIATA LA TEMPERATURA DELLE PARETI, AD UN AUMENTO (DIMINUZIONE) DELLA T_{pav} . DI 3°C , LA T_r AUMENTA (DIMINUISCE) DI 1°C , DI CONSEGUENZA A PARITA' DI T_o LA T_a PUÒ DIMINUIRE (AUMENTARE) DI 1°C CON LO STESSO INDICE "PMV".

IMPIANTI A PAVIMENTO RADIANTE

ASPETTI TECNICI ED
OPERATIVI

PARTE SECONDA
CRITERI PROGETTUALI E
COSTRUTTIVI

LA STORIA



MAGGIO 1992 DIN 4725 -1-2-3-4



NOVEMBRE
1997 DIN 4725 -1-2-3-4



OTTOBRE
1999 UNI EN 1264 -1-2-3



OTTOBRE
2003 UNI EN 1264 - 4

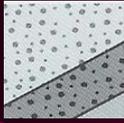
CONDIZIONI DI POSA



SITUAZIONE COSTRUTTIVA

PRIMA DELLA POSA DEL PAVIMENTO DEVONO ESSERE MONTATE LE PORTE E LE FINESTRE ESTERNE, DEVONO ESSERE TERMINATI GLI INTONACI ED I MONTAGGI DEGLI IMPIANTI TECNICI (ELETTRICO E MECCANICO), DEVONO ESSERE MONTATI I TELAI DELLE PORTE INTERNE E CHIUSE TUTTE LE TRACCE NELLE PARETI; INFINE DEVONO ESSERE REALIZZATI TUTTI GLI ELEMENTI COSTRUTTIVI AL PAVIMENTO.

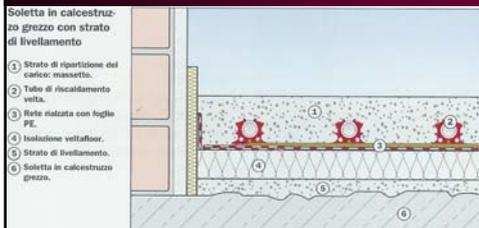
CONDIZIONI DI POSA



SOTTOFONDO PORTANTE

IL SOTTOFONDO DEVE ESSERE SUFFICIENTEMENTE ASCIUTTO DA PERMETTERE LA POSA DELLO STRATO DI RIPARTIZIONE DEL CARICO E DEVE PRESENTARE UNA SUPERFICIE PIANA. NON VI DEVONO ESSERE RILIEVI LOCALIZZATI DOVUTI A TUBI O AD ALTRE SPORGENZE CHE POSSANO DETERMINARE DISCONTINUITA' NELLO SPESSORE DELL'ISOLANTE.

CONDIZIONI DI POSA



STRATI DI LIVELLAMENTO

NEL CASO IL SOTTOFONDO PORTANTE NON SODDISFI LE TOLLERANZE DI PLANARITA' DOVRA' ESSERE PREVISTA UNA REGOLARIZZAZIONE DEL LIVELLO MEDIANTE UNO STRATO DI LIVELLAMENTO (NON POTRA' ESSERE IN SABBIA O MATERIALI MACINATI NON LEGATI). SOLO SUCCESSIVAMENTE SI POTRA' PROCEDERE ALLA POSA DELLO STRATO DI COIBENTAZIONE E QUINDI DEL SISTEMA DI RISCALDAMENTO A PAVIMENTO.

COMPONENTI DELLA STRUTTURA

STRATO DI ISOLAMENTO



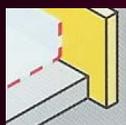
GLI STRATI DI SOLAMENTO DEVONO PRESENTARE UNA RESISTENZA TERMICA COME RIPORTATA IN TABELLA. I PANNELLI DEVONO ESSERE UNITI SALDAMENTE INSIEME. PIU' STRATI ISOLANTI DEVONO ESSERE SFALSATI O POSIZIONATI IN MODO TALE CHE I GIUNTI TRA I PANNELLI DI UNO STRATO NON CORRISPONDANO CON QUELLI DELLO STRATO SUCCESSIVO.

	Ambiente sottostante riscaldato	Ambiente sottostante non riscaldato o riscaldato in modo continuativo o direttamente sul suolo*	Temperatura dell'aria esterna sottostante		
			Temperatura esterna $T_d \geq 0^\circ\text{C}$	Temperatura esterna $0^\circ\text{C} > T_d \geq -5^\circ\text{C}$	Temperatura esterna $-5^\circ\text{C} > T_d \geq -15^\circ\text{C}$
Resistenza termica (m ² KW)	0,75 (30 mm)	1,25 (50 mm)	1,25 (50 mm)	1,50 (50 mm)	2,00 (70 mm)

* Con un livello di acque freatiche ≤ 5 m, il valore dovrebbe essere aumentato

COMPONENTI DELLA STRUTTURA

STRISCIA ISOLANTE DI BORDO

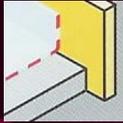


PRIMA DELLA POSA DELLO STRATO DI SUPPORTO DEVE ESSERE POSATA LA STRISCIA DI DILATAZIONE PERIMETRALE LUNGO I MURI E GLI ALTRI COMPONENTI EDILIZI CHE PENETRANO NELLO STRATO DI SUPPORTO.

LA STRISCIA PERIMETRALE HA LE SEGUENTI FUNZIONI:

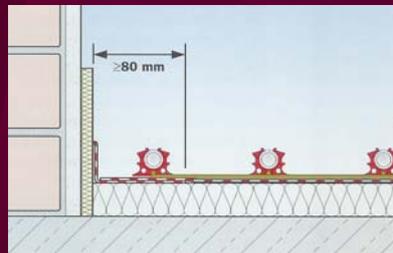
- STRATO DI SEPARAZIONE CON FUNZIONE DI SEPARAZIONE ACUSTICA;
- ASSORBIMENTO DELLE DILATAZIONI TERMICHE DELLO STRATO DI RIPARTIZIONE DEL CARICO;
- STRATO DI ISOLAZIONE TERMICA FRA STRATO DI RIPARTIZIONE DEL CARICO ED ELEMENTI EDIFICALI FREDDI.

COMPONENTI DELLA STRUTTURA

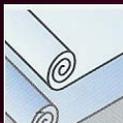


STRISCIA ISOLANTE DI BORDO

LA STRISCIA PERIMETRALE DI BORDO DEVE ERGERSI DALLA BASE DI SUPPORTO FINO ALLA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO FINITO E PERMETTERE UN GIOCO DELLO STRATO DI SUPPORTO DI ALMENO 5 mm.



COMPONENTI DELLA STRUTTURA



STRATO DI PROTEZIONE

PRIMA DELLA POSA DELLO STRATO DI SUPPORTO, LO STRATO DI ISOLAMENTO DEVE ESSERE COPERTO CON UNA PELLICOLA DI POLIETILENE DI ALMENO 0,15 mm DI SPESSORE O CON ALTRO PRODOTTO EQUIVALENTE. LE SINGOLE SEZIONI DEVONO SOVRAPPORSI DI ALMENO 80 mm.

LO STRATO DI PROTEZIONE DEVE ESSERE CAPOVOLTO SOPRA LA STRISCIA DI BORDO, A MENO CHE LA STESSA SIA GIA' RIVESTITA DA UN FOGLIO IN PE IN GRADO DI COPRIRE A SUFFICIENZA I PUNTI DI GIUNZIONE.

GLI STRATI DI PROTEZIONE NON SONO BARRIERE CONTRO L'UMIDITA'

COMPONENTI DELLA STRUTTURA

STRATO DI SUPPORTO (O RIPARTIZIONE DEL CARICO)

IL MASSETTO DEVE RISPONDERE AI SEGUENTI REQUISITI:

- ADEGUATA ADERENZA AI TUBI PER ASSICURARE UNA BUONA TRASMISSIONE DEL CALORE;
- ADEGUATI VALORI DI RESISTENZA MECCANICA;
- RESISTENZA FINO ALLA TEMPERATURA DI 60°C IN CORRISPONDENZA DEI TUBI.

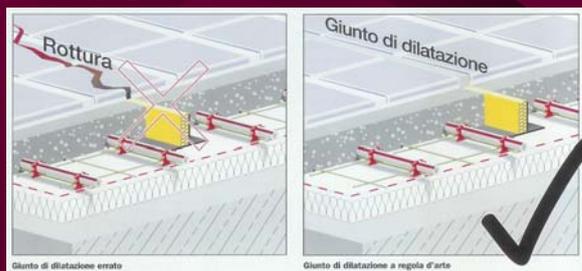
LO SPESSORE NOMINALE SOPRA I TUBI DEVE ESSERE DI ALMENO 30 mm.

COMPONENTI DELLA STRUTTURA



GIUNTI DI DILATAZIONE

PER GLI STRATI DI SUPPORTO RISCALDATI IDONEI ALL'APPLICAZIONE DI RIVESTIMENTI IN PIETRA O CERAMICA, LE SUPERFICI DEI GIUNTI NON DEVONO ESSERE SUPERIORI DI 40 m², CON UNA LUNGHEZZA MASSIMA DI 8 m.



PROVE PRELIMINARI AVVIAMENTO

PROVA DI TENUTA DELL'IMPIANTO

PRIMA DELLA POSA DELLO STRATO DI SUPPORTO, I CIRCUITI DI RISCALDAMENTO DEVONO ESSERE SOTTOPOSTI AL CONTROLLO DI TENUTA CON PROVA DI PRESSIONE CON ACQUA, A DUE VOLTE LA PRESSIONE DI ESERCIZIO DELL'IMPIANTO CON UN MINIMO DI 6 BAR. L'ESITO DELLA PROVA DEVE ESSERE DOCUMENTATO IN UN VERBALE O RESOCONTO DI PROVA.

PROVE PRELIMINARI AVVIAMENTO

AVVIAMENTO DELL'IMPIANTO

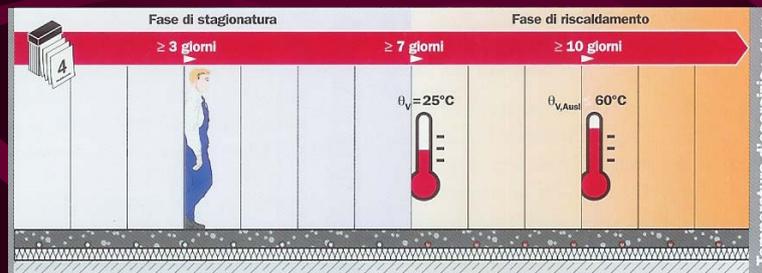
QUESTA OPERAZIONE DEVE ESSERE ESEGUITA ALMENO 21 GIORNI DOPO LA POSA DELLO STRATO DI SUPPORTO.



PROVE PRELIMINARI AVVIAMENTO

AVVIAMENTO DELL'IMPIANTO

I TEMPI DI MATURAZIONE POSSONO ESSERE RIDOTTI A CIRCA 7 GIORNI CON L'IMPIEGO DI MASSETTI ANIDRITICI O DI PARTICOLARI FLUIDIFICANTI.



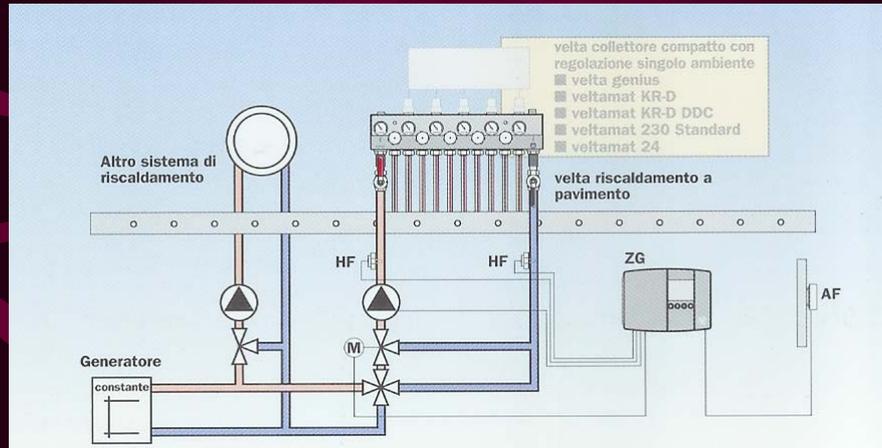
REGOLAZIONI



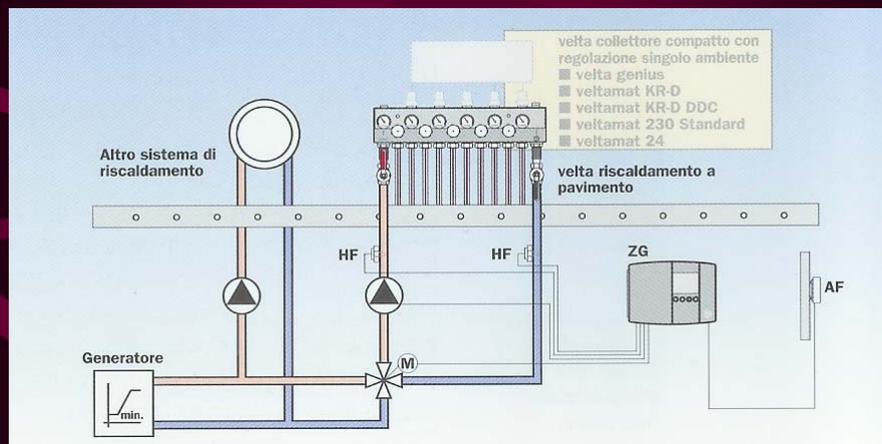
OGNI IMPIANTO DEVE ESSERE FATTO FUNZIONARE CON UNA POTENZA TERMICA CORRISPONDENTE AL FABBISOGNO. E' INDISPENSABILE AVERE QUINDI UN SISTEMA DI REGOLAZIONE AUTOMATICA.

IN LINEA DI PRINCIPIO GLI IMPIANTI A PAVIMENTO DEVONO OPERARE CON UN SISTEMA DI REGOLAZIONE CLIMATICA, OVVERO IN FUNZIONE DELLE CONDIZIONI CLIMATICHE ESTERNE.

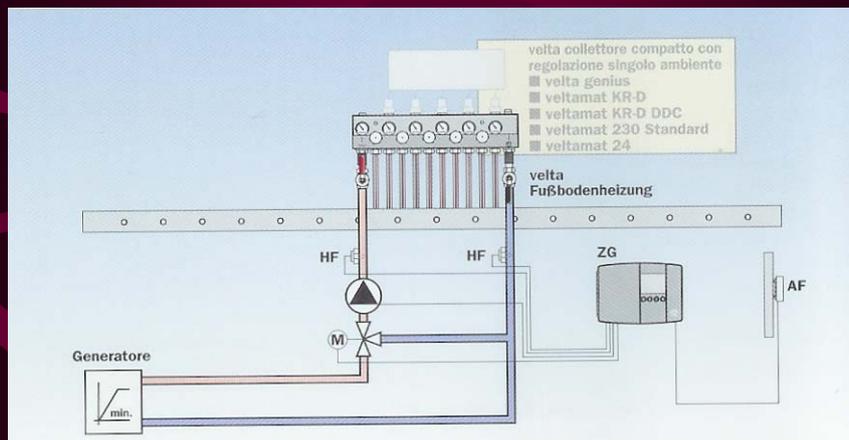
GENERATORE A T. COSTANTE



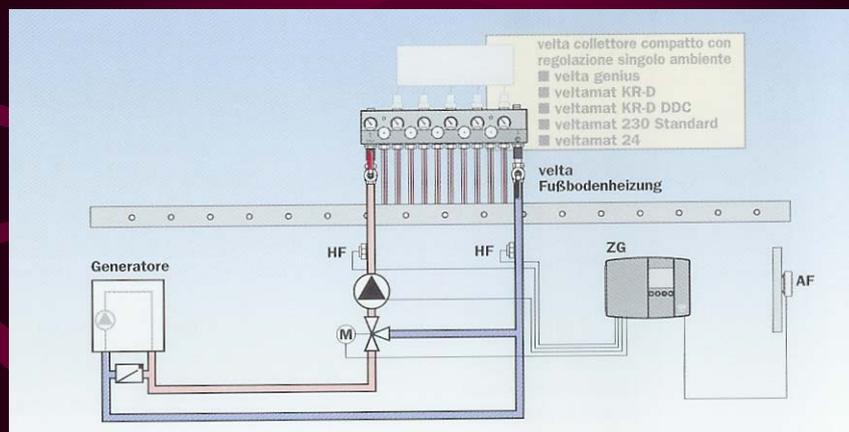
GENERATORE CON T.RIT. MINIMA



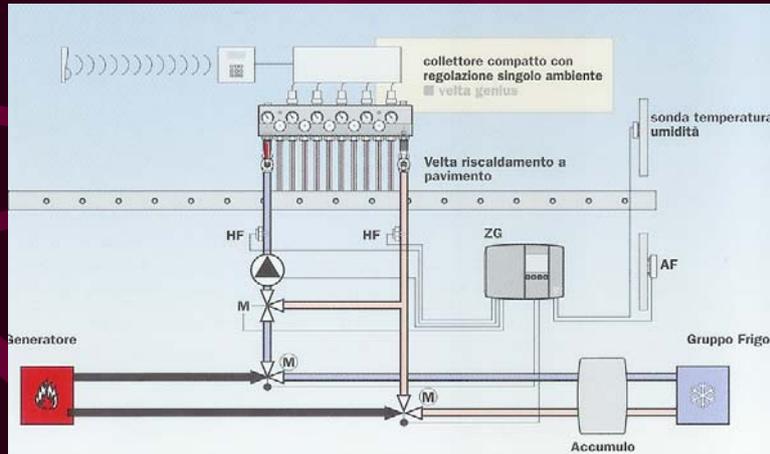
GENERATORE SENZA T.RIT. MINIMA



GENERATORE CON CIRCOLATORE



RISCALDAMENTO/RAFFRESCAMENTO



GENERATORI ALTERNATIVI

