



**Progetto Meta – Seminari Divulgativi**

# ***Il Benessere Termoisgrometrico negli Ambienti Moderati***

*Frosinone Polo Universitario – 16 Febbraio 2006*

**Prof. Vittorio Betta – Università di Napoli Federico II**



**Pa.L.Mer. - Parco Scientifico e Tecnologico del Lazio Meridionale  
DOCUP Obiettivo 2 Regione Lazio – Programma 2000/2006  
Sottomisura II.5.2 – Ricerca e trasferimento tecnologico nei Poli di eccellenza**



1. Il Benessere
2. L'Attività Metabolica
3. I Meccanismi di Termoregolazione
4. Il Bilancio di Energia sul Corpo Umano
5. Gli Ambienti Termicamente Moderati
6. Il Comfort Termoisgrometrico Globale
7. Il Discomfort Locale



## *Definizione di Benessere:*

E' una condizione di soddisfazione nella quale un individuo o più individui si trovano e dalle quale non vi è desiderio di allontanarsi.

- + **stato psico-fisiologico** che coinvolge tutti i sensi
- + necessità di studiare l'effetto degli **stimoli ambientali** (termici, acustici, visivi) sulla psiche o sull'organismo.
- + benessere **termico, acustico, visivo**



## 1. Il Benessere

- ✚ per una corretta definizione di **benessere** occorre delimitare e definire il settore al quale il benessere si riferisce,
- ✚ la **contemporanea presenza** di vari tipi di benessere, aumenta la complessità del problema (maggiore numero di stimoli da tenere in considerazione)
- ✚ per apprezzare una qualsiasi forma di benessere deve essere verificato il soddisfacimento di altre forme di benessere.

*...si può essere in un ambiente perfetto per l'ascolto della musica, o per meglio dire, di un particolare tipo di musica, avere la migliore orchestra del mondo, ma se malauguratamente si è investiti da una corrente d'aria fredda sul collo, si perderà molto del piacere della musica; la stessa cosa avverrà se abbagliati da un faro mal posizionato o anche solo se afflitti da un fastidioso mal di denti.*



## 1. Il Benessere

- ✚ al centro del problema del benessere c'è **l'uomo** (complessità e assoluta mancanza di determinismo)
- ✚ competenze ingegneristiche non sufficienti per lo studio del problema del benessere;
- ✚ interdisciplinarietà, ossia coinvolgimento di altre discipline, quali la *medicina*, la *fisica*, la *statistica*, la *psicologia*
- ✚ evoluzione verso standard di comfort sempre più elevati;
- ✚ controllo di un numero crescente di parametri
- ✚ utilizzo di strumentazioni di misura sempre più sofisticate
- ✚ tecniche e procedure di misura complesse
- ✚ tentativo di definizione di indici globali, o di una scala di benessere complessivo



## 2. L'Attività Metabolica

Il metabolismo è il complesso di processi chimici e fisici che ha luogo nelle cellule e nei tessuti del corpo umano

- trasformazione degli alimenti ingeriti
- trasformazione di ossigeno in anidride carbonica,
- modificazione, accrescimento e rigenerazione delle cellule dell'organismo,
- funzioni fisiologiche (attività nervosa, circolazione del sangue, respirazione)
- funzioni ed attività motorie.



## 2. L'Attività Metabolica

### ***Tasso metabolico o metabolismo energetico (M)***

- ✚ è la differenza media nell'unità di tempo tra ***energia somministrata*** (alimenti, bevande e ossigeno) ed ***energia espulsa*** (feci, urine, anidride carbonica)
- ✚ assimilabile ad un termine di generazione per il volume di controllo *uomo*;
- ✚ non è costante nel tempo, dipende da:
  - qualità e quantità dei cibi ingeriti,
  - dal momento della loro ingestione
  - dalle condizioni ambientali esterne
  - dall'attività che la persona svolge (cresce passando dalla quiete ad attività intense e faticose).



## 2. L'Attività Metabolica

- + la potenza meccanica ceduta per le attività motorie è sempre minore del termine di generazione:
- + il corpo umano, affinché la sua energia interna e la sua temperatura non varino, cede energia all'ambiente circostante.
  - per convezione con l'aria
  - per irraggiamento con le superfici circostanti
  - per evaporazione di acqua (da pelle e polmoni)

Se *l'energia ceduta* risulta maggiore (*minore*) del *tasso metabolico*, la temperatura media del corpo diminuisce (*cresce*) fino a raggiungere una nuova condizione di regime (o anche il collasso). L'organismo reagisce ad eventuali squilibri innescando complessi meccanismi di termoregolazione (il benessere è la condizione in cui l'attività dei meccanismi di termoregolazione è modesta).



### 3. I Meccanismi di Termoregolazione

il corpo umano si suddivide in due zone:

- ▣ esterna (pelle e tessuti sottocutanei)
- ▣ interna, (*nucleo*, comprendente gli organi vitali) con T quasi costante, mediamente uguale a 37 °C, con variazioni nell'arco della giornata di +/- 0,5 °C)

La funzione di mantenere quasi isoterma il nucleo del corpo è delegata al **sistema di termoregolazione**.

- ▣ termoregolazione *vasomotoria* - capillari periferici dotati di sfinteri (valvole), che aprendosi o chiudendosi, permettono o impediscono l'afflusso di sangue
- ▣ termoregolazione *comportamentale*



### 3. I Meccanismi di Termoregolazione

#### Ambienti **freddi**:

- + chiusura delle valvole (*vasocostrizione*),
- + diminuzione dell'afflusso di sangue verso la periferia,
- + diminuzione della temperatura superficiale
- + diminuzione dello scambio termico con l'esterno.

#### Ambienti **caldi**:

- + apertura delle valvole (*vasodilatazione*)
- + aumento dell'afflusso di sangue alla periferia
- + aumento della temperatura della pelle
- + aumento dello scambio termico con l'esterno



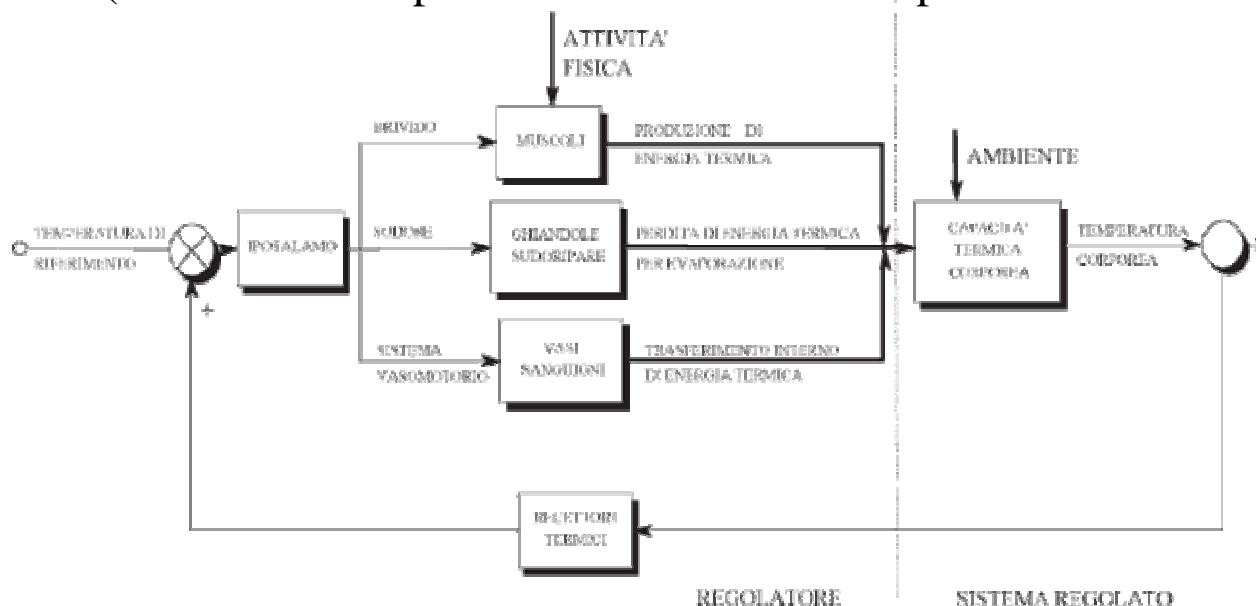
### 3. I Meccanismi di Termoregolazione

La **termoregolazione comportamentale** interviene se non è sufficiente la termoregolazione vasomotoria:

- ▣ contro il freddo consiste nel **brivido** (attivazione di quasi tutti i gruppi muscolari e aumento di generazione di energia all'interno del corpo)
- ▣ contro il caldo consiste nella **sudorazione**.

Se neanche la termoregolazione comportamentale è sufficiente ad assicurare l'omeotermia, si può avere:

- ▣ **ipotermia** (fino alla morte per fibrillazione cardiaca)
- ▣ **ipertermia** (fino alla morte per danni irreversibili alle proteine dei tessuti nervosi).



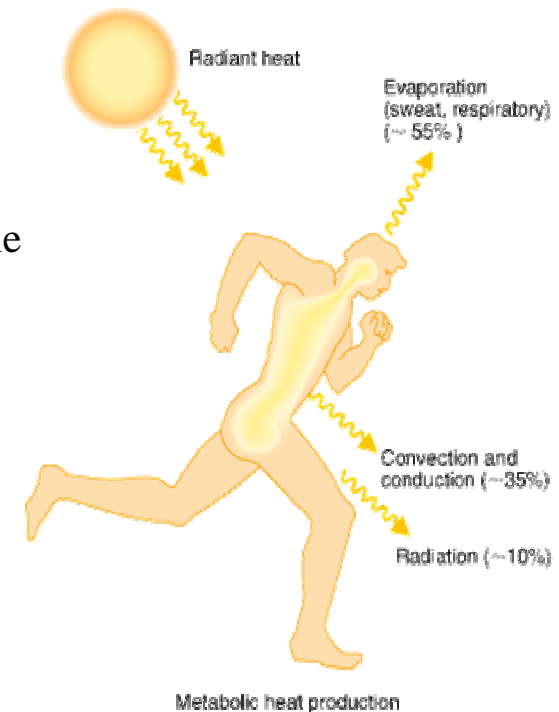


## 4. Il Bilancio di Energia sul Corpo Umano

*Bilancio di potenze [W]*

$$S = M - (W + E_{res} + C_{res} + C + R + E + K)$$

- S** accumulo di energia nel corpo
- M** metabolismo energetico
- W** potenza meccanica ceduta all'ambiente
- E<sub>res</sub>** potenza termica ceduta nella respirazione come calore latente
- C<sub>res</sub>** potenza termica ceduta nella respirazione come calore sensibile
- C** potenza termica ceduta per convezione
- R** potenza termica ceduta per irraggiamento
- E** potenza termica ceduta per evaporazione dalla pelle
- K** potenza termica ceduta per conduzione





## ***4. Il Bilancio di Energia sul Corpo Umano***

In ambienti termicamente moderati la progettazione e la gestione degli impianti tende al raggiungimento del benessere termico:

- soddisfazione nei riguardi del microclima
- assenza di sensazioni di caldo o di freddo.

La definizione e misura del benessere termico o lo scostamento da esso in termini fisiologici o di parametri microclimatici è un aspetto molto complesso.

Per il raggiungimento del benessere termoisgrometrico l'accumulo di energia nel corpo deve essere praticamente nullo;



## 5. Gli Ambienti Termicamente Moderati

Nel bilancio di energia sul corpo umano sia la potenza meccanica che lo scambio conduttivo corpo-ambiente sono trascurabili, quindi:

$$\mathbf{M} - (\mathbf{E}_{\text{res}} + \mathbf{C}_{\text{res}} + \mathbf{C} + \mathbf{R} + \mathbf{E}) = \mathbf{0}$$

In questa equazione:

**M** *metabolismo energetico*, dipende dal tipo di attività svolta; varia da 100/200 W (condizioni di riposo/lavoro leggero) fino ad oltre 500 W (attività sportive o lavori intensi. In riferimento alla superficie del corpo umano spesso si usa l'unità "met" (1 met = 58,2 W/m<sup>2</sup> = 50,0 kcal/h m<sup>2</sup>);



## 5. Gli Ambienti Termicamente Moderati

**E<sub>res</sub>** sono funzioni di M, della temperatura e dell'umidità dell'aria (ordine di grandezza: decine di W)

**C<sub>res</sub>** sono funzioni di M, della temperatura e dell'umidità dell'aria (ordine di grandezza: decine di W)

**C** è funzione del tipo di abbigliamento, della temperatura e della velocità dell'aria ambiente (ordine di grandezza: decine di W);

**R** è funzione del tipo di abbigliamento e della temperatura delle superfici dell'ambiente (ordine di grandezza: decine di W);

**E** è funzione del tipo di abbigliamento e della temperatura, umidità e velocità dell'aria ambiente (ordine di grandezza: decine di W – per attività sportive o sforzi intensi anche centinaia di W)

**Nota:** L'influenza dell'abbigliamento è espressa attraverso la relativa resistenza termica,  $I_{cl}$ , usualmente espressa in *clo* (1 *clo*=0,155 m<sup>2</sup> K/W).  
*Valori tipici espressi in clo sono: 0,5-1-1,5 rispettivamente per abbigliamento estivo, invernale ed invernale pesante.*



## 5. Gli Ambienti Termicamente Moderati

In conclusione alla determinazione dello stato termico del corpo umano contribuiscono:

- ✚ i quattro parametri fisici dell'ambiente:
  - temperatura dell'aria ( $t_a$ )
  - velocità dell'aria ( $V_a$ )
  - temperatura media radiante ( $t_r$ )
  - grado igrometrico o umidità relativa ( $\Phi$ )
  
- ✚ le due grandezze relative al soggetto:
  - attività svolta, ovvero il metabolismo energetico ( $M$ )
  - resistenza termica dell'abbigliamento ( $I_{cl}$ )

Tutte le sei variabili costituiscono *l'ambiente termico*.



## 5. Gli Ambienti Termicamente Moderati

A regime in un ambiente :

- ✚ i meccanismi di termoregolazione tendono ad equilibrare le grandezze del bilancio termico
- ✚ l'accumulo orario tende ad annullarsi
- ✚ il corpo umano raggiunge uno stato termico di regime permanente.

$$T_{\text{int}} < 35^{\circ}\text{C} \text{ (ipotermia)} - \text{(ipertermia)} 38^{\circ}\text{C} < T_{\text{int}}$$

$S \neq 0$ , situazione di *grave disagio* o *pericolo*

*(ipotermia)*  $35^{\circ}\text{C} < T_{\text{int}} < 38^{\circ}\text{C}$  *(ipertermia)*  
 $S = 0$ , condizione di *comfort* solo se non sono attivati i meccanismi di termoregolazione (o lo sono in modo lieve).



## **6. Il Comfort Termoisgrometrico Globale**

**IERI:**

- ✚ *condizione ritenuta necessaria per il benessere termico era la non attivazione dei meccanismi di termoregolazione.*

**OGGI:**

- ✚ *in condizioni di benessere termico non si ha l'attivazione dei meccanismi di termoregolazione solo quando l'individuo non svolge attività*
- ✚ *all'aumentare dell'attività, anche in condizioni di benessere, si innescano e si intensificano sia il meccanismo vasomotorio che quello della sudorazione*

Negli *ambienti termici moderati* l'obiettivo è quello di valutare lo scostamento delle condizioni reali da quelle di **comfort**.



## 6. Il Comfort Termoisgrometrico Globale

### indici di comfort globale

- ✚ funzione delle sei variabili del bilancio termico.
- ✚ si valutano in funzione dei valori medi spaziali delle quattro variabili ambientali.
- ✚ valutazione di eventuali condizioni di *discomfort locale*

**N.B.** gli indici esprimono la risposta media di un gran numero di soggetti, il che significa che, per valori degli indici corrispondenti a condizioni di benessere, ci possono comunque essere individui che avvertono sensazione di caldo o di freddo.



## **6. Il Comfort Termoisgrometrico Globale**

### **PMV (*Predicted Mean Vote*)**

*definito da Fanger (1970) ed adottato dalla norma UNI EN ISO 7730*

La neutralità termica è caratterizzata da **PMV=0**.

Ambienti *mediamente confortevoli* -  $0,50 < \text{PMV} < 0,50$   
(Rif. UNI-EN-ISO 7730:1997)

La EN-ISO 7730:2005 (non ancora tradotta in italiano) indica tre categorie di comfort per attività sedentarie leggere:

- (A) con  $0,2 < \text{PMV} < 0,2$
- (B) con  $0,5 < \text{PMV} < 0,5$
- (C) con  $0,7 < \text{PMV} < 0,7$



## 6. Il Comfort Termoisgrometrico Globale

**PMV** è funzione delle sei variabili indipendenti del bilancio termico ed è definito sulla scala di *sensazione termica* in tabella

<b>Voto</b>	<b>Sensazione</b>
+3	molto caldo
+2	caldo
+1	leggermente caldo
0	né caldo né freddo
-1	leggermente freddo
-2	freddo
-3	molto freddo



## **6. Il Comfort Termoisgrometrico Globale**

Il valore di **PMV** si determina con un sistema di equazioni in cui si inseriscono i valori misurati di  $t_a - V_a - \Phi - t_r - M - I_{cl}$  o mediante uso di software e tabelle (UNI EN ISO 7730)

Individuata la destinazione d'uso dell'ambiente (e quindi il valore di  $M$  e di  $I_{cl}$ ) si ricavano i 4 parametri per le condizioni di benessere.

Note 5 delle 6 variabili che definiscono l'ambiente termico, si valuta l'effetto della variazione della rimanente sulle condizioni di benessere.

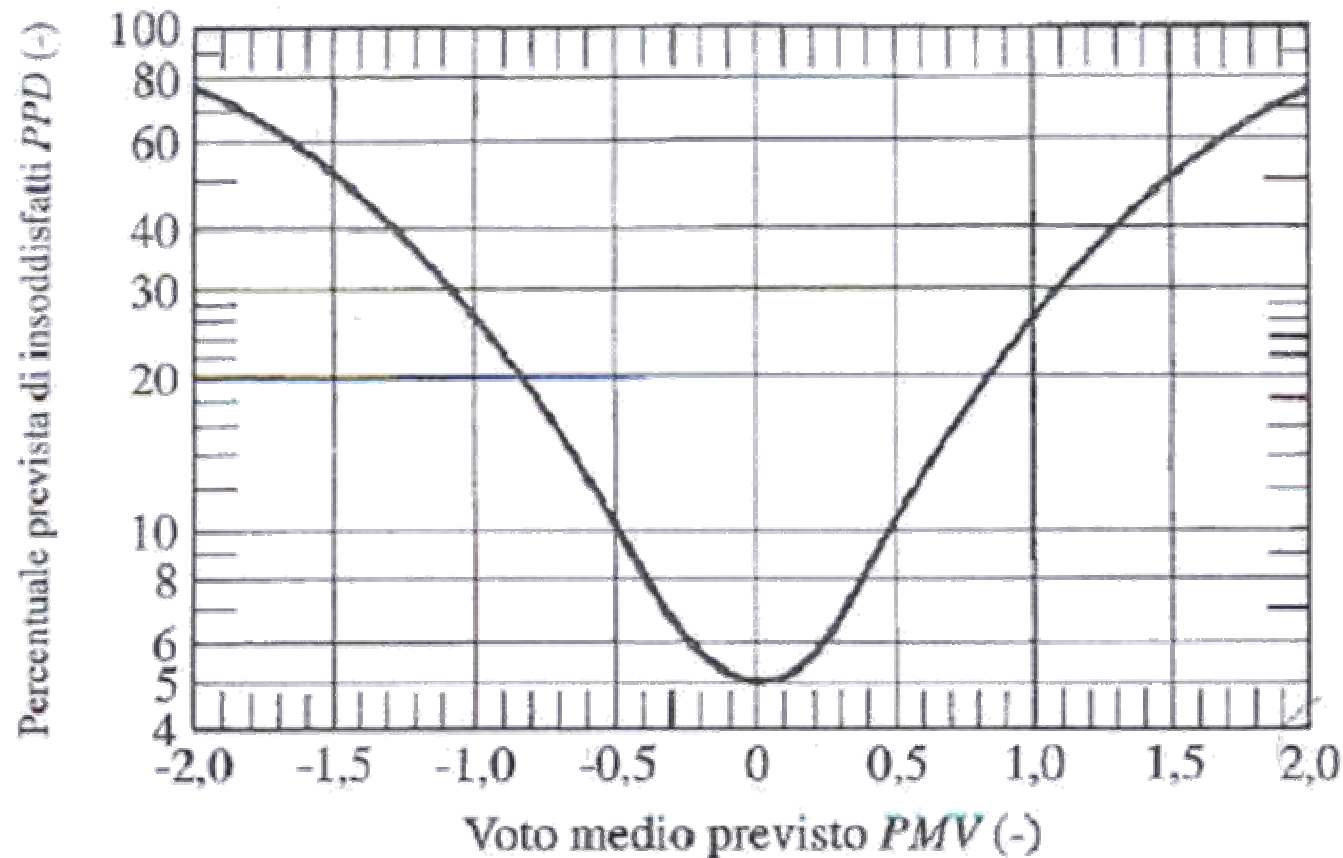
**La scelta dei parametri ambientali, e del loro range di variabilità, influisce sui costi di realizzazione e gestione degli impianti di climatizzazione**



## 6. Il Comfort Termoisgrometrico Globale

**PPD** (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) è la percentuale di insoddisfazione, ossia dispersione intorno al valore medio, rappresenta *insoddisfazione*.

**PPD** è correlato con PMV, vedi diagramma in figura





## 6. Il Comfort Termoisgrometrico Globale

In Tabella sono riportati valori della *temperatura operativa*  $t_o$  per i quali si rientra nelle condizioni di benessere per attività leggere (50% di umidità relativa e velocità media dell'aria  $\leq 0,15$  m/s)

Stagione	$I_{cl}$	$t_o$ ottimale	Campo di possibile variazione della $t_o$ per un 10% di insoddisfatti
Inverno	0,9	22°C	20÷23,5°C
Estate	0,5	24,5°C	23÷26°C

in *ambienti moderati l'umidità influisce poco* sul valore della sensazione termica. A parità di valori delle altre variabili, per uguali PMV,  $t_a$  deve variare di 1 °C passando da  $\Phi=30\%$  a  $\Phi=70\%$  (limiti dovuti a motivi indipendenti dalle sensazioni termiche)

*per valori minori di 0,30 si seccano le mucose con diminuzione delle difese per germi e batteri, per valori maggiori di 0,70 aumentano i rischi di allergie e le probabilità che si formi condensa su punti freddi con conseguente sviluppo di muffe.*



## 7. Il Discomfort Locale

**PMV** e **PPD** valutano il comfort globale in funzione dei valori medi delle variabili ambientali.

Ma essi rappresentano condizioni *necessarie* ma *non sufficienti* per il benessere negli ambienti mediamente confortevoli

$$-0,5 < \text{PMV} < 0,5 \quad 5\% < \text{PPD} < 10\%$$

Deve essere nullo anche il discomfort dovuto a disuniformità delle variabili ambientali, cioè non deve esserci *discomfort locale*.



## 7. Il Discomfort Locale

Le cause di *discomfort locale* sono (rif. UNI EN ISO 7730:1997)



### *elevata differenza verticale della temperatura dell'aria*

limite accettabile  $\Delta T = 3^\circ\text{C}$  tra  $T$  misurata ad  $h = 1,1$  e  $h = 0,1$  m dal pavimento  
valore limite di insoddisfatti 5%



### *pavimento troppo caldo o troppo freddo*

per stagione invernale  $T_{\text{superficiale}} 19 \div 26^\circ\text{C}$ , con  $29^\circ\text{C}$  per riscaldamento a pavimento - valore limite di insoddisfatti 10%



### *correnti d'aria:*

indice DR (*Draft Risk*, Rischio da Corrente d'aria) massimo 15 (praticamente sempre per  $V_a \leq 0,15$  m/s) - valore limite di insoddisfatti 15%



### *elevata asimmetria media radiante*

stagione invernale: con finestre o superfici verticali fredde, in direzione orizzontale  $< 10^\circ\text{C}$ , per soffitto riscaldato, in direzione verticale  $< 5^\circ\text{C}$   
valore limite di insoddisfatti 5%



1) G.Alfano, F.R. d' Ambrosio, G.Riccio

*“ La valutazione delle condizioni termoisgrometriche negli ambienti di lavoro: comfort e sicurezza ”*

CUEN, Napoli (1997)

2) G.Moncada Lo Giudice, L. De Santoli

*“ Fisica Tecnica Ambientale – Benessere termico, acustico, visivo ”*

Casa Editrice Ambrosiana, Milano (1990).

3) UNI EN ISO 7730:1997 *“Ambienti Termici Moderati.*

*Determinazione degli indici PMV e PPD e specifica delle condizioni di benessere termico”*- norma in fase di revisione, è uscita la EN 7730:2005 in corso di traduzione in lingua italiana da parte dell'UNI